



دانشکده فیزیک

پایان نامه کارشناسی ارشد فیزیک

گرایش حالت جامد

نقش سایز نانوذرات در ولتاژ راه اندازی قطعات الکترو لومینسانس

نگارش:

زهرا آزادواری

استاد راهنما:

دکتر حمید هراتی زاده

استاد مشاور:

آقای مسعود بزی جوان

بهمن ماه ۸۹

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

تقدیم بہ

آرامش طوفانی

نگاہ مہربان مادرم و دستان فداکار پدرم

پاسکزاری

تکیه بر تقوی و دانش در طریقت کافرست
راهر و گرسد، هنر دارد توکل بایش

«حافظ شیرازی»

پاس

خدایا- به خانواده ام، به مهردانشان، به مادرم و یقینش که دست ایمانم را گرفت. به پدرم و زخم های دستش که پای بهتم را استوار کرد، و به عشقی که در لحظه لحظه زندگی در مکتبشان نوشیدم.

خدایا- به آراش طوفانی "زندگی ام، به زیارت نخايش، کلامش و حضور پر عاطفه اش در کوچه های تاریک دهنم.

خدایا- به فرصت مغتنم بروز اندیشه یایم.

خدایا- به وصال قله های رفیع آموختن، به یاد گرفتن و یاد دادن. به شاکردی استاد "دکتر هراتی زاده"، بهو که رهنمودهایش آتقدربزرگم کرد که با همه وجود، کوچکی ام را یابم.

و پاس خدایا

به بودن و به بدایتگری!

امنان

جناب آقای مسعود نری جوان که از مشاوره شان بهره بردم.
بیات محترم داوران، جناب آقای دکتر رحمانی و سرکار خانم دکتر مولاروی، که زحمت حضورشان و ژرفای صبوریشان شرمنده همیشگی ام کرد.
تامی اساتید و دوستانم که ضعف نماند و دوازه ها و عجز روان بر قلمم قصوری عیان در پاسکزاریشان برایم به یادگار نهاد.

از دوستی خاک در کوی ثابود
هر نافه که در دست نسیم سحر افتاد

«حافظ شیرازی»

چکیده

لامپ‌های الکترولومینسانس پودری جریانی متناوب (ACPEL)¹ به دلیل محدودیت در شدت نورگسیلی در کاربردهای خاصی از قبیل تأمین نور پس‌زمینه برای صفحات نمایش یا مانیتورها (با ویژگی‌های روشنایی و شفافیت زیاد، زاویه دید وسیع، زمان پاسخ سریع، طول عمر زیاد)، صفحات نمایشگر انعطاف‌پذیر و تلفن‌های موبایل، تابلوهای تبلیغاتی و نورپردازی سالن‌ها، اماکن تجاری و هنری مورد استفاده قرار می‌گیرند. برخی از کاربردهای این گونه قطعات را می‌توان در شکل زیر مشاهده نمود.



¹ AC Powder Electroluminescent

این پایان‌نامه به طراحی و ساخت قطعات ACPEL با روشی کاملاً ساده، ابتکاری و تکرارپذیر پرداخته است. ماده سولفیدی استفاده شده در این قطعه، پودر ZnS:Cu,Cl(Al) می‌باشد که به صورت یکنواخت روی لایه دی‌الکتریک لایه‌نشانی شده است. لایه دی‌الکتریک مورد استفاده، تیتانات باریوم^۱ می‌باشد، که به روش غلشی روی زیرلایه ITO^۲ با زیرلایه شیشه معمولی لایه‌نشانی شده است. نمونه‌های متعددی برای رسیدن به شدت گسیل مناسب و یکنواختی نور گسیلی ساخته شده‌اند و بارها روش لایه‌نشانی و تهیه قطعات مورد اصلاح و بازنگری قرار گرفته است. نمونه‌های نهایی ساخته شده دارای نور گسیلی یکنواخت با شدت بسیار خوب می‌باشند به صورتی که در مقایسه با نمونه لامپ‌های DUREL (از شرکت Rogers آمریکا) دارای نور گسیلی با شدت بیش از ۵۰٪ می‌باشند. ازجمله پارامترهای مورد توجه در این پایان‌نامه ولتاژ راه‌انداز این قطعات بوده که جهت کاهش هزینه‌های سیستم و سادگی کار با آن‌ها تلاش شده است نمونه‌های ساخته شده با ولتاژ ۲۲۰V و فرکانس ۵۰Hz فعال گردند تا مبدل ولتاژ و یا فرکانس از مدار حذف گردد. لازم به ذکر است که ولتاژ راه‌انداز نمونه‌های خارجی در مواردی ۴۸۰V با فرکانس ۱۲۰Hz و یا ۱۱۰V با فرکانس ۱۰۰۰Hz می‌باشد. از ایده‌های مناسب جهت کاهش ولتاژ راه‌اندازی استفاده از نانوذرات یا نانوسیم‌های فلزی در فصل مشترک الکتروود (یا ITO) و لایه پودری فسفر سولفید روی می‌باشد که در این پایان‌نامه نانوذرات مس و نانوسیم‌های ایندیم برای این منظور به کار گرفته شده است. در ادامه این پایان‌نامه، طراحی و ساخت سیستم‌های سنجش دمایی و رطوبتی انجام شده و طول عمر عملکرد لامپ‌های DUREL تحت شرایط دمایی و رطوبتی مختلف، و نیز اثر ولتاژ اعمالی بر لامپ‌های EL ساخته شده مورد مطالعه قرار گرفته است. در بخشی دیگر از این پایان‌نامه تأثیر سایز نانوساختارهای به کار رفته در ولتاژ راه‌اندازی لامپ مورد بررسی و سنجش قرار گرفته و تغییرات میدان الکتریکی حاصل از اعمال ولتاژ در قطعه الکترولومینسانس که به‌طور مستقیم با ولتاژ راه‌انداز قطعه متناسب است به کمک بسته نرم افزاری Flex PDE ترسیم شده است.

^۱ BaTiO_3

^۲ -Indium Tin Oxide

لومینسانس، فرآیندی است که از دیرباز، فراسوی قرون وسطی، در زندگی بشر جایگاه ویژه‌ای داشته و هم - اکنون نیز نقش مهمی را در زمینه تکنولوژی زندگی انسان ایفا می‌کند. شگفت‌انگیزی این پدیده ذهن خلاق و جستجوگر بشر را بر آن داشته که پا را از کاوش در پدیده‌های لومینسانس در طبیعت اطراف خود و رموز مربوط به آن‌ها فراتر نهاده و در مسیر رسیدن به لومینسانس مصنوعی و ساخت قطعات مبتنی بر مواد لومینسانس و نیز کشف راز مربوط به نوردهی آن‌ها گام برداشته و در این مسیر پرنشیب و فراز با سرعت پیش رود. این پایان نامه با عنوان "نقش سایز نانوذرات در ولتاژ راه‌اندازی قطعات الکترو لومینسانس" شامل پنج فصل می‌باشد که در آن کوشش شده است در کنار معرفی مختصر مواد سولفیدی و مروری بر تاریخچه مربوط به آن‌ها در فصل اول، مواد الکترو لومینسانس و قطعات ساخته شده مبتنی بر این مواد، قطعات ACPEL و DCPEL¹، روش ساخت و مکانیزم عملکرد آن‌ها در فصل دوم و سوم مورد بحث قرار گیرد. همچنین نقش سایز نانوذرات در شدت میدان الکتریکی و در نتیجه شدت و یکنواختی توزیع نور گسیلی از این گونه قطعات با استفاده از بسته نرم افزاری Flex PDE شبیه‌سازی و بررسی شده که این مبحث، فصل چهارم پایان نامه را صورت‌بندی می‌کند. فصل پنجم که بخش عملی پایان نامه را پوشش می‌دهد، به تشریح مراحل ساخت قطعه الکترو لومینسانس پودری AC (ACPEL) به روشی ساده و ابتکاری که برای اولین بار در کشور انجام شده‌است، می‌پردازد. با توجه به این که روش مورد استفاده در ساخت این قطعات بسیار ساده، تکرارپذیر و کم‌هزینه می‌باشد و از طرفی با در نظر گرفتن کاربردهای خاص آن‌ها مانند نورپردازی در شب، تابلوهای تبلیغاتی، اسکنرهای پزشکی، صفحه کلید موبایل و غیره امید است وارد مرحله صنعتی شده و جایگزین مناسبی برای بسیاری از قطعات فعلی باشد. در این گونه

¹ -DC Powder Electroluminescent

قطعات از پودر سولفید روی، به عنوان فسفر لومینسانس، استفاده می‌شود که با توجه به نوع عنصر آلاینده رنگ-های گسیلی متفاوتی تولید می‌شود. در این پایان نامه برای ساخت قطعات ACPEL از پودرهای ZnS:Cu,Cl (Al) استفاده و رنگ‌های سبز و آبی تولید شده‌اند. نکته مهم، شدت نور گسیلی از این قطعات می‌باشد که در مقایسه با نمونه‌های مشابه خارجی، لامپ‌های DUREL از شرکت ROGERS آمریکا، مقدار قابل توجهی (۵۰٪ بیشتر) دارد. در ادامه فصل پنجم، طراحی و ساخت سیستم‌های دمایی و رطوبتی و ارزیابی عملکرد لامپ‌های الکترولومینسانس DUREL تحت شرایط مختلف فیزیکی پیش‌رو قرار گرفته است.

شایان ذکر است که کلیه مراحل انجام کار اعم از ساخت قطعات الکترولومینسانس و سنجش‌های دمایی، در دمای ازت مایع و دماهای بالاتر و همچنین ایجاد سیستم رطوبتی لازم برای سنجش طول عمر و شدت گسیل لامپ‌ها در دانشگاه صنعتی شاهرود به انجام رسیده است. این پایان نامه با هدف زمینه‌سازی برای تولید نیمه صنعتی قطعات الکترولومینسانس تعریف شده و حاصل آن ثبت اختراعی با عنوان "قطعات الکترولومینسانس پودری AC"، ارائه دو مقاله کنفرانسی و یک مقاله ژورنالی (در دست تهیه) می‌باشد.

فهرست مطالب

سپاسگزاری	أ
چکیده	ب
مقدمه	ث
فصل اوّل - الکترولومینسانس؛ تاریخچه‌ای کوتاه و آینده‌ای روشن	۱
۱-۱ مقدمه	۲
۱-۲ فسفرهای سولفیدی؛ تاریخچه‌ای کوتاه	۲
۱-۳ الکترولومینسانس	۴
۱-۳-۱ EL تزریقی	۵
فصل دوّم - مواد و قطعات الکترولومینسانس	۹
۱-۲ مقدمه	۱۰
۲-۲ پودرهای الکترولومینسانس	۱۱
۲-۳ الکترولومینسانس پودری جریان مستقیم (DCPEL)	۱۶
۲-۴ الکترولومینسانس پودری AC (ACPEL)	۱۸
۲-۴-۱ چالش‌های موجود در قطعات ACPEL	۱۹
۲-۴-۲ ساختار و مواد قطعات ACPEL	۲۲
۲-۴-۳ مشخصه‌های EL مواد ACPEL	۲۷
۲-۴-۴ طیف گسیلی EL	۲۹

۳۰	۴-۲ - ۵ افت لومینسانس و طول عمر
۳۱	۴-۲ - ۶ آماده سازی ترکیبات خاص VI- II (مواد اولیه)
۳۲	۲-۵ فعال سازها (آلاینده ها)
۳۵	فصل سوّم - مکانیزم پدیده الکترو لومینسانس
۳۶	۳-۱ پیشینه پودرهای الکترو لومینسانس
۳۷	۳-۲ مکانیزم عملکرد قطعات الکترو لومینسانس
۳۷	۳-۲-۱ مکانیزم عملکرد قطعات DCPEL
۴۰	۳-۲-۲ مکانیزم گسیل نور برای قطعه ACEL پودر ZnS
۴۷	فصل چهارم - مطالعه نرم افزاری رابطه سایز نانوذرات و ولتاژ عملکرد در قطعات ACPEL
۴۸	۴-۱ مقدمه
۵۰	۴-۲ روش اجزاء محدود
۵۱	۴-۲-۱ مبانی تحلیل اجزای محدود
۵۲	۴-۲-۲ FEM چگونه کار می کند؟
۵۳	۴-۲-۴ رهیافت های قاعده سازی خواص اجزاء محدود
۵۴	۴-۲-۵ کاربرد FEM
۵۵	۴-۲-۶ محدوده کار
۵۷	۴-۳ FlexPDE
۵۸	۴-۴ بررسی تغییرات میدان الکتریکی یکنواخت در حضور ذرات کروی رسانا
۶۰	۴-۴-۱ مسئله دو کره مسی با شعاع های r و $3r$ در میدان الکتریکی یکنواخت خارجی
۶۳	۴-۴-۲ مسئله یک کره مسی با شعاع متغیر (r ، $r/10$ ، و $r/100$) واقع در میدان الکتریکی یکنواخت قطعه ACPEL
۶۷	۴-۴-۳ مسئله یک لایه یکنواخت از کرات مسی در میدان الکتریکی قطعه ACPEL
۷۱	۴-۴-۴ مسئله حضور ذرات مسی پراکنده در میدان الکتریکی قطعه ACPEL

۷۵	۴-۴-۵ مسئله حضور کره رسانای مسی در میدان الکتریکی یکنواخت در فاصله دور از الکترودها
۷۷	۴-۴-۶ مسئله حضور کره های مسی ناهمگون در میدان الکتریکی قطعه ACPEL
۷۹	۴-۴-۷ مسئله حضور لایه های متعدد نانوذرات فلزی در میدان الکتریکی قطعه ACPEL
۸۰	۴-۵ نتیجه گیری
فصل پنجم- نتایج حاصل از طراحی، ساخت و به کارگیری نانوساختارهای فلزی در قطعات ACPEL	
۸۱	
۸۲	۵-۱ مقدمه
۸۳	۵-۲ طریقه ساخت قطعات ACPEL
۸۷	۵-۳ استفاده از نانوساختارهای فلزی در قطعات الکترو لومینسانس پودری
۹۱	۵-۴ تغییرات شدت نور گسیلی قطعه ACPEL بر حسب ولتاژ عملکرد در دماهای مختلف
۹۶	۵-۵ تغییرات شدت نور گسیلی قطعه ACPEL بر حسب دما در ولتاژهای متفاوت
۹۹	۵-۶ رطوبت و طول عمر قطعه الکترو لومینسانس
۱۰۰	۵-۷ مقایسه طول عمر عملکرد لامپ DUREL و قطعه ACPELL ساخته شده
۱۰۰	۵-۸ نتیجه گیری
۱۰۲	مراجع
۱۰۴	پیوست

فهرست شکل‌ها

- شکل ۱-۱ دیاگرام نوار انرژی برای پیوندگاه p-n تحت (الف) تعادل گرمایی و (ب) شرایط بایاس مستقیم. ۷
- شکل ۱-۲ ساختار کریستالی زینک بلند ZnS (سمت چپ) و ساختار کریستالی هگزاگونال ZnS (سمت راست).
..... ۱۲
- شکل ۲-۲ ترازهای انرژی و گذارهای جذبی فسفر ZnS:Cu,Al, (الف) قبل از برانگیختگی و (ب) حین برانگیختگی [۴]. ۱۳
- شکل ۳-۲ ساختار قطعه الکترولومینسانس پودری AC. ۲۳
- شکل ۴-۲ چیدمان الکترولومینسانس تماسی لیمن [۴]. ۲۵
- شکل ۵-۲ چیدمان قطعه الکترولومینسانس تماسی پودری [۴]. ۲۷
- شکل ۶-۲ مشخصه‌های لومینسانس - ولتاژ، و بازدهی - ولتاژ قطعه الکترولومینسانس پودری AC [۲]. ۲۸
- شکل ۷-۲ طیف الکترولومینسانس AC مربوط به چندین فسفر پودری ZnS [۴]. ۲۹
- شکل ۸-۲ منحنی طول عمر الکترولومینسانس قطعه ACPEL [۴]. ۳۰
- شکل ۱۰-۳ ساختار قطعه DCPEL. ۳۷
- شکل ۲-۳ دیاگرام شماتیک یک لایه شکل گرفته فسفر پودری ZnS:Mn, Cu. ۳۷
- شکل ۳-۳ مدل انرژی قطعه DCPEL. ۳۹

شکل ۳-۴ نوار انرژی در نیمرساناها. E_v و E_c لبه نوار ظرفیت و نوار رسانش، E_d و E_a تراز انرژی donor و acceptor می‌باشند. ۴۰

شکل ۳-۵ دیاگرام شماتیک برای (الف) سد شاتکی و (ب) تله‌های عمیق الکترونی تحت میدان الکتریکی قوی. تزریق الکترون ناشی از اثر تونل‌زنی نشان داده شده است. ۴۱

شکل ۳-۶ تصویری میکروسکوپی از ذرات $ZnS:Cu,Cl$. خطوط دوگانه در ولتاژ آستانه و بالاتر از ولتاژ آستانه نشان داده شده‌اند. ۴۲

شکل ۳-۷ ذرات فسفر شامل بخش‌های تاریک و نقاط روشن. ۴۲

شکل ۳-۸ (الف) نمایش سوزن‌های ته‌نشین شده $Cu_{2-x}S$ محاط در شبکه ZnS . (ب) مدل نواری تزریق همزمان الکترون‌ها و حفره‌ها از سرهای مخالف سوزن Cu_xS به داخل محیط شبکه $ZnS:Cu, Al$ ۴۳

شکل ۳-۹ سوزن رسانا در محیط دی‌الکتریک. با اعمال میدان الکتریکی یکنواخت موازی با راستای سوزن، در نوک‌های سوزن از نظر هندسی تشدید میدان اتفاق می‌افتد. ۴۴

شکل ۳-۱۰ نمایش قاعده کلی مدل گسیل میدان. بالا؛ با اعمال میدان الکترون‌ها و حفره‌ها از لبه‌های مخالف رسانا می‌گریزند، اینجا میدان در شبکه کریستالی ZnS تشدید می‌شود. حفره‌ها پس از طی مسیر کوتاهی به تله می‌افتند. الکترون‌ها مسیر طولانی‌تری را می‌پیمایند. پایین؛ با معکوس شدن میدان الکترون‌های به دام افتاده به سمت عقب جاری شده و با حفره‌های به دام افتاده باز ترکیب می‌نمایند (گسیل نور) [۲]. ۴۵

شکل ۴-۱ تصویری از چگونگی تغییر شکل یک ماشین در یک شکستگی نامتقارن با استفاده از FEA. ۵۵

شکل ۴-۲ خطوط میدان الکتریکی در اطراف دو کره فلزی با شعاع‌های r و $3r$ در میدان الکتریکی یکنواخت خارجی. ۶۰

شکل ۴-۳ تصویر بردار میدان الکتریکی یکنواخت که در حضور کره‌های فلزی دستخوش اغتشاش شده است. ۶۱

شکل ۴-۴ میزان خمیدگی صفحات پتانسیل در ناحیه بدون حضور کره‌های فلزی و نواحی اطراف کره‌های فلزی
با شعاع‌های r و $3r$ ۶۲

شکل ۴-۵ نمودار شدت میدان الکتریکی برحسب فاصله از وجوه ناحیه مکعبی برای یک کره مسی به شعاع r
واقع بر الکتروود سمت چپ قطعه ACPEL ۶۴

شکل ۴-۶ نمودار شدت میدان الکتریکی برحسب فاصله از وجوه ناحیه مکعبی برای یک کره مسی به شعاع $r/10$
واقع بر الکتروود سمت چپ قطعه ACPEL ۶۵

شکل ۴-۷ نمودار شدت میدان الکتریکی برحسب فاصله از وجوه ناحیه مکعبی برای یک کره مسی به شعاع
 $r/100$ که روی الکتروود سمت چپ قطعه ACPEL واقع شده است. ۶۶

شکل ۴-۸ نمودار شدت میدان الکتریکی برحسب فاصله از وجوه ناحیه مکعبی برای چندین کره مسی به شعاع r
که بدون فاصله از یکدیگر روی یکی از الکتروودهای قطعه ACPEL لایه‌نشانی شده‌اند. ۶۸

شکل ۴-۹ نمودار شدت میدان الکتریکی برحسب فاصله از وجوه ناحیه مکعبی برای یک ردیف از کره‌های مسی
به شعاع $r/10$ واقع بر الکتروود سمت چپ قطعه ACPEL ۶۹

شکل ۴-۱۰ نمودار شدت میدان الکتریکی برحسب فاصله از وجوه ناحیه مکعبی برای چندین کره مسی به شعاع
 $r/100$ که بدون فاصله از یکدیگر روی الکتروود سمت چپ قطعه ACPEL واقع شده‌اند. ۷۰

شکل ۴-۱۱ نمودار شدت میدان الکتریکی برحسب فاصله از وجوه ناحیه مکعبی برای کره‌های مسی به شعاع r
که به صورت پراکنده روی الکتروود سمت چپ قطعه ACPEL قرار گرفته‌اند. ۷۲

شکل ۴-۱۲ نمودار شدت میدان الکتریکی برحسب فاصله از وجوه ناحیه مکعبی برای کره‌های مسی به شعاع
 $r/10$ که به صورت پراکنده روی الکتروود سمت چپ قطعه ACPEL قرار گرفته‌اند. ۷۳

شکل ۴-۱۳ نمودار شدت میدان الکتریکی برحسب فاصله از وجوه ناحیه مکعبی برای کره‌های مسی به شعاع
 $r/100$ که به صورت پراکنده روی الکتروود سمت چپ قطعه ACPEL قرار گرفته‌اند. ۷۴

شکل ۴-۱۴ نمودار شدت میدان الکتریکی برحسب فاصله از وجوه ناحیه مکعبی برای کره‌ای مسی به شعاع r که با فاصله مشخصی از الکتروود سمت چپ قطعه ACPEL قرار گرفته است. ۷۶

شکل ۴-۱۵ نمودار شدت میدان الکتریکی برحسب فاصله از وجوه ناحیه مکعبی برای کره‌های مسی به شعاع-های متفاوت که روی الکتروود سمت چپ قطعه ACPEL قرار گرفته‌اند. ۷۷

شکل ۴-۱۶ نمودار شدت میدان الکتریکی برحسب فاصله از وجوه ناحیه مکعبی برای دو ردیف از کره‌های مسی به شعاع $r/10$ که روی الکتروود سمت چپ قطعه ACPEL قرار گرفته‌اند. ۷۹

شکل ۵-۱ سیستم لایه‌نشانی پودر ZnS در ساخت قطعه الکترولومینسانس ACPEL. ۸۴

شکل ۵-۲ تصاویر میکروسکوپ نوری پودر ZnS:Cu,Al (Cl) که در آزمایشگاه زمین‌شناسی دانشگاه صنعتی شاهرود تهیه شده است. ۸۴

شکل ۵-۳ تصاویر SEM از پودر الکترولومینسانس ZnS:Cu,Cl(Al) که در این پروژه مورد استفاده قرار گرفته-اند. ۸۵

شکل ۵-۴ طرح شماتیک قطعه ACPEL. ۸۵

شکل ۵-۵ (الف) مقایسه یک قطعه ACPEL اصلاح شده (سمت چپ) با لامپ DUREL (سمت راست). (ب) قطعه ACPEL اولیه با شدت نور ضعیف و غیریکنواخت. ۸۶

شکل ۵-۶ (الف) تعدادی از قطعات ACPEL که در طی پروژه حاضر آماده شده‌اند. (ب) رنگ‌های گسلی آبی (سمت راست) و سبز (سمت چپ) از قطعات ساخته شده. ۸۷

شکل ۵-۷ تصاویری از دو قطعه الکترولومینسانس پودری که در ساختار آنها از نانوسیم‌های ایندیم (سمت چپ) و نانوذرات مس (سمت راست) استفاده شده است. ۸۹

شکل ۵-۸ تصویر SEM از نانوسیم‌های سنتز شده به روش تزریق فشار داغ. ۹۰

- شکل ۹-۵ سیستم انتقال حرارت برای بررسی تأثیر دما بر عملکرد قطعه ACPEL ۹۱
- شکل ۱۰-۵ سیستم انتقال برودت برای بررسی تأثیر دما (دمای نیتروژن مایع) بر عملکرد قطعه ACPEL ۹۱
- شکل ۱۱-۵ تغییرات شدت لومینسانس لامپ‌های DUREL برحسب ولتاژ عملکرد در دماهای متفاوت..... ۹۴
- شکل ۱۲-۵ نمودار شدت لومینسانس لامپ‌های DUREL برحسب دما در چندین ولتاژ خاص..... ۹۷
- شکل ۱۳-۵ نمودارهای طول عمر عملکرد لامپ‌های DUREL در شرایط رطوبتی %RH ۱۶ و %RH ۹۰ و دمای ۵۲°C..... ۹۹
- شکل ۱۴-۵ نمودار طول عمر قطعه ACPEL و لامپ Durel در فرکانس ۵۰ Hz ۱۰۰

فهرست جداول

جدول ۱-۲ خواص ساختاری ترکیبات گروه II-VI ۱۴

جدول ۲-۲ فسفرهای الکترولومینسانس اکسیدی و سولفیدی مهم به همراه رنگ ترکیبی و بازدهی لومینسانس گزارش شده از آنها. توجه کنید که در بسیاری از حالات مقادیر بازدهی لومینسانس به صورت یک بازه می باشد که با توجه به شرایط آماده سازی و ساختار ماده مقادیر مختلفی حاصل می شود. ۱۶

جدول ۳-۲ برخی فسفرهای الکترولومینسانس معروف AC [۴] ۲۴

جدول ۴-۲ گسیل الکترولومینسانس و فوتولومینسانس فسفرهای مختلف [۴] ۲۵

جدول ۵-۱ ولتاژ آستانه و شدت لومینسانس در ولتاژ ۱۵۰V مربوط به قطعات ACPEL با و بدون حضور میکروساختار و نانوساختارهای فلزی. ۸۹

فصل اول

الکترو لومینسانس

تاریخچه ای کوتاه و آینده ای روشن

- مقدمه
- فواید سولفیدی؛ تاریخچه ای کوتاه
- الکترو لومینسانس
- EL تزریقی

۱-۱ مقدمه

مواد لومینسانسی که از سولفیدها تشکیل شده‌اند، در حوزه‌های کاربردی فوتولومینسانس^۱، کاتودلومینسانس^۲، و الکترولومینسانس^۳ بسیار مورد توجه واقع شده‌اند. به محض آرایش این مواد با Ce^{3+} و Eu^{2+} ، لومینسانسی حاصل می‌شود که متناسب با ترکیب سولفید میزبان می‌تواند محدوده کامل نور مرئی را در برگیرد. صفحات تختی که بر مبنای فیلم‌های نازک و پودر الکترولومینسانس مبتنی بر ZnS ساخته می‌شوند حوزه‌های اصلی کاربرد این ترکیبات به شمار می‌روند. در این‌گونه کاربردها، ترکیبات $BaAl_2S_4:Eu$ ، $ZnS:Mn$ و $ZnS:Cu$ مورد توجه خاصی قرار گرفته‌اند. مواد سولفیدی با توجه به قابلیت خاصشان در فراهم نمودن یک طیف گسترده نوری (در مقایسه با مواد اکسیدی) مورد بازنگری واقع شده‌اند. این فصل به معرفی فسفرهای سولفیدی همراه با مروری بر تاریخچه مربوط به آن‌ها پرداخته، شرح مختصری در مورد الکترولومینسانس را ارائه داده و انواع آن را ذکر نموده و به تشریح یک مورد از آن می‌پردازد. نمودهای دیگر پدیده الکترولومینسانس در فصل دوم به طور مفصل معرفی شده‌اند.

۱-۲ فسفرهای سولفیدی؛ تاریخچه‌ای کوتاه

پدیده لومینسانس، از زمان‌های قدیم در علوم بشری جذابیت خاصی داشته است. طلوع فجر، خزندگان تابنده، چوب درخشان، و گوشت و ماهی فاسد مثال‌هایی از رخداد لومینسانس طبیعی می‌باشند. این اثر که به صورت یک معما جلوه می‌کرد، در آن‌سوی قرون وسطی مطرح شد [۱].

¹ -Photoluminescence

² - Cathodluminescence

³ - Electroluminescence

اولین فسفر مصنوعی در سال ۱۶۰۳ در نشریات غربی عنوان شد. سپس کفاش و کیمیاگر ایتالیایی، وینسنتو کسکریولو^۱، طی تلاشی در جهت تهیه طلا، سولفات باریم طبیعی را در مجاورت بلوگنیا^۲ ذوب کرد. بعد از گرم کردن سنگ زمینی، به جای طلا ماده لومینسانس پایداری را مشاهده نمود. از آن به بعد این ماده به سنگ بلوگنیا معروف شد و ده‌ها سال به عنوان یک موضوع جالب مورد مطالعه قرار گرفت [۱]. این که کدام آلایند یا آلاینده‌ها برای پدیده لومینسانس پایدار واقعا موجه بودند مشخص نیست، اما ماده میزبان به طور مشخص BaS بود [۱]. بنابراین، BaS به عنوان اولین فسفر سولفیدی شناخته شد. اگرچه لفظ عنصر شیمیایی تابنده (برگرفته از urine به معنای زهرآب) در سال ۱۶۶۹ توسط شیمیدان آلمانی همنایگ براند^۳ به کار گرفته شد، اما لفظ فسفر در آن زمان همواره استفاده می‌شد. در قرون اخیر، دانشمندان بسیاری مواد لومینسانس را مطالعه و مشخصه‌یابی نموده‌اند، اما هنوز یک مطالعه سیستماتیک صورت نگرفته است. با این حال مشخصه‌یابی CaG به عنوان یک فسفر توسط فردریک هافمن^۴ در سال ۱۷۰۰ و SrS توسط جان^۵ در سال ۱۸۱۷ یادآوری با ارزشی است [۱].

ناشناخته ماندن خواص لومینسانس ZnS، به عنوان یکی از مهم‌ترین میزبان‌ها در قرن بیستم، تا قبل از ۱۸۶۶، زمانی که سیدات بلند^۶ (فرم هگزاگونال ZnS) توسط تئودور سیدات^۷ تهیه شد [۱]، بسیار سؤال‌برانگیز است. در سال ۱۸۸۸، ایلهارد وایدمن^۸ اولین کسی بود که دسته‌های متفاوتی از فسفرها را براساس نوع برانگیختگی آن‌ها دسته‌بندی کرد و به خاطر ایجاد شرایط لومینسانس، فوتولومینسانس، الکترو لومینسانس، ترمولومینسانس و شیمی لومینسانس اعتبار یافت [۱].

¹ -Vincenzo Cascariolo

² -Bologna

³ -Hemnig Brand

⁴ -Friedrich Hoffman

⁵ -J. F. John

⁶ -Sidot blend

⁷ -Theodor Sidot

⁸ -Eilhard wiedemann

۳-۱ الکترو لومینسانس

الکترو لومینسانس (EL) گسیل غیر گرمایی نور مرئی از یک کریستال (یا مجموعه‌ای از میکرو کریستال‌ها) در نتیجه شارش جریان یا اعمال یک میدان الکتریکی می‌باشد. از نظر تاریخی الکترو لومینسانس برای اولین بار در سال ۱۹۰۷ توسط کاپیتان هنری جوزف روند^۱ در SiC مشاهده شد. وی دریافت در اثر عبور جریان از آشکارساز SiC، رنگ زردی تولید می‌شود. دومین مشاهده از EL در سال ۱۹۲۳ اتفاق افتاد، زمانی که لاسو^۲ از آزمایشگاه رادیویی نایینی‌ناگرا^۳ در روسیه دوباره EL را در کریستال‌های SiC گزارش نمود [۲]. این نوع الکترو لومینسانس به "اثر لاسو" معروف شد و به صورت الکترو لومینسانس تماسی در یک نیم‌رسانا در نظر گرفته شد [۲]. دیود نور گسیل (LED)^۴ مثالی از این نوع EL می‌باشد. مکانیزم اصلی نور، به صورت تزریق حامل‌های اقلیت میان پیوندگاه p-n بایاس مستقیم می‌باشد که براساس باز ترکیب تابشی الکترون‌ها و حفره‌ها انجام می‌شود. در نتیجه، برای رسیدن به طول پخش کافی از حامل‌های اقلیت در این نوع قطعه مواد تک - کریستالی مورد نیاز می‌باشند.

از جنبه نظری، الکترو لومینسانس مواد غیر آلی به دو بخش EL تزریقی و EL میدان الکتریکی قوی تقسیم می‌شود. EL میدان قوی، خود بر حسب نوع فسفرها (پودری یا فیلم نازک) و ولتاژ اعمالی (AC یا DC) دسته‌بندی می‌شود. EL تزریقی بر حسب نیاز برای کاربردهای مختلف (مثلاً دیودهای نور گسیل با شدت بالا (LED)) کاربرد گسترده‌ای در نور پس زمینه LCD^۵ داشته و وارد بازار قطعات نوری شده است. EL پودری اغلب در نورپردازی‌های شب و صفحات نورده استفاده می‌شوند. EL فیلم نازک نیز در تجارت برای کاربرد در نمایشگرهای قابل استفاده در شرایط محیطی سخت و نامناسب به کار برده می‌شود.

¹ -Henry Joseph Round

² -O.V.Lossev

³ -Nijni-Novgorod

⁴ -Light Emitting Diod

⁵ -Liquid Crystal Display

۱-۳-۱ EL تزریقی^۱

عبارت "EL تزریقی" برای توضیح لومینسانسی استفاده می‌شود که از قطعات نوع دیودی با تزریق حامل‌های اقلیت تولید می‌شود. در سال ۱۹۵۲، هینز^۲ و برگس^۳ الکترو لومینسانس مادون قرمز را از بایاس مستقیم پیوندگاه p-n در دیودهای Ge و Si گزارش کردند. این نوع از EL به عنوان EL تزریقی نام‌گذاری شده است. مدتی بعد EL مرئی در دیودهای ساخته شده از نیم‌رسانای گاف نواری پهن، مثل GaP، مشاهده شد. این دیودها، دیودهای نورگسیل (LEDs) نامیده می‌شوند. از آن پس آزمایش‌های متعددی برای تولید گسیل نور در پیوندگاه p-n دیودها با استفاده از گروهی از مواد انجام شد. اما نتایج مایوس‌کننده بود چون قطعات LED پرهزینه بودند و رنگ‌های کمی هم حاصل می‌شد. در سال ۱۹۶۴ قطعات GaAsP LED توسط IBM در مادربردهای کامپیوتر به عنوان نورهای شاخص on-off استفاده شدند. این کاربرد "کوچک" به عنوان پیشرفت مهمی در مسیر تکامل LED به حساب می‌آمد؛ چون نور را در مرحله جدیدی از تولید و کاربری نهایی توسعه داد. زیبایی این نوآوری در این بود که قطعات LED می‌توانستند روی بُرد مدار نصب شوند، از توان اندکی استفاده کنند، و طول عمر زیادی داشته باشند؛ که در نتیجه آن مشکل تعمیر و نگهداری قطعه رنگ می‌باخت. این خواص منحصر به فرد بوده و امروزه برای مانور قطعات LED در جایگزینی دیگر منابع نوری به کار می‌آیند؛ چون قطعات LED ارزان‌تر، روشن‌تر، و کارآمدتر شده‌اند.

دیگرام نوار انرژی برای یک پیوند p-n در تعادل گرمایی و تحت شرایط بایاس مستقیم به ترتیب در شکل ۱-۱ (الف) و (ب)، نشان داده شده‌اند. در حالت تعادل گرمایی، یک لایه تهی شکل گرفته و پتانسیل V_d میان پیوند تولید شده است. وقتی پیوند p-n بایاس مستقیم باشد پتانسیل V_d به $(V_d - V)$ کاهش می‌یابد و الکترون‌ها از ناحیه n به ناحیه p، ولی حفره‌ها از ناحیه p به ناحیه n تزریق می‌شوند؛ یعنی تزریق حامل اقلیتی اتفاق می‌افتد. در نهایت، حامل‌های اقلیت پخش شده و مستقیماً یا از طریق به دام‌اندازی در

^۱ -injection EL

^۲ -Haynes

^۳ -Briggs

انواع مختلفی از مراکز باز ترکیب با حامل‌های اکثریتی باز ترکیب می‌کنند و EL تزریقی تولید می‌شود. جریان پخش کل در اتصال p-n از رابطه زیر به دست می‌آید:

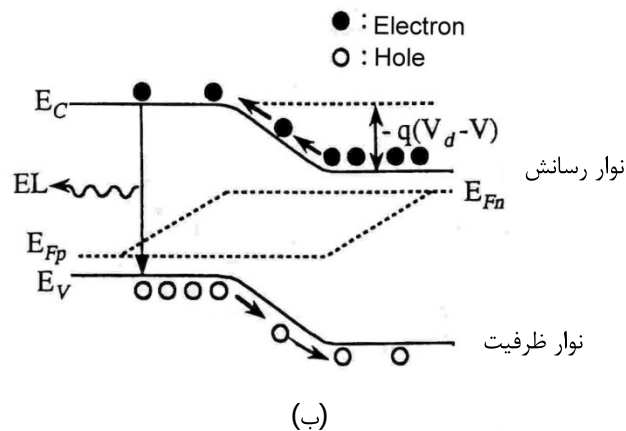
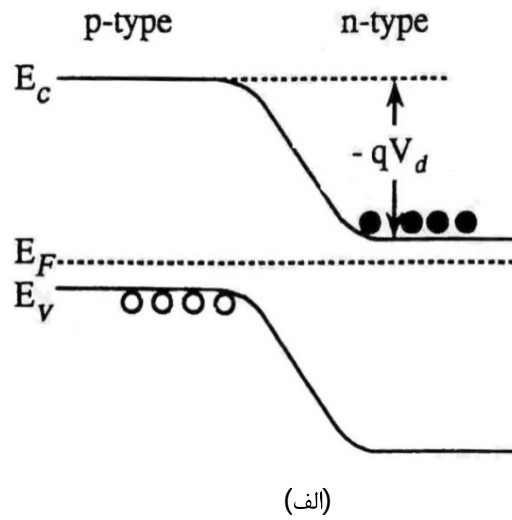
$$J = J_p + J_n = J_s \left(\exp\left(\frac{qV}{nkT}\right) - 1 \right)$$

$$J_s = q \left(\frac{D_p p_{n0}}{L_p} + \frac{D_n n_{p0}}{L_n} \right) \quad (۱-۱)$$

که J_p و J_n جریان پخش و D_p و D_n ضرایب پخش حفره‌ها و الکترون‌ها، p_{n0} و n_{p0} تمرکز حفره‌ها و الکترون‌ها به عنوان حامل‌های اقلیتی در تعادل گرمایی، و L_p و L_n طول‌های پخش به صورت $\sqrt{D\tau}$ هستند که τ طول عمر حامل‌های اقلیتی می‌باشد.

از آنجا که تولید نور به باز ترکیب نوار به نوار بستگی دارد، تله‌ها و نواقصی که منجر به رویداد باز ترکیب غیرتابشی و ناخواسته بین الکترون‌ها و حفره‌ها می‌شوند باید با استفاده از مواد با چگالی نقص پایین و خلوص بالا به حداقل مقدار خود برسند. یعنی عموماً مواد تک کریستالی مورد نیاز می‌باشند که به وسیله آن‌ها طول پخش مناسبی از حامل‌های اقلیتی حاصل شود.

با پیشرفت تکنولوژی، قطعات LED از استفاده در نور پس‌زمینه LCD خارج شده و به عنوان جایگزینی برای لامپ‌های حبابی مرسوم و لامپ‌های فلورسنت به کار گرفته شده‌اند. به علاوه، قطعات LED در کنار دیگر برتری‌های خود مانند ولتاژ عملکرد پایین و سبک‌وزنی، ایمنی را نیز فراهم نموده‌اند.



شکل ۱-۲ دیگرام نوار انرژی برای پیوندگاه p-n تحت (الف) تعادل گرمایی و (ب) شرایط بیاباس مستقیم.

نتایج بحث فوق را می‌توان به صورت زیر خلاصه کرد:

۱- قطعات LED با طول موج‌های گسیلی متفاوت طول عمرهای عملکرد متفاوتی دارند، که باعث می-

شود قطعات LED با رنگ‌های متفاوت، طول عمرهای متفاوتی داشته باشند.

۲- قطعات LED گسیلنده طول موج‌های متفاوت، روشنایی متفاوتی دارند.

- ۳- در برخی از قطعات LED وابستگی دمایی طول موج گسیلی وجود دارد. اگرچه تغییر گسیل با دما برای برخی قطعات LED کوچک است، اما برای برخی دیگر این تغییر بزرگ است.
- قطعات LED برای اغلب کاربردهای نمایشگری با دقت بالا بسیار گران قیمت می‌باشند.

فصل دوم

مواد و قطعات الکترو لومینسانس

- مقدمه
- پودهای الکترو لومینسانس
- الکترو لومینسانس پودی DC (DCPEL)
- الکترو لومینسانس پودی AC (ACPEL)
- آماده سازی مواد EL پودی

۲-۱ مقدمه

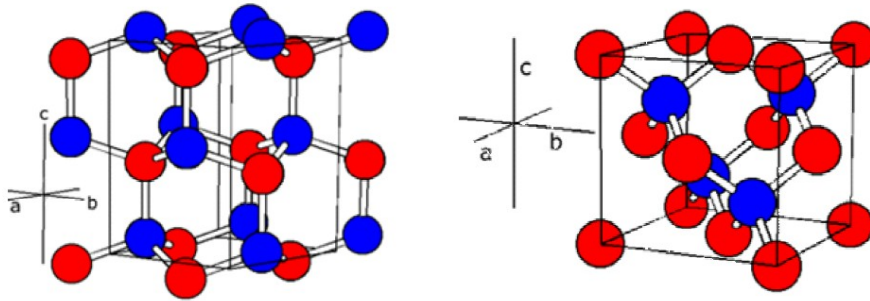
از نظر تاریخی، پدیده الکترولومینسانس برای اولین بار در سال ۱۹۰۷ توسط راند^۱ در SiC مشاهده شده بود [۳]. وی نور مرئی گسیل شده از تماس منفی را وقتی که یک جریان الکتریکی از SiC می‌گذشت، گزارش کرد. در دهه اخیر تکنولوژی قطعات الکترولومینسانس فیلم نازک به سرعت پیشرفت کرده است. مواد استفاده شده در پودر الکترولومینسانس و قطعات TFEL^۲ عموماً جامدات پلی کریستال غیرآلی هستند تا مواد تک-کریستالی استفاده شده در قطعات LED. این امر اجازه می‌دهد قطعاتی با قیمت مناسب و سطحی بزرگ‌تر ساخته شوند. گسیل نور بسیار یکنواخت از سطوح بزرگ، امکان‌پذیر و رسیدن به قطعات LED با سطح کوچک به‌عنوان منابع نور مشکل است. ذرات پلی کریستالی پودر EL و مواد فیلم نازک عوامل اصلی یکنواختی نور گسیلی می‌باشند. نور گسیل شده از هر دسته از مواد به صورت مجزا به نظر نمی‌رسد، همچنین نور بر واحد سطح گسیلی نتیجه دسته‌های متعدد یا کریستال‌های متعدد است. به همین دلیل، یک ماده ناکامل از مواد تک کریستال LED قادر است نوردهی با قابلیت تجدید بالا تولید کند، بدون این‌که به قطعات LED وابسته باشد. دیگر تفاوت اصلی بین قطعات LED و پودر EL و مواد TFEL، به فرآیند گسیل نور برمی‌گردد. در قطعات LED عموماً بازترکیب بند به بند اتفاق می‌افتد. یعنی تله‌ها و نواقصی که منجر به بازترکیب غیرگسیلی و ناخواسته بین الکترون‌ها و حفره‌ها می‌شوند باید با استفاده از مواد با چگالی دررفتگی پایین و درجه خلوص بالا کم شوند. بازترکیب غیرگسیلی اساساً ناشی از الکترون‌ها و حفره‌های غیرجایگزیده در نوارهای انرژی می‌باشد. از آنجایی که الکترون و حفره رسانش یک شرط لازم برای قطعات دیودی مؤثر باکیفیت است، گذار نوار ظرفیت و نوار رسانش ضروری است. بنابراین این غیرجایگزیدگی حامل، یک حسن گیج کننده است. چون گذار برای حاملی با چگالی جریان بالا را برای تکمیل بازترکیب مجاز می‌شمارد. اما به حامل‌ها نیز اجازه می‌دهد نسبتاً آزادانه به هر تله‌ای

^۱ -Round^۲ -Thin Film Electroluminescent

همراه با طول انتشار حامل، نزدیک شوند. در پودر EL و مواد TFEL، لومینسانس عموماً از بارهای غیرسیار ناشی می‌شود. این بارها در تله‌هایی از نوع پذیرنده - دهنده (پودر EL) یا در مراکز بازترکیب در حالت TFEL، که هر دو مواد عایقی هستند، گیر می‌افتند. انتقال بار اکنون تنها با مکانیزمی غیر از گذار نواری اتفاق می‌افتد. با وجود این که مواد EL عایق هستند، با به کارگیری یک میدان الکتریکی قوی، شکست میدان قوی (شکست بهمنی) اتفاق می‌افتد و بارها جاری می‌شوند. در این فصل، مواد و قطعات الکترو لومینسانس (TFEL، DCPEL، و ACPEL) مرور، و پیشرفت‌های علم و تکنولوژی تا این تاریخ بحث خواهد شد.

۲-۲ پودرهای الکترو لومینسانس

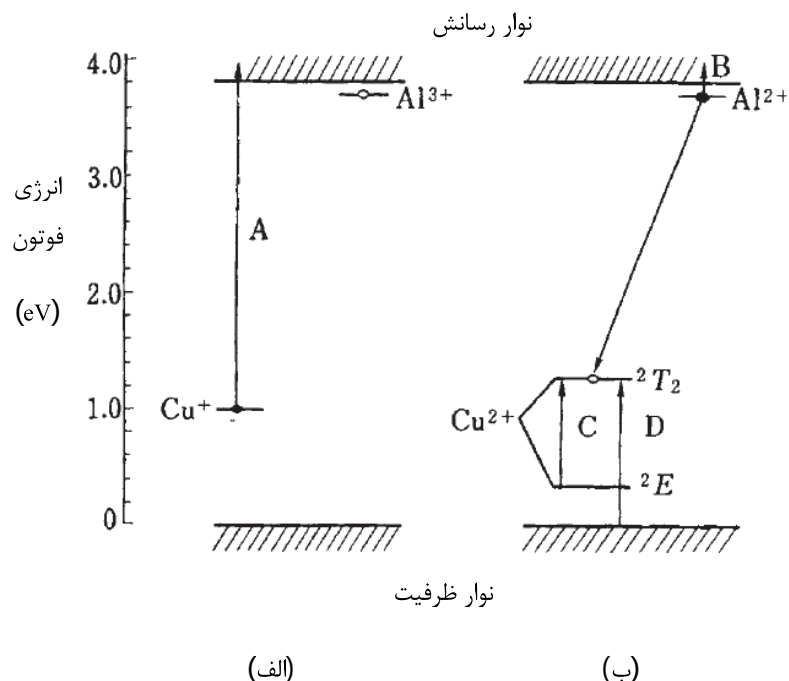
بیشترین تحقیق پودر EL روی ترکیبات II-VI متمرکز شده و ساختار ورتسایت مهم‌ترین شبکه شناخته شده EL سولفید روی (ZnS) می‌باشد. سولفید روی یک ماده نیم‌رساناست و در دو ساختار اصلی وجود دارد. فرم دمای پایین زنیک - بلند مکعبی با انرژی گاف نواری $3/4\text{ eV}$ ، و فرم دمای بالا ورتسایت (هگزاگونال) با انرژی گاف نواری $3/8\text{ eV}$ می‌باشد. دو پیکربندی در شکل ۲-۷ نشان داده شده‌اند. ZnS به خاطر خواص الکتریکی شگرف خود مثل انرژی گاف نواری بزرگ، بازترکیب مستقیم و جریان نشتی پایین، به واسطه آلودگی با فلزات گذار یا فلزات خاکی کمیاب برای یک ماده فسفر ایده‌آل می‌باشد [۴]. ZnS یک سولفید نسبتاً پایدار است طوری که می‌تواند در شرایط اتمسفری محیط بدون از دست دادن خاصیت الکترو لومینسانس ذخیره شود. اما وقتی در معرض میدان‌های الکتریکی قوی در یک قطعه EL قرار می‌گیرد باید از رطوبت محافظت شود. چون ممکن است در اثر حضور میدان و تفکیک آب به شکل یون‌های OH ماده ZnS هیدروژنه شود. پودرهای فسفر ZnS برای نور پس‌زمینه صفحات کریستالی مایع یا برای نمایشگرهای صفحه‌ای تخت مناسب هستند و این امتیاز را مرهون منفعت فرآیند تولید ساده، توانایی تولید آسان صفحات بزرگ و کارایی در توان‌های بالا می‌باشند [۵]. بنابراین فسفرهای نوع ZnS، مثل ZnS: Cu, Al گسیلنده رنگ سبز، از نقطه نظر کاربردی بسیار مهم می‌باشند. مراکز لومینسانس در این فسفرها به صورت دهنده‌های عمیق یا پذیرنده‌های عمیق یا به وسیله مشارکت در جایگاه‌های نزدیک‌ترین همسایه شکل می‌گیرند.



شکل ۲-۲ ساختار کریستالی زینک بلند ZnS (سمت چپ) و ساختار کریستالی هگزاگونال ZnS (سمت راست).

ترازهای انرژی ZnS: Cu,Al در شکل ۲-۲ نشان داده شده‌اند [۴]. قبل از برانگیختگی، Cu (پذیرنده) تک ظرفیتی است (1^+)، در حالی که Al (دهنده) سه ظرفیتی می‌باشد (3^+)، بنابراین در شبکه جبران بار^۱ اتفاق می‌افتد. جذب A در شکل حدود ۴۰۰ nm جمع شده که مشخصه نوار برانگیختگی مرکز را می‌دهد. هنگام برانگیختگی، Cu و Al دو ظرفیتی می‌شوند (2^+). ترازهای Cu^{2+} پیکربندی (3d) به وسیله میدان کریستالی به دو حالت 2T_2 و 2E ، با لایه بالاتر 2T_2 ، در ساختار زینک-بلند شکافته می‌شود. در فرآیند آزادسازی ناشی از میدان الکتریکی معکوس، الکترونی که توسط Al^{2+} به دام افتاده با حفره‌ای که توسط Cu^{2+} به دام افتاده باز ترکیب کرده و لومینسانس تولید می‌شود. در نتیجه Cu و Al به ترتیب تک ظرفیتی و سه ظرفیتی می‌شوند.

¹ -charge compensation



شکل ۲-۲۰ ترازهای انرژی و گذارهای جذبی فسفر ZnS:Cu,Al، (الف) قبل از برانگیختگی و (ب) حین برانگیختگی [۴].

سولفید روی و ترکیبات وابسته به آن برای بسیاری از فسفرهای فوتولومینسانس و الکترو لومینسانس به عنوان یک پایه می‌باشند. این مواد اغلب به فسفرهای الکترو لومینسانس موثر معروف می‌باشند. پیکربندی سولفید روی به دو صورت ساختار مکعبی دمای پایین (ساختار زینک‌بلند)^۱ و ساختار هگزاگونال (ورتسایت) دمای بالا ممکن می‌باشد. ساختار زینک‌بلند می‌تواند از یک بسته فشرده مکعبی یون‌ها حاصل شود، در صورتی که ساختار ورتسایت از یک بسته فشرده شش وجهی حاصل شده است. ماده الکترو لومینسانس باید در هر دو ساختار وجود داشته باشد. علی‌رغم این‌که بیشتر سیستم‌های کووالانسی تمایل به شکل‌گیری در ساختار زینک-بلند دارند در مواد یونی عمدتاً ساختار ورتسایت غالب می‌شود. ساختار نهایی محصول به دمای عملیات گرمایی، نحوه خنک شدن، و اتمسفر خنک شدن بستگی دارد؛ چون عملیات گرمایی در نمونه‌های سولفید روی شامل آلایندگی مس منجر به تغییرات مهمی می‌شود [۶]. جدول ۱-۲ انرژی گاف نواری تعدادی از ترکیبات گروه II-VI را نشان می‌دهد [۶].

^۱-Sphalerite

جدول ۱-۲ خواص ساختاری ترکیبات گروه II-VI

ترکیب	ساختار شبکه	گاف نواری (eV)	گاف نواری (A)
ZnS	هگزاگونال	۳/۷۰	۳۳۵۰
ZnS	مکعبی	۳/۶۴	۳۴۱۰
ZnO	هگزاگونال	۳/۲۰	۳۸۸۰
ZnSe	مکعبی	۲/۶۰	۴۷۷۰
CdS	هگزاگونال	۲/۴۳	۵۱۰۰
ZnTe	مکعبی	۲/۱۵	۵۷۸۰
CdSe	هگزاگونال	۱/۷۴	۷۱۱۵
CdTe	مکعبی	۱/۴۲	۸۷۱۰

فسفر الکترو لومینسانس ZnS:Mn با دقت بیشتر به صورت $Zn_{(1-x)}SMn_x$ توصیف می‌شود که x در بازه بین ۰/۰۵ تا ۰/۰۲ می‌باشد. آلاینده Mn به دلیل شباهت شعاع یونی با Zn (شعاع Zn^{2+} برابر ۰/۷۴nm و شعاع Mn^{2+} برابر ۰/۸nm می‌باشد و قادر هستند در یک پیکربندی چهاروجهی پیوند برقرار کنند.) به صورت یون 2^+ جانشین مؤثری برای یون‌های Zn^{2+} می‌شود و می‌تواند لومینسانس زرد را تولید کند. Mn به عنوان یک عنصر واسط، یک پوسته داخلی یا پوسته 3d غیرپر دارد. توجه به این نکته حائز اهمیت است که گذار الکترونی از اولین حالت برانگیخته به حالت پایه یک فوتون تولید می‌کند اما این امر روی بار یون Mn^{2+} تأثیر نمی‌گذارد، اگرچه گذار انجام می‌شود اما بار همان 2^+ باقی می‌ماند. پس فرآیند لومینسانس یک فرآیند انتقال بار نیست در صورتی که لومینسانس در دیگر فسفرهای خیلی معروف ZnS، مثل فسفرهای CRT^۱، ZnS:Cu و ZnS:Ag یک فرآیند انتقال بار است. اینجا، یک الکترون از حالت انرژی بالاتر به جای دیگری در فسفر سقوط می‌کند و توسط آلاینده Cu^{2+} یا Ag^{2+} پذیرفته می‌شود. این امر در حالت Ag^{1+} یا Cu^{1+} اتفاق می‌افتد، و لومینسانس نیز از

^۱-Cathode Ray Tube

انتقال الکترون به یون فلزی که یک فرآیند باز ترکیب الکترون - حفره در دام‌های موجود است اتفاق می‌افتد. به هر حال یون Mn^{2+} بدون انتقال بار نور می‌دهد و این امتیاز ویژه‌ای است چون Mn^{2+} تنها مرکز لومینسانس است که عموماً بدون انتقال بار خواص EL خوبی شامل راندمان بالا و عمر طولانی را نشان می‌دهد. وقتی یک میدان الکتریکی به فسفر EL اعمال می‌شود فرآیند بهمنی رخ می‌دهد و الکترون‌های داغ مراکز Mn فرآیند برخورد - برانگیزش را تولید می‌کنند. این فرآیند برخورد - برانگیزش توسط یک سطح مقطع - برانگیزش، که به صورت نسبت برانگیزش الکترون‌های داغ یون Mn^{2+} تعریف می‌شود، مشخصه‌یابی می‌گردد. Mn یک سطح مقطع بزرگ برخورد - برانگیزش در ZnS دارد و میدان الکتریکی اعمالی بازدهی فرآیند باز ترکیب را که به همراه یون Mn^{2+} رخ می‌دهد، تغییر نمی‌دهد.

ممکن است یون‌های Mn^{2+} در دیگر میزبان‌های فسفر EL، لومینسانس سبز تولید کنند. یک اکسید فسفر فعال $Zn_{2-x}Mn_xSiO_4$ به گذار تابشی داخل پوسته‌ای شبیه آنچه در ZnS:Mn اتفاق می‌افتد، تکیه می‌کند. رنگ لومینسانس به جای زرد، سبز می‌باشد که ناشی از تغییری در محیط میدان کریستالی یون Mn^{2+} می‌باشد.

مراکز نورگسیل EL مؤثر دیگری نیز، مانند مؤلفه‌های اکسیدی و مؤلفه‌های سولفیدی، وجود دارند. مواد میزبان فلورید و نیتريد نیز شناسایی شده‌اند، اما انجام EL با آن‌ها تاکنون با موفقیت روبرو نبوده است. Eu^{2+} در فسفرهای $BaAl_2S_4$ ، که یک گذار 4f-4d دارد، لومینسانس آبی بسیار عالی را نشان می‌دهد. Ce^{3+} نیز که یک گذار 4f-4d دارد، در فسفرهای SrS لومینسانس سبز - آبی روشنی را نشان می‌دهد. تعداد بیشماری از مواد میزبان از اصلاح دیگر میزبان‌ها به دست می‌آیند. برای مثال در مقایسه با ماده ZnS:Mn، که پیک طول موجی زیر ۵۸۰ nm را نشان می‌دهد، فسفرهای $Mg_xZn_{1-x}S:Mn$ یک گذار آبی را ارائه می‌دهند. ZnS:Tb نیز یک فسفر سبز روشن است و این موضوع برای Tb که به راحتی در میزبان ZnS قابل حل نمی‌باشد (ناشی از سایز و بار ناسازگار یون Tb^{3+})، غیر معمول است. یک کمک فعال ساز جبران کننده بار، مثل F یا O به عنوان عامل کمک کننده به فرآیند فعال سازی، می‌تواند نقش مهمی را در اصلاح عملکرد این فسفرها بازی کند. برخی فسفرهای EL مهم به همراه خواص آن‌ها در جدول ۲-۲ آمده است [۴].

جدول ۲-۲ فسفرهای الکترولومینسانس اکسیدی و سولفیدی مهم به همراه رنگ ترکیبی و بازدهی لومینسانس گزارش شده از آنها. توجه کنید که در بسیاری از حالات مقادیر بازدهی لومینسانس به صورت یک بازه می‌باشد که با توجه به شرایط آماده‌سازی و ساختار ماده مقادیر مختلفی حاصل می‌شود.

فسفر	رنگ	بازدهی (L/W)
ZnS:Mn	زرد	۳-۱۰
ZnS:Tb	سبز	۰/۵-۲
SrS:Ce	سبز-آبی	۰/۵-۱/۵
SrS:Ce, Eu	سفید	۰/۴
BaAl ₂ S ₄ :Eu	آبی	۰/۵-۱/۵
SrGa ₂ S ₄ :Eu	سبز	۱-۲
Zn ₂ SiO ₄ :Mn	سبز	۰/۵-۲
Zn ₂ Si _x Ge _{1-x} O ₄ :Mn	سبز	۱-۳
ZnGa ₂ O ₄ :Mn	سبز	۱-۲
Ga ₂ O ₃ :Eu	قرمز	۰/۵-۱
Y ₂ O ₃ :Mn	زرد	۱۰
Y _x Ga _y O ₃ :Mn	زرد	۱۰

۲-۳ الکترولومینسانس پودری جریان مستقیم (DCPEL)

DCPEL برای اولین بار در سال ۱۹۵۴ توسط زام^۱ در یک سیستم پودر فسفر گزارش شد [۷]. در سال ۱۹۵۵، نیکل^۲ [۸] و بوتل^۳ [۹]، الکترولومینسانس را در فسفرهای لامپ‌های اشعه کاتدی (CRT)^۴ که توسط ولتاژ DC برانگیخته شده بودند، مشاهده نمودند. در سال ۱۹۵۹، کزنکین^۵ [۱۰] DCPEL را در فسفر پودر ZnS: Mn, Cu معلق در روغن کرچک گزارش کرد. کار اخیر نشان داد که DCPEL فقط می‌تواند در فسفری با

¹-Zalm

²-Nicoll

³-Bowtell

⁴-cathode ray tube

⁵-Kazankin

یک پوشش رسانای الکتریسیته مشاهده شود. به هر حال، گسترش صفحه نمایش DCPEL تا ۱۹۶۶، زمانی شروع شد که وِت^۱ و همکارانش مطالعه‌ای همه‌جانبه و سیستماتیک روی DCPEL در فسفرهای ZnS:Mn,Cu انجام دادند [۱۱، ۱۲]. در سال ۱۹۸۴، تلاش تحقیقاتی آن‌ها نهایتاً منجر به تولید قطعات DCPEL شامل 640×256 پیکسل انفرادی قابل دسترس شد که می‌توانست ۲۰۰۰ کاراکتر را در لومینسانس $\frac{cd}{m^2}$ ۸۵-۱۰۳ نمایش دهد [۱۳]. اگرچه نمایشگرهای DCPEL به صورت قطعه نمایشگرهای گرافیکی ظهور کردند، اما تلاشی اندک به گسترش شبکه‌های میزبان جدید به‌ویژه برای آماده‌سازی سیستم‌های فسفر چند رنگ اختصاص یافت. تنها تعداد کمی از قطعات مفید تجاری، مثل داشبورد ماشین، تابلوهای تبلیغاتی فروشگاه‌ها و اسکنرهای پزشکی تولید شدند. اصولاً، صفحات DCPEL برای کاربردهای گرافیکی مطالعه شده‌اند، برخی از کاربردهای تجاری نیز وجود دارند که هم‌اکنون توسط دیگر تکنولوژی‌های کاربردی جایگزین شده‌اند. جدیداً مطالعات اندکی روی DCPEL صورت گرفته است، اما مرور مفصلی روی این گونه قطعات توسط چِدا^۲ [۱۴] انجام شده است.

قطعات DCPEL برای تزریق جریان داخل ذرات فسفر به یک لایه سطحی با رسانندگی بالا نیازمند می‌باشند، این قطعات با استفاده از Cu با تراکمی بیش از حد انحلال‌پذیری در ZnS ساخته می‌شوند. برای مکانیزم واقعی این فرآیند چندین مدل پیشنهاد شده است، اما شاهدهی بر تشکیل حالت‌های سوزنی شکل $Cu_{2-x}S$ وجود دارد. $Cu_{2-x}S$ از نوع p و ZnS به طور ضعیف از نوع n می‌باشد و این امر می‌تواند به تزریق حامل تعدیل یافته در ذرات ZnS بینجامد. به علاوه، فسفرهای DCPEL برای محدود کردن ناپیکنواختی جریان و جلوگیری از شکست الکتریکی به یک ذره خیلی کوچک و غیرپاشنده نیاز دارند. بنابراین حضور Cu در همه قطعات DCPEL هم به عنوان عامل تزریق جریان و هم به عنوان یک بخشنده و گسیلنده نور ضروری است. در قطعات ACPEL و نیز در قطعات DCPEL علاوه بر مس، از منگنز نیز به عنوان یک عنصر دهنده در اصلاح روشنایی و افزایش وسعت رنگ، به طور گسترده‌ای استفاده شده است.

^۱-Vecht^۲-Chedha

۲-۴ الکترو لومینسانس پودری AC (ACPEL)

در سال ۱۹۳۶، دستریو^۱ [۱۵] گسیل نور در پودر سولفید روی فعال شده با Cu اضافی را کشف کرد. این اولین رکورد الکترو لومینسانس در مواد پودری تحت ولتاژ اعمالی بود و به "اثر دستریو" معروف شد. ساختار قطعه دستریو یک خازن بزرگ با الکتروود جیوه بود که به زودی به صورت یک خازن قابل انتقال اصلاح شد. پودر فسفر با روغن کرچک آمیخته شده و در یک لایه نازک روی صفحه فلزی گسترش یافت. یک لایه شفاف عایق میکا بالای لایه روغن - فسفر قرار گرفته و روی لایه میکا از یک لایه آب نمک به عنوان الکتروود بالایی استفاده شده بود. باید به خاطر داشت که در آن زمان هیچ الکتروود رسانای شفافی در دسترس نبود و پودر فسفر ZnS در روغنی با ثابت دی الکتریک بالا قرار گرفته بود. الکترو لومینسانس اگرچه در ولتاژ AC خیلی بالا (۱۵kV) برانگیخته شده بود، اما شدیداً ضعیف بود. در آن دهه، این اثر توجه اندکی را به خود جلب کرد. حتی در سال ۱۹۵۰، لورنز^۲ [۴] مکانیزم گسیل نوری را که توسط دستریو گزارش شده بود مورد سوال قرار داد. وی اظهار کرد که پودر فسفر ممکن است به وسیله نور UV گسیلی از شکست الکتریکی گازها در فسفرهای پودری متخلخل مساعد برانگیخته شده باشد.

طی جنگ جهانی دوم تا اواخر ۱۹۴۰، کارایی بالای پلیمرها و سرامیکها توسعه یافت و مهمتر از همه الکترودهای رسانای شفاف برای اولین بار مورد توجه و تأمل قرار گرفتند. این پیشرفت‌ها علاقه زیادی در زمینه الکترو لومینسانس پودر AC (ACPEL) ایجاد کرد. از سال ۱۹۵۰ تا اواسط ۱۹۶۰، تلاش‌های تحقیقاتی صنعتی و آکادمیک زیادی روی نمایشگرهای ACPEL صورت گرفت. بیشترین کار در آن دوره توسط آیوی^۳ و هنیش^۴ انجام شد [۴].

^۱ -Destriau^۲ -Leverenz^۳ -Ivey^۴ -Henisch

ACPEL ساختاری ساده برای قطعه دارد و می‌تواند به روش‌های کم هزینه‌ای ساخته شود. قطعات الکترو لومینسانس پودری AC را می‌توان به صورت نمونه‌ای شامل پودر ZnS آرایش یافته و معلق در چسب دی‌الکتریک در نظر گرفت که بین دو الکتروود محصور شده و روی یک زیرلایه قرار می‌گیرد. زیرلایه می‌تواند فلز یا عایق (شیشه یا پلاستیک) باشد. یک لایه بازتابنده سفید اضافی نیز باید محافظ الکتریکی اضافی را فراهم کرده و نور خروجی از قطعه را بهبود بخشد. در یک لومینسانس پایین $\frac{cd}{m^2}$ $\frac{3}{4}$ طول عمر قطعه (زمان عملکرد لازم برای افت لومینسانس به نیمی از مقدار اولیه‌اش) تقریباً بینهایت است، مثلاً قطعات ACPEL در ولتاژ مؤثر 100V و فرکانس 60 Hz می‌توانند به‌طور پیوسته بالغ بر ۱۰ سال عمل کنند [۴]. قطعات الکترو لومینسانس پودری AC هنوز هم در سطح وسیعی از نورهای پس‌زمینه زیرلایه‌های انعطاف‌پذیر، کم هزینه، بسیار نازک و کم نور، مثل ابزار الکترونیکی، تلفن‌های شارژی، کنترل‌های از راه دور، و رادیوهای ماشین کاربرد ویژه‌ای دارند. اما چالش‌های بارزی وجود دارند که مانع از استفاده گسترده آن‌ها می‌شوند، که مهم‌ترین این چالش‌ها را می‌توان به صورت زیر دسته‌بندی نمود.

۲-۴-۱ چالش‌های موجود در قطعات ACPEL

- نسبت تفکیک‌پذیری^۱ پایین، که به صورت نسبت لومینسانس در ولتاژ V به لومینسانس در $\frac{V}{2}$ تعریف می‌شود.

نسبت تفکیک‌پذیری پایین ناشی از پایه فیزیکی مکانیزم گسیل نور فسفر پودری AC می‌باشد. این خصیصه اشاره بر این امر دارد که ACPEL برای نمایشگرهای چند پیکسلی با دقت بالا مناسب نیستند.

- نسبت تباین^۲ (رنگ زمینه) پایین

نسبت تباین پایین در میزان روشنایی‌های معمولی ناشی از انعکاس بالای خود فسفر پودری می‌باشد. برای افزایش نسبت تباین می‌توان از فیلترها استفاده نمود، اما به بهای کاهش لومینسانس! بنابراین فرکانس‌ها و

^۱ -discrimination

^۲ -contrast

ولتاژهای بالا برای تحریک نمایشگر ACPEL ضروری است که متأسفانه طول عمر نمایشگر را به شدت کاهش می‌دهند.

- ضعف روشنایی مطلق

گرچه سطوح بزرگ می‌توانند نور کاملاً یکنواختی گسیل کنند و نور خروجی کل نیز می‌تواند قابل توجه باشد، اما ساخت قطعه‌ای که نور آن در روشنایی آفتاب قابل رؤیت باشد، یعنی نیاز به سطح بالایی از روشنایی، خود مسئله‌ای در خور توجه است.

- محدودیت عمر مفید قطعات با لومینسانس بالا

روشنایی یک قطعه ACPEL می‌تواند با افزایش ولتاژ اعمالی افزایش یابد، اما عمر مفید قطعه با افزایش لومینسانس شدیداً کاهش می‌یابد.

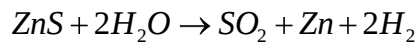
در حال حاضر با گسترش تکنولوژی، عمر مفیدی در حدود ۲۵۰۰ ساعت (با لومینسانس نسبی ۵۰٪) با لومینسانس اولیه‌ای در حدود $100 \frac{cd}{m^2}$ می‌تواند در دسترس باشد [۱۶]. احتمالاً این افت به پخش مس یا کند شدن نوک سوزن‌های مس در لایه فسفر برمی‌گردد، اما این امر موضوعی قابل بحث است. چن^۱ نشان داد میزان پخش در دماهای اعمالی بالاتر افزایش می‌یابد و در دمای $67^\circ C$ تقریباً به صفر تنزل می‌یابد و این امر بر افت مربوط به پخش اشاره می‌کند [۱۷]. گرم کردن قطعه تنزل یافته تا دمای $200^\circ C$ منجر به جوان‌سازی و نوسازی جزئی آن می‌شود [۱۸]. فیشر^۲ [۱۶] توضیح داد که افت در لومینسانس به کندی میکروسکوپی نوک‌های رسوب‌های Cu_2S داخل ذرات فسفر ZnS مربوط می‌شود. کند شدن به واسطه مهاجرت یون‌های مس، زمانی که این یون‌ها در معرض میدان‌های الکتریکی قوی قرار می‌گیرند، اتفاق می‌افتد. پایداری و در نتیجه طول عمر شدیداً به تلفیق لایه‌ها بستگی دارد.

- حساسیت به رطوبت و محیط عملگری

¹-Chen

²-Fisher

واکنش زیر بین ZnS و آب اتفاق می افتد و SO₂ تولید می شود،



به واسطه این واکنش سولفور از فسفر ZnS رها شده، عنصر روی و جاهای خالی سولفور در فسفر ایجاد می شود. وقتی تعداد جاهای خالی سولفور افزایش می یابد لومینسانس فسفر ZnS رو به زوال می رود [۱۵]. بدین علت دو روش برای جلوگیری از تنزل بنا نهاده شده اند. یک روش استفاده از فیلم ضد رطوبت، مثل فیلم فلور و کربن [۴] برای بسته بندی قطعه داخلی می باشد. روش دیگر پوشش ذرات فسفر با فیلم های نازک شفاف با خواص ضد رطوبتی است (تلفیق میکرونی) [۴]. فرآیند اخیر هزینه ماده را به صورت چشمگیری افزایش می دهد.

روی هم رفته بازده خروجی قطعات ACPEL خیلی پایین است، از مرتبه $\frac{Lm}{w}$ ، که این امر آن ها را در تکنولوژی برای کاربردهای نوری بسیار نامناسب جلوه می دهد و به ویژه همتایی برای CEL (لامپ فلورسنت فشرده) و LED محسوب نمی شوند.

فرآیند افت به واسطه رطوبت، فرکانس و دمای اعمالی بالا شتاب می گیرد. در لومینسانسی در حدود

$$170 \cdot \frac{cd}{m^2}, \text{ طول عمر نوعی لامپ های ACPEL، هزار ساعت است [۴].}$$

برخلاف تلاش های تکنیکی و قابل ملاحظه ای که از سال ۱۹۵۰ تا اواسط ۱۹۶۰ صورت گرفت، ناتوانی در گسترش طول عمر نمایشگرهای ACPEL باعث از نظر افتادگی این قطعه در اواخر ۱۹۶۰ شد. در همان زمان تکنولوژی های دیگری، مثل تخلیه گازها، دیودهای نور گسیل، فلونورسانس خلاء، الکترو لومینسانس کریستال های مایع و فیلم نازک، میل تحقیقاتی بسیاری را به خود جلب کردند. این تکنولوژی های نوظهور شدیداً از علاقه افراد به ACPEL کاسته بودند. با شروع سال ۱۹۷۴، زمانی که شارپ^۱ یک نمایشگر الکترو لومینسانس فیلم نازک AC با دو لایه عایق و با پایداری و کارایی بالایی را تولید کرد، تمام تیم های پیشرفته و تحقیقاتی شرکت های

^۱ -Sharp

مختلف در سراسر ایالت متحده آمریکا که طی سال‌های ۱۹۵۰ تا ۱۹۶۰ روی EL کار کرده بودند، مختل شدند [۱۸]. از آن پس، با توجه به پیشرفت مهمی که در بسته‌بندی رخ داده بود، هیچ کار بنیادی منتشر نشد که کاهش کارایی لامپ یا نمایشگر ACPEL را گزارش کند. در راستای بهبود طول عمر به‌وسیله جلوگیری از نفوذ رطوبت، یک روش CVD برای کپسوله کردن ذرات فسفر ZnS: Cu, Cl با یک فیلم Ti-Si-O، استفاده می‌شود [۱۹]. با برقراری جریان یا توان ثابت طول عمر یک قطعه ACPEL با لومینسانس $\frac{cd}{m^2}$ ۲۰۰ تا بیش از ۳۰۰۰ ساعت گسترش یافته است [۲۰].

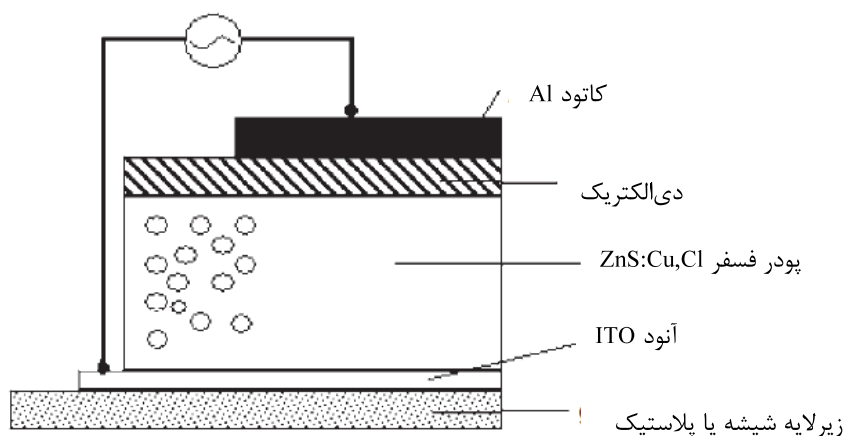
علی‌رغم این که ZnS:Cu تنها ماده برای پودر EL مؤثر است، اما به‌عنوان مجال کوچکی برای رشد مؤثر در عملکرد قطعه به نظر می‌رسد. در بهترین حالت، پودر EL به صورت یک تکنولوژی برای گسیل رنگ سبز-آبی وابسته به فرکانس- نور پیش‌زمینه برای کاربردهای غیرضروری باقی می‌ماند. اخیراً مروری بر ACPEL انجام شده که می‌توان آن را در مرجع [۱۹] جستجو کرد. در سال‌های ۱۹۵۰ و ۱۹۶۰، تلاش‌های تحقیقاتی به منظور ساخت صفحات نورده کارآمد روی فسفر ACPEL متمرکز شده بودند.

۲-۴-۲ ساختار و مواد قطعات ACPEL

قطعات ACPEL اولین بار در اولین دوره قطعات EL توسط سیلوانیا^۱ تولید شد. نوعی از ساختار قطعه ACPEL پودر ZnS در شکل ۲-۳ نمایش داده شده است. تا امروز، برانگیزش معروف فسفرهای پودری به وسیله یک میدان الکتریکی متناوب به گروه نسبتاً کوچکی از فسفرها، عمدتاً از نوع ZnS، محدود شده است. همان‌طور که در شکل ۲-۳ نشان داده شده لایه فسفر فعال EL شامل پودرهای ZnS آرایش یافته مناسبی با ذراتی در سائز $20 - 50 \mu m$ در یک دی‌الکترونیک، که به عنوان یک بایندر^۲ نیز عمل می‌کند، معلق شده‌اند.

^۱ -Sylvania

^۲ -binder



شکل ۲-۳ ساختار قطعه الکترولومینسانس پودری AC.

این لایه فسفر ضخامتی در حد $50 - 100 \mu m$ دارد و بین دو الکترود قرار گرفته است. یکی از الکترودها شفاف بوده و روی یک زیر لایه شیشه‌ای یا پلاستیکی انعطاف‌پذیر قرار گرفته است. رنگ EL فیلم به ماده فعال - ساز فسفرهای ZnS بستگی دارد. اغلب فسفرهای ZnS مورد استفاده ZnS: Cu, Ce (Al) گسیلنده سبز است؛ در این ماده، فعال‌ساز Cu به عنوان یک پذیرنده عمل می‌کند و مسئولیت رنگ گسیل را بر عهده دارد، در حالی - که Cl (یا Al) در نقش یک دهنده عمل می‌کند. میزان Cu افزوده شده در فرآیند آماده‌سازی این فسفرها نسبت به میزان ZnS برحسب گرم، حدود 10^{-3} تا 10^{-4} گرم می‌باشد. همان‌گونه که بحث خواهد شد، Cu علاوه بر این‌که به عنوان فعال‌ساز عمل می‌کند، نقش مهمی را در میدان قوی AC پودر EL نیز ایفا می‌کند. جدول ۲-۳ برخی از سیستم‌های دوتایی و سه‌تایی را نشان می‌دهد که طی سال‌ها مورد بررسی قرار گرفته و برای پودر ACEL استفاده شده‌اند. دی‌الکتریک محاط‌کننده در قطعه یک ماده آلی با ثابت دی‌الکتریک بزرگ، مثل ساینسیسلولوس^۱، یا شیشه‌ای با دمای ذوب پایین می‌باشد [۲۶]. چون افزایش پایداری و محافظت قطعه EL شکست مصیبت بار دی‌الکتریک را در پی دارد، یک لایه دی‌الکتریک، شامل پودر پراکنده شده $BaTiO_3$ در دیگر مواد دی‌الکتریک، اغلب بین لایه فعال EL و الکترود بالایی Al قرار می‌گیرد.

^۱-Cyanocellulose

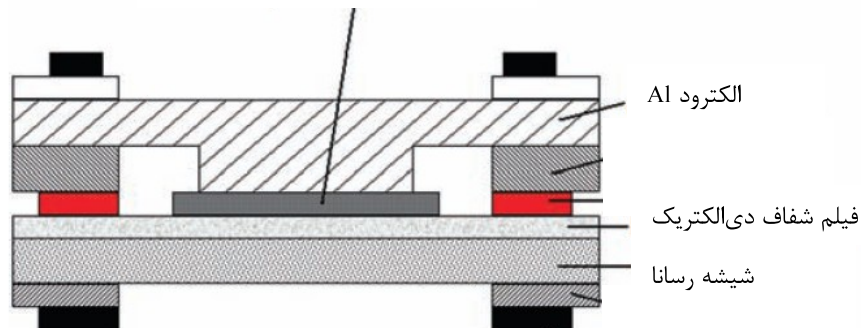
جدول ۲-۳ برخی فسفرهای الکترولومینسانس معروف AC [۴].

رنگ	فسفر
آبی	ZnS:Cu,Cl(Br,I)
سبز	ZnS:Cu,Cl(Br,I)
زرد	ZnS:Mn,Cu,Cl
زرد	ZnSe:Cu,Cl
زرد	ZnSSe:Cu,Cl
زرد	ZnCdS:Mn,Cl(Cu)
آبی	ZnCdS:Ag,Cl(Au)
آبی	ZnS:Cu,Al
زرد	ZnS:Mn,Cl

لیمین^۱ [۴] گزارش کرد که اکثر فسفرهای کریستالی پودر شده که به طور عادی الکترولومینسانس نیستند، اگر با فلزات پودری مناسب یا برخی عناصر غیرفلزی با رسانایی الکتریکی خوب مخلوط شوند، الکترولومینسانس می‌شوند. این پدیده "الکترولومینسانس تماسی" یا "EL تماسی" نامیده می‌شود. آرایش EL تماسی در شکل ۴-۲ نشان داده شده است. فسفرهای پودر شده که تحت شرایط عادی در میدان الکتریکی متناوب قوی توانایی الکترولومینسانس را ندارند، به طور مکانیکی با پودرهای فلزی مخلوط شده‌اند. این مخلوط با روغن کرچک، به عنوان دی الکتریک محاط‌کننده، در یک سلول صفحه‌ای معمولی متشکل از یک الکتروود جلویی (لایه رسانای شفاف و نازکی که روی یک شیشه لایه‌نشانی شده است) و یک الکتروود پشتی Al قرار گرفته است. با اعمال یک ولتاژ متناوب به سلول، مخلوط فسفر و فلز الکترولومینسانس می‌شوند.

¹-Lehmann

پودر فسفر و یا پودر فلز در روغن کرچک



شکل ۲-۴ چیدمان الکترولومینسانس تماسی لیمن [۴].

بسیاری از فسفرهایی که قادر به گسیل PL (نه EL) هستند، می‌توانند این EL تماسی را نشان دهند. یک بررسی کیفی از برخی نتایج به‌دست آمده با مخلوط‌هایی از فسفرهای گوناگون با پودر فلز برای ولتاژ مؤثر سینوسی ۶۰۰V و فرکانس اعمالی^۱ ۱۰۰۰۰cps در جدول ۲-۴ آورده شده است.

جدول ۲-۴ گسیل الکترولومینسانس و فوتولومینسانس فسفرهای مختلف [۴].

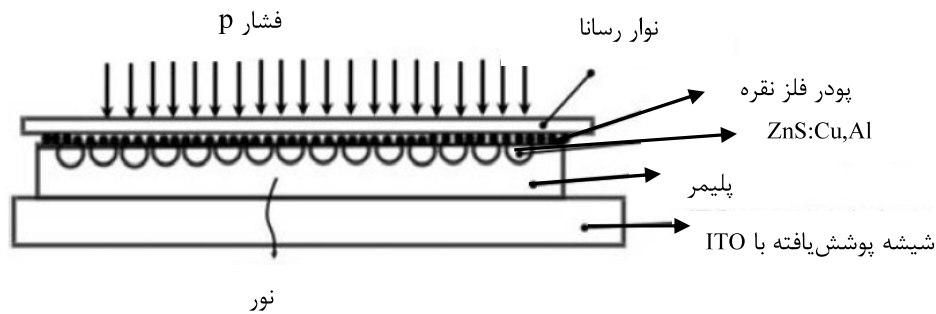
فسفر	فوتولومینسانس		الکترولومینسانس	
	۲۵۳۷ A	۳۶۵۰ A	فسفر خالص	آمیخته با پودر فلز
ZnS-Cu (0.03%)	سبز روشن	سبز روشن	-	آبی ملایم
ZnS-Cu (0.1%)	سبز آبی روشن	سبز آبی روشن	آبی ملایم	آبی روشن
ZnS-Cu (0.01%)	سبز روشن	سبز روشن	-	سبز ملایم
ZnS-Ag (0.03%)	آبی روشن	آبی روشن	-	آبی روشن
ZnS-Mn (1%)	زرد ملایم	زرد روشن	-	زرد روشن
(ZnCd)S-Cu	زرد روشن	زرد روشن	-	سبز کم‌رنگ
(ZnCd)S-Ag	زرد روشن	زرد روشن	-	زرد شبز روشن

^۱ -count per second

آبی کم رنگ	-	آبی ملایم	آبی ملایم	CaS-Bi
آبی کم رنگ	-	آبی ملایم	آبی ملایم	(CaSr)S-Bi
سبز روشن	-	سبز خیلی کم رنگ	سبز روشن	Zn ₂ SiO ₄ -Mn
سبز ملایم	-	-	سبز روشن	Zn ₃ GeSiO ₅ -Mn
آبی خیلی کم رنگ	-	-	سفید روشن	CaWO ₄ -Pb
قرمز خیلی کم رنگ	-	قرمز کم رنگ	قرمز روشن	Cd ₂ B ₂ O ₅
سفید ملایم	-	سفید روشن	سفید روشن	CaPO ₄ -Tl
سبز کم رنگ	-	سبز روشن	سبز روشن	UO ₂ (NO ₃) ₂ ·6H ₂ O

اینجا ماده محاط کننده روغن کرچک بود؛ اما نتایجی مشابه مواد دی الکتریک آلی یا حتی هوا به عنوان ماده محاط کننده حاصل شده است [۴]. رنگ گسیلی از برخی فسفرها برای فوتولومینسانس و الکترو لومینسانس متفاوت است. این امر اشاره بر این دارد که فسفرها به جای تابش UV حاصل از تخلیه شارژ داغ در یک سلول، به وسیله میدان الکتریکی برانگیخته شده اند. اگرچه هیچ رابطه مستقیمی بین طبیعت فسفر و قابلیت برانگیختگی آن توسط EL تماسی نمی تواند وجود داشته باشد اما بلورینگی، تراکم فعال ساز (اگر فعال سازها ضروری باشند) و خواص دیگر می توانند روی EL تماسی و نیز نوع اصلی ماده تأثیر بگذارند.

به تازگی آزمایشی شبیه به EL تماسی لیمین طراحی شده است. در این حالت، یک پودر فسفر ZnS: Cu, Al درون پلیمری محاط شده که روی یک زیرلایه شیشه ای قرار می گیرد. این زیرلایه نیز با لایه نازکی از ITO پوشش یافته است. پودرهای کروی فلز نقره به قطر ۱-۳ μm روی یک نوار رسانا پرس شده و بالای لایه فسفر قرار گرفته اند. وقتی فشار و میدان الکتریکی متناوب به سلول اعمال می شوند نور سبز می تواند از لایه فسفر تولید شود. این پدیده را "EL تماسی پودری" می نامند (شکل ۲-۵) [۴].



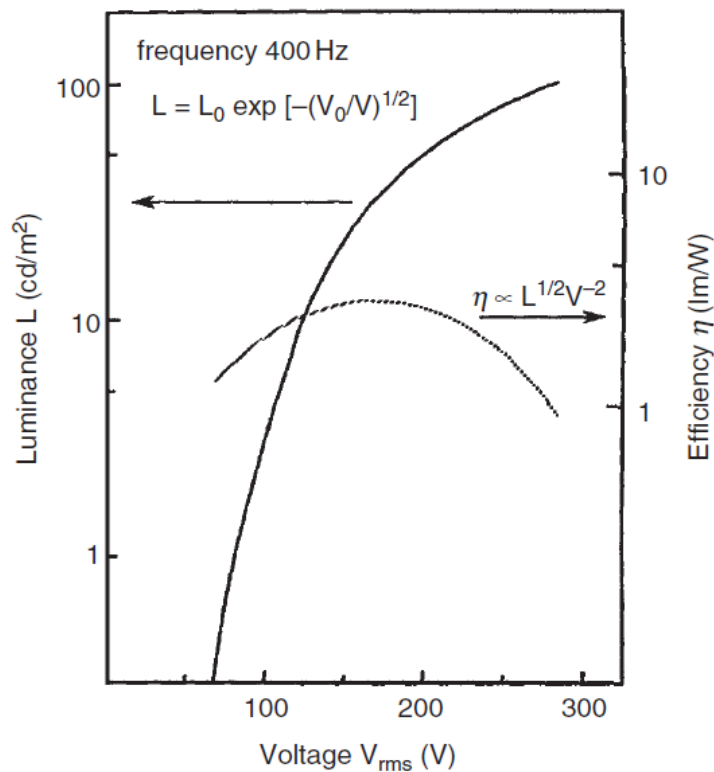
شکل ۲-۵ چیدمان قطعه الکترولومینسانس تماسی پودری [۴].

۲-۴-۳ مشخصه‌های EL مواد ACPEL

زمانی EL مشاهده می‌شود که یک ولتاژ AC در حدود $100 - 200V$ مربوط به یک میدان الکتریکی از مرتبه $10^4 Vcm^{-1}$ میان الکترودهای قطعه اعمال شود. مشخصه‌های لومینسانس - ولتاژ نوعی قطعه EL در شکل ۲-۶ نشان داده شده است [۴]. وابستگی لومینسانس (L) مشاهده شده به ولتاژ اعمالی (V) به صورت زیر بیان می‌شود:

$$L = L_0 \exp\left(-\left(\frac{V_0}{V}\right)^2\right) \quad (۲-۱)$$

پارامترهای L_0 و V_0 به سائز ذره فسفر، میزان تراکم پودر در دی‌الکتریک، ثابت دی‌الکتریک محیط و ضخامت قطعه بستگی دارند. به صورت تجربی ثابت شده که یکی از پارامترهای کلیدی تأثیرگذار بر مشخصه‌های EL سائز ذره می‌باشد و یک رابطه معکوس بین بازدهی EL و طول عمر عملکرد وجود دارد.



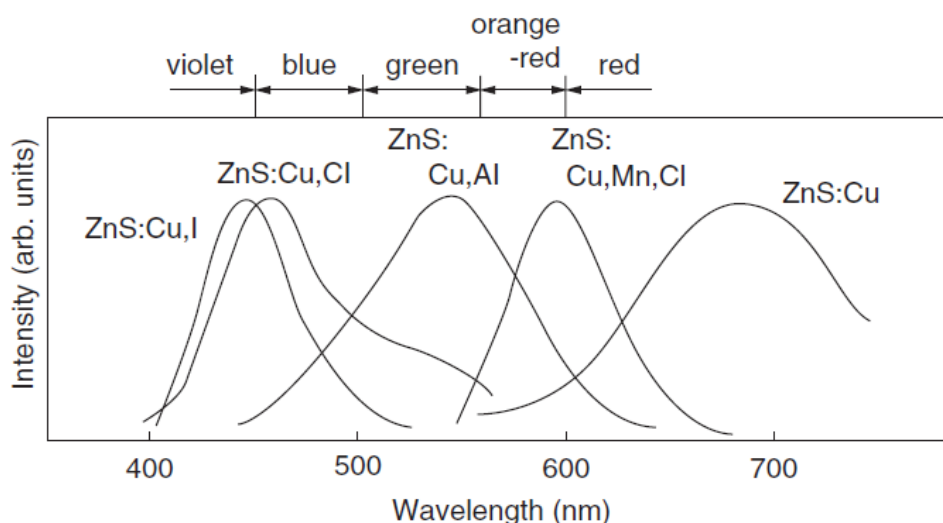
شکل ۲-۶ مشخصه‌های لومینسانس - ولتاژ، و بازدهی ولتاژ قطعه الکترو لومینسانس پودری AC [۲].

بازدهی متناسب با $d^{-\frac{1}{2}}$ افزایش می‌یابد، که d سایز ذره است؛ این امر منجر به تغییرات غیرخطی لومینسانس برحسب ولتاژ می‌شود. طول عمر عملکرد، متناسب با d کاهش می‌یابد. به علاوه، با افزایش فرکانس در بازه فرکانسی ۱۰-۱۰۰ KHZ لومینسانس افزایش می‌یابد. برای قطعاتی که در فرکانس ۴۰۰ Hz و ولتاژ ۲۰۰ V راه-اندازی شده‌اند، لومینسانس 100 cdm^{-2} حاصل شده است [۴].

نوعی وابستگی ولتاژ به بازدهی EL، η ، نیز در شکل ۲-۶ نشان داده شده است که مقادیر بازدهی نوعاً از مرتبه $1-10 \text{ lmW}^{-1}$ می‌باشند. با افزایش ولتاژ اعمالی در ابتدا بازدهی افزایش می‌یابد تا به یک مقدار اشباع برسد، اما سپس با افزایش بیشتر ولتاژ به تدریج کاهش می‌یابد. وابستگی بازدهی EL به ولتاژ V به صورت $\gamma = L^{\frac{1}{2}} V^{-2}$ بیان می‌شود. حداکثر بازدهی در یک ولتاژ مشخص زیر بالاترین تراز لومینسانس حاصل شده است.

۲-۴-۴ طیف گسیلی EL

طیف گسیلی قطعات ACPEL در شکل ۷-۲ نشان داده شده است [۴]. رنگ‌های گسیلی به مراکز متفاوت لومینسانس آمیخته با فسفرها بستگی دارند. زمانی که شبکه ZnS با Cu (فعال‌ساز) و Al، I، Cl (کمک‌فعال‌ساز) فعال می‌شود، زوج‌های دهنده (کمک‌فعال‌ساز) - پذیرنده (فعال‌ساز) تشکیل می‌شوند. الکترولومینسانس از بازترکیب جفت‌های الکترون-حفره در جایگاه‌های جفت دهنده-پذیرنده (D-A) ناشی می‌شود. ترکیب Al و Cu (ZnS: Cu, Al) رنگ گسیلی سبز (۵۵۰nm) را تولید می‌کند. ترکیب Cl و Cu (ZnS: Cu, Cl) نور آبی (۴۶۰nm) و نوارهای گسیلی سبز را می‌دهد که شدت نسبی آن‌ها به مقدار نسبی Cu و Cl بستگی دارد. ZnS: Cu, I نیز یک گسیل آبی را نشان می‌دهد. باید توجه داشت در حالتی که هیچ کمک‌فعال‌سازی داخل ZnS: Cu نشده باشد، رنگ گسیلی قرمز خواهد بود. با ورود بیشتر یون‌های Mn^{2+} به داخل فسفرهای ZnS: Cu, Cl و ZnS: Cu, Mn، گسیل زردی (۵۸۰nm) حاصل خواهد شد.

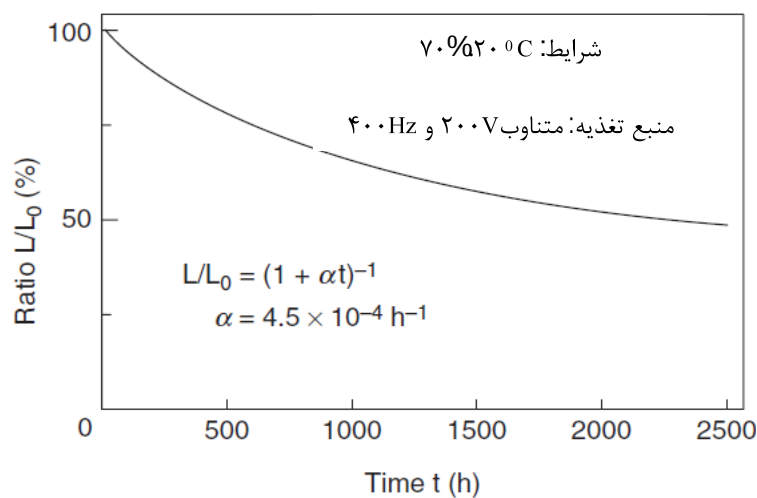


شکل ۷-۲ طیف الکترولومینسانس AC مربوط به چندین فسفر پودری ZnS [۴].

۲-۴ - افت لومینسانس و طول عمر

طول عمر و افت، یک پی‌آمد کلیدی برای کاربرد الکترولومینسانس فسفر پودری AC می‌باشد. طول عمر به صورت "زمان عملکرد مورد نیاز برای کاهش لومینسانس به نصف مقدار اولیه خود" تعریف می‌شود.

شکل ۲-۸ نمونه‌ای از خروجی نور EL بر حسب زمان را نشان می‌دهد. میزان افت به شرایط راه‌اندازی (مثل فرکانس و ترازهای لومینسانس) و شرایط محیطی، به ویژه دما و رطوبت، بستگی دارد. افت لومینسانس با زمان معمولاً با رابطه $\frac{L}{L_0} = (1 + \alpha t)^{-1}$ بیان می‌شود. که α یک ثابت است که تقریباً متناسب با فرکانس راه‌اندازی است [۴]. به علاوه، طول عمر و لومینسانس بالا مشخصه‌های جایگزین یکدیگر می‌باشند که داشتن همزمان آن‌ها برای قطعات پودری مشکل است.



شکل ۲-۸ منحنی طول عمر الکترولومینسانس قطعه ACPEL [۴].

مطابق با مدل گسیل- میدان دوقطبی (در فصل بعد بحث خواهد شد)، پدیده افت به پخش مس در شبکه ZnS مربوط می‌شود. در فصل بعد خواهیم دید که سوزن‌های رسوبی سولفید مس (خطوط دررفتگی) نقش

مهمی را در گسیل EL ایفا می‌کنند. اما خطوط نقص سولفید مس (نه تنها نوک‌های انتهایی بلکه بیشمار سطوح ناهموار کوچک) می‌توانند به واسطه بی‌ثباتی ظاهری یون‌های مس کند شوند، که این بی‌ثباتی در اثر جذب یون‌ها از کریستال میزبان مجاور یا به احتمال قوی با راندگی پهلویی یون‌های مس در جریان نوسانات عقب و جلوی آن‌ها تحت تأثیر میدان AC قوی در مقابل نوک‌ها ایجاد می‌شود [۴]. در نتیجه، سوزن‌های سولفید مس کوتاه و کوتاه‌تر شده و طی زمان عملکرد به صورت نقاط منفردی به پایان می‌رسند.

۲-۴-۶ آماده‌سازی ترکیبات خاص II-VI (مواد اولیه)

تکنیک‌های استفاده شده برای آماده‌سازی فسفرهای پودر AC در ادامه تشریح شده‌اند. در اصل دستورالعمل‌های گسترش یافته برای آماده‌سازی فسفرهای CRT برای ساخت فسفرهای EL پودر AC اصلاح شده‌اند. اغلب مواد لومینسانس و اپتوالکترونیکی II-VI با افزودن مقادیر کنترل شده ناخالصی‌های مشخص (آلاینده‌ها)، با نام فعال‌سازها و کمک‌فعال‌سازها، آماده می‌شوند تا ترکیبات II-VI با درصد خلوص بالایی حاصل شوند. در راستای آماده‌سازی مواد آغاز کننده با خلوص بالا، سه روش زیر بسیار گسترش یافته‌اند:

۱- اولین روش استفاده از واکنش مستقیم عناصر گروه II و VI، مانند عناصر خاص Zn و S می‌باشد. اما این روش به دلیل مشکل بودن کنترل واکنش و قابل انفجار بودن غیرعملی است، به‌ویژه اگر عناصر به صورت پودرهای مجزای نرم باشند.

۲- دومین روش تجزیه گرمایی فلزات آلی مناسب، مثل دی‌اتیل‌دی‌تیوکریت^۱ روی یا کادمیوم می‌باشد. تولید باقیمانده‌های آلی سمی و اثرات کربن ناشی از تلاشی ترکیبات فلز آلی خسران اصلی این روش می‌باشد. در نتیجه اگرچه این روش برای رسوب فیلم‌های نازک ZnS با موفقیت استفاده شده است، اما برای آماده‌سازی ترکیبات پودری II-VI توصیه نمی‌شود [۴].

¹ -diethyldithiocarbates

۳- روش پیشرفته نهایی استفاده از واکنش محلول‌های آبی نمک گروه II با سولفید هیدروژن گازدار، سلناید یا تلوراید، می‌باشد. واکنش بین نمک گروه II در محیط آبی با مثلاً تی‌استامید و تی‌اوره^۱ که سولفور فراهم می‌کنند نیز باعث خلوص بالای ZnS می‌شود. بنابراین، در مقایسه با دو روش ذکر شده، این روش برای آماده‌سازی فسفرهای پودری II-VI بیشتر مورد استفاده قرار می‌گیرد.

ZnS می‌تواند با استفاده از یک محلول تصفیه شده نمک Zn و سولفید آمونیوم یا هیدروژن در ترکیبات اسیدی یا قلیایی حاصل شود. فسفری که به این روش تهیه می‌شود تنها بخش کوچکی از میلیون ناخالصی فلزی سنگین می‌باشد. گرمایش رسوب خشک در اتمسفر نیتروژن تراز ناخالصی غیرفلزی را تا حدود ۵۰۰ ppm کاهش می‌دهد. این گرمایش منجر به افزایش سایز ذره و گسترش بلورینگی شبکه نیز می‌شود.

۲-۵ فعال‌سازها (آلاینده‌ها)

تمام فسفرها از یک ماده میزبان و یک آلاینده نورگسیل، که فعال‌ساز یا مرکز لومینسانس نامیده می‌شود، تشکیل شده‌اند. برای مثال استوکیومتری خالص ZnS لومینسانس نمی‌باشد. لومینسانس می‌تواند به دلیل داخل‌سازی نواقص شبکه، انحراف از نسبت استوکیومتری Zn-S، و با افزودن اتم‌های اصلی به سیستم حاصل شود. اغلب وقتی اتم‌های ناخالصی داخل می‌شوند، نواقص و انحراف از استوکیومتری به‌طور همزمان، یا به وسیله بازآرایی شبکه کریستال و یا به وسیله شرایط فرآیندهای شیمیایی و فیزیکی که تحت آن‌ها ناخالصی افزوده می‌شود، ایجاد می‌شوند. Cu و Mn مثال‌هایی از اتم‌های ناخالصی (فعال‌سازها) هستند. تراکم عناصر فعال‌ساز در شبکه ZnS معمولاً به خاطر محدودیت در قابلیت انحلال آن‌ها محدود می‌باشد مگر این‌که عنصر دیگری به نام کمک‌فعال‌ساز در همان زمان وارد شود. کمک‌فعال‌ساز معمولاً یک هالید (I, Br, Cl) و یا یک یون سه ظرفیتی (Al, Ga, In) می‌باشد. اما کمک‌فعال‌ساز فقط روی قابلیت انحلال فعال‌ساز تأثیر ندارد، بلکه با ورود فعال‌ساز به داخل شبکه یک الکترون به آن انتقال یافته یا از آن خارج می‌شود تا تأثیر جبران بار داشته باشد. وقتی فسفر برانگیخته می‌شود و الکترون‌ها در نوار رسانش ظاهر می‌شوند مراکز فعال‌ساز می‌توانند الکترون‌ها را تسخیر کرده

¹ -thioacetamide & thiourea

و سپس آن‌ها را تحت گرما یا صورت دیگری از برانگیزش آزاد کنند. در رفتاری مشابه که فعال‌سازها به عنوان تله‌های حفره یا پذیرنده‌ها به کار گرفته می‌شوند و بر بسیاری از خواص فسفر و نیز الکترو لومینسانس تأثیر می‌گذارند، می‌توانند به عنوان تله‌های الکترون یا دهنده‌ها عمل کنند.

دیگر ناخالصی‌ها که منجر به کاهش پدیده EL می‌شوند "کشنده‌ها" یا "خاموش‌کننده‌ها" نامیده می‌شوند. برای مثال، Co، Fe و Ni خاموش‌کننده‌های معروفی در فسفرهای نوع CRT می‌باشند.

در آماده‌سازی فسفر ACPEL معمولی، ترکیب اتم‌های ناخالصی با افزودن آلاینده‌ها یا به شکل محلول آبی یا با آسیاب کردن (خشک یا مرطوب) انجام می‌شود. اگر افزودن به روش محلول یا آسیاب مرطوب انجام شود، مخلوط باید قبل از گرم شدن در دماهای مربوطه کاملاً خشک شود تا به پخش آلاینده‌ها در شبکه‌های ماده میزبان کمک کند. گاهی اوقات جریان‌هایی مثل MgO ، $BaCl_2$ و $NaCl$ نیز در دماهای فعال‌سازی پایین‌تر افزوده می‌شوند. عناصر گروه IB یا گروه VB (فعال‌سازها) معمولاً به همراه ناخالصی‌های (کمک‌فعال‌سازهای) گروه IIIB یا گروه VIIB معرفی می‌شوند. دلیل اصلی افزودن دو نوع ناخالصی یا بیشتر به طور همزمان، به جبران بار در شبکه فسفر II-VI مربوط می‌شود. Cu و Al از گروه IB مهم‌ترین فعال‌ساز برای فسفرهای پودری می‌باشند که EL سبز و نیز آبی را ساطع می‌کنند. معمولاً کمک‌فعال‌سازهای هالیدی به کار گرفته می‌شوند که برای لومینسانس، Cl^- ترجیح داده می‌شود [۲۱].

فصل سوم

مکانیزم پدیده الکترو لومینسانس

- پیشینه پودرهای الکترو لومینسانس
- مکانیزم عملکرد قطعات الکترو لومینسانس
- مکانیزم عملکرد قطعات DCPEL
- مکانیزم کسب نور برای قطعه ACEL پودر ZnS

۱-۳ پیشینه پودرهای الکترولومینسانس

در سال ۱۹۰۷، راند^۱ گسیل نور از یک دیود پیوندی Se، به عنوان اولین دیود نور گسیل (LED)، را گزارش کرد. در سال ۱۹۲۷، گسیل نور از دیودهای ZnO و SiC توسط لاسو^۲ مشاهده شد [۱]. دستریو نیز در سال ۱۹۳۶ به خاطر کشف الکترولومینسانس میدان قوی در جامدات که بر اساس فسفر بود، معروف شد [۱]. سلول دستریو از پودر ZnS آرایش یافته با Cu در روغن کرچک تشکیل شده بود که یکی از الکترودها به واسطه یک ورقه میکا محافظت می شد. علی رغم ولتاژ AC خیلی زیادی که به قطعه اعمال می شد، نور گسیلی بسیار ضعیف بود و در نتیجه این بدگمانی حاصل شد که گسیل واقعی نور در نتیجه الکترولومینسانس ناشی از برانگیزش ZnS:Cu نمی باشد، بلکه به فوتولومینسانس حاصل از ZnS:Cu برمی گردد که توسط اشعه UV و تخلیه الکتریکی در گازها در پودرهای متخلخل برانگیخته شده است. در سال های اخیر، دسترس پذیری SnO_2 به عنوان یک رسانای شفاف در جهت توسعه قطعات الکترولومینسانس مسطح کمک مؤثری محسوب می شد. از سال ۱۹۵۰ صفحات EL برای تأمین روشنایی پس زمینه داشبورد ماشین طراحی شدند. به عنوان مثال در ماشین خوشگذرانی امپراطوری کرایسلر^۳ در سال ۱۹۶۰ این قطعه به کار گرفته شد. خوشبختانه در طی مأموریت آپولو یازده^۴ شکست های مکرر یک نمایشگر EL از این نوع، در نظر توسعه دهندگان قطعات EL به نقصی در مدار موثر منسوب شد و نه به مسائل مربوط به خود نمایشگر.

^۱ -H. J. Round

^۲ -Losev

^۳ -Chrysler

^۴ -Apollo11

با وجود این که گروه‌های زیادی به تحقیق روی پودر EL پرداخته‌اند، اما شایسته است در این زمینه سهم ویژه‌ای برای تورنتون^۱ [۲]، ویلیام و پیپر^۲ [۳] و وت^۳ [۵] در نظر گرفته شود.

۲-۳ مکانیزم عملکرد قطعات الکترولومینسانس

۱-۲-۳ مکانیزم عملکرد قطعات DCPEL

الکترولومینسانس پودر فسفر غیرآلی بسته به نوع ولتاژ اعمالی به دو دسته الکترولومینسانس پودر AC (ACPEL) و الکترولومینسانس پودر DC (DCPEL) تقسیم می‌شود.

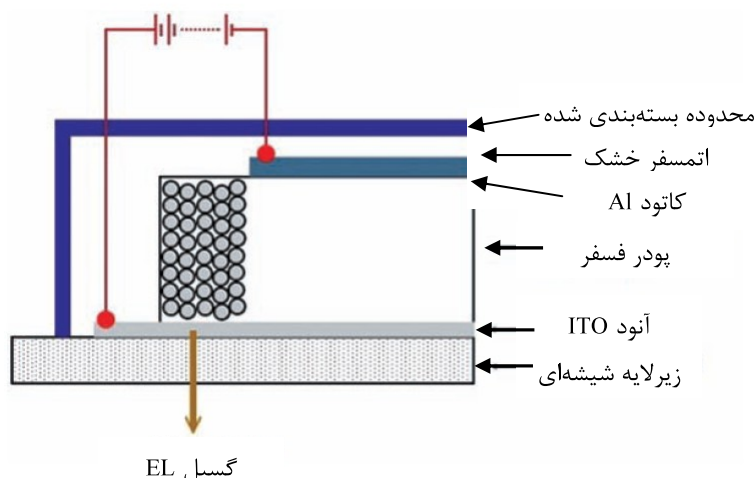
ساختار نوعی قطعه DCPEL در شکل ۱-۳ نمایش داده شده است. یک لایه فعال EL متشکل از پودر فسفر ZnS:Mn,Cu آمیخته با مقدار خیلی کمی بایندر^۴ بین الکتروود شفاف جلویی ITO و الکتروود پشتی Al قرار گرفته است. ضخامت لایه پودر فسفر نوعاً $50 - 30 \mu m$ است. در مقایسه با سایز $20 - 5 \mu m$ ذره در ACPEL، سایز ذره DCPEL خیلی کوچک‌تر - تقریباً $1-5 \mu m$ - است. در ابتدا ذرات ریز فسفر شدیداً نارسا هستند. با غوطه‌ور ساختن ذرات فسفر داخل محلول داغ $CuSO_4$ ، یک لایه سطحی Cu_xS رسا می‌تواند به صورت شیمیایی شکل بگیرد. این فرآیند یک فرآیند پوشش Cu نامیده می‌شود.

¹ -Thornton

² -Piper & Williams

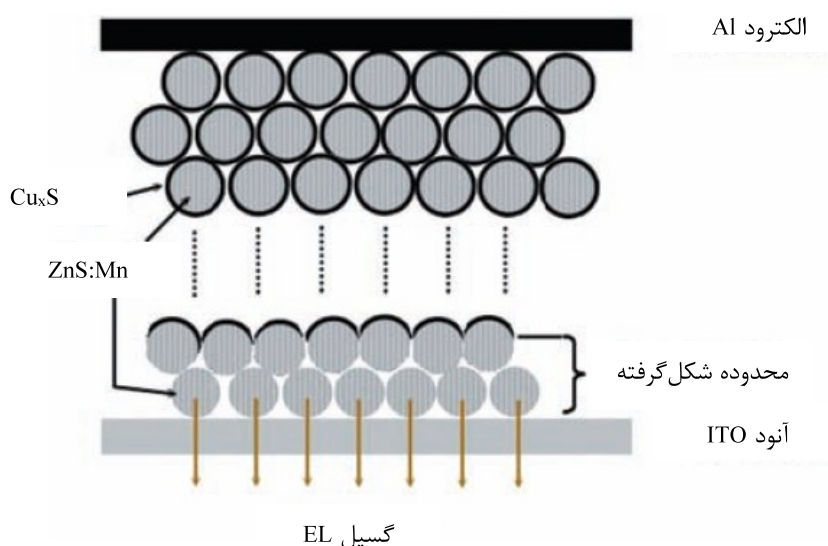
³ -Vecht

⁴ -binder



شکل ۳-۱ ساختار قطعه DCPEL.

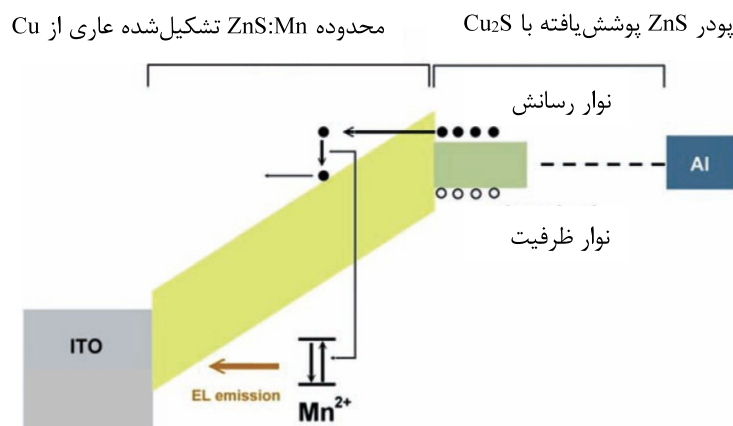
از آنجایی که ZnS نسبت به رطوبت حساس است و درون ساختار قطعه هیچ‌گونه محافظتی از رطوبت وجود ندارد، ساختار درونی باید کاملاً محافظت شود. مد عملگر قطعه DCPEL ضرورتاً یک فرآیند مقاومتی است. یک قطعه تازه‌کار DCPEL تا زمانی که فرآیند شکل‌گیری را سپری نکند نور گسیل نمی‌کند (شکل ۳-۲). یک لایه پودر فسفر که به طور مناسبی با Cu پوشش یافته و با حداقل بایندر آمیخته شده نوعاً مقاومتی در حد ۲ - ۱ اهم-متر دارد [۲۲].



شکل ۳-۲ دیگرام شماتیک یک لایه شکل گرفته فسفر پودری ZnS:Mn, Cu

وقتی یک ولتاژ DC از طریق الکتروود Al که به صورت منفی بایاس شده به قطعه تازه کار اعمال می‌شود، در اثر حضور لایه سطحی رسانای Cu_xS جریان بزرگی جاری می‌شود. در این لحظه از زمان فعال‌ساز Mn برانگیخته نشده است. با افزایش ولتاژ اعمالی، لایه فسفر شروع به گرم شدن می‌کند و به یون‌های Cu^+ اجازه می‌دهد به سمت الکتروود منفی مهاجرت کنند. با ادامه این فرآیند، لایه نازکی از ZnS عایق عاری از Cu نزدیک آنود ITO شکل می‌گیرد. زمانی که ضخامت این لایه به $1-2 \mu m$ رسید، نور از این لایه عایق گسیل می‌شود. با آغاز گسیل نور، جریان به سرعت افت می‌کند [۱۴]. به دلیل کوچ پیوسته یون‌های Cu^+ ، محدوده‌ای که فرآیند شکل‌گیری را سپری می‌کند رشد می‌کند، که به تدریج میدان الکتریکی ناحیه را کاهش می‌دهد. در نتیجه فرآیند گسیل نور خود _ محدود می‌شود. زمان شروع گسیل نور، ضخامت محدوده شکل‌گرفته عاری از Cu حدود $1-2 \mu m$ است. حداکثر ولتاژ اعمالی (از مرتبه $100V$)، در نتیجه میدان الکتریکی (حدود $10^8 \frac{V}{m}$)، میان این محدوده افت می‌کند.

شکل ۳-۳ مکانیزم گسیل نور یک قطعه DCPEL را نشان می‌دهد. تحت تأثیر میدان الکتریکی قوی، الکترون‌ها از طریق اثر تونل‌زنی از نوار رسانش لایه Cu_xS به محدوده ZnS:Mn عاری از Cu فرار می‌کنند. سپس الکترون‌های گریخته به وسیله میدان الکتریکی قوی شتاب گرفته و مراکز لومینسانس Mn^{2+} را به وسیله برانگیزش تماسی برانگیخته می‌نمایند. گسیل نور زمانی اتفاق می‌افتد که مراکز لومینسانس برانگیخته گذارهایی تابشی به حالت‌های زمینه خود داشته باشند.



شکل ۳-۳ مدل انرژی قطعه DCPEL.

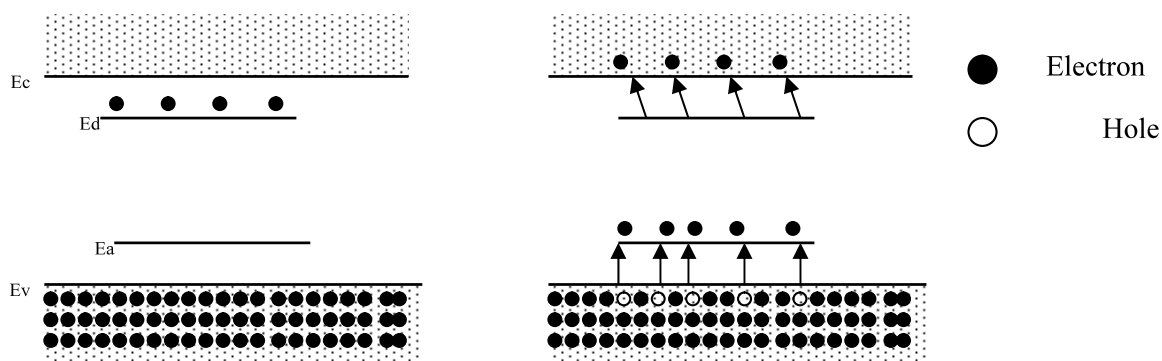
قطعه DCPEL تازه کار به مد عملکردی جریان پیوسته محدود شده بود. به دلیل فرآیند خود-محدود گسیل نور در قطعه DCPEL، ولتاژ اعمالی تا رسیدن به لومینسانس پایدار باید به طور پیوسته افزایش یابد تا زمانی که شکست الکتریکی فیلم را خراب کند.

۲-۲-۳ مکانیزم گسیل نور برای قطعه ACEL پودر ZnS

طبق نظریه نواری جامدات، وقتی اتم‌های منفرد در یک کریستال مقید می‌شوند، انرژی آن‌ها تشکیل یک سری "نوار" می‌دهند. به همراه یک نوار ضرورتاً پیوستاری از حالت‌های انرژی وجود دارد. در یک کریستال غیرفلزی کامل نوارهای منفرد به وسیله یک گاف عاری از هرگونه تراز انرژی مجزا می‌شوند. گاف بین بالاترین نوار اشغال شده (نوار ظرفیت) و پایین‌ترین نوار اشغال نشده (نوار رسانش) گاف نواری، E_g ، نامیده می‌شود. لومینسانس برحسب گذارهای درون یا میان گاف نواری به دو دسته تقسیم می‌شود: (۱) گسیل اصلی، ذاتی یا لبه‌ای و (۲) گسیل مشخصه‌ای یا فعال شده یا غیرذاتی. لومینسانس ذاتی ناشی از بازترکیب الکترون - حفره میان گاف انرژی یک ماده با فرمالیسم برانگیختگی مربوطه می‌باشد. در شدت لومینسانس، قله در انرژی معادل گاف انرژی ظاهر می‌شود. اگر ترازهای انرژی تولید شده توسط ناراستی‌های کریستالی یا اتم‌های ناخالصی منجر

به بازترکیب تابشی درون گاف انرژی یک ماده شوند، لومینسانس غیرذاتی می‌تواند مشاهده شود. اغلب فسفرهای معمول بیشتر از طریق مکانیزم غیرذاتی نور می‌دهند تا مکانیزم ذاتی.

آلایش فرآیندی است که طی آن ناخالصی‌هایی به صورت عمدی داخل کریستال نیمرسانا می‌شوند تا تولید حامل نور نمایند. وقتی ناخالصی‌ها (یا نواقص شبکه) به صورت جانشینی یا میانجایی داخل می‌شوند در ساختار نوار انرژی کریستال کامل، معمولاً درون گاف نواری، ترازهای اضافی تولید می‌شوند. اگر ناخالصی داخل شده بتواند یک تراز انرژی در نزدیکی نوار رسانش تولید کند، انرژی گرمایی بسیار کوچکی برای برانگیزش الکترون - های "به دام افتاده" از این تراز به نوار رسانش نیاز است. چنین ناخالصی، دهنده^۱ نامیده می‌شود. اگر تراز انرژی تولید شده توسط ناخالصی به نوار ظرفیت بسیار نزدیک باشد، الکترون‌ها می‌توانند با کسب انرژی گرمایی اندکی به راحتی برانگیخته شده، از نوار ظرفیت به تراز ناخالصی رفته و حفره‌هایی را در نوار ظرفیت به جای گذارند. این چنین ناخالصی، پذیرنده^۲ نام دارد. موقعیت دهنده و پذیرنده را می‌توان مانند شکل ۳-۴ تصور نمود.



شکل ۳-۴ نوار انرژی در نیمرساناها. E_v و E_c لبه نوار ظرفیت و نوار رسانش، E_d و E_a تراز انرژی donor و acceptor می‌باشند.

در مکانیک کوانتومی، تونل‌زنی کوانتومی یک پدیده میکروسکوپی و نانوسکوپی است که در آن ذره از اصول مکانیک کلاسیک تخطی کرده و داخل سد پتانسیل یا امپدانس بیشتر از انرژی جنبشی ذره شده و از آن عبور می‌کند. وقتی یک میدان الکتریکی قوی از مرتبه 10^6 V/cm به سد شاتکی، سد پتانسیلی که در محدوده

¹ -donor

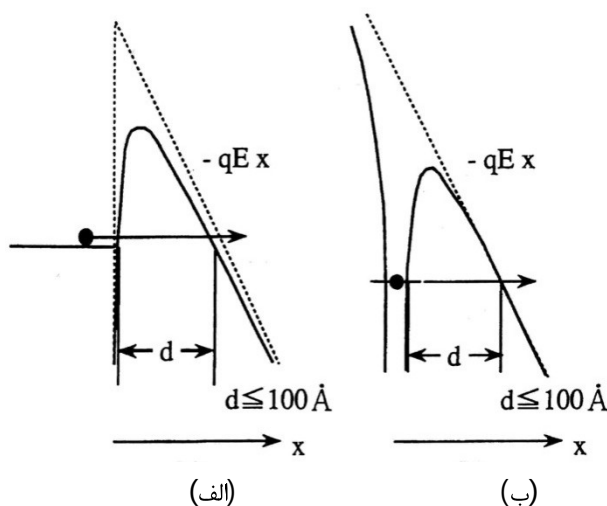
² -acceptor

تماس نیم‌رسانا با فلز تشکیل می‌شود، یا به تله‌های الکترونی اعمال می‌شود سدی با عرض خیلی باریک، با ضخامتی در حدود $100 \text{ \AA}$ ، تشکیل می‌شود. در این حالت، همان‌گونه که در شکل ۳-۵ نشان داده شده است، الکترون مستقیماً داخل نوار رسانش تونل می‌زند.

چگالی جریان ناشی از این فرآیند مستقل از دما بوده و تنها به میدان الکتریکی بستگی دارد. این چگالی توسط معادله زیر توصیف می‌شود:

$$J \cong V^2 \exp\left(\frac{-b}{V}\right) \quad (۱-۳)$$

بعد از داخل شدن اتم‌های Al و Cu به شبکه ZnS، اتم‌های Cu به عنوان پذیرنده عمل کرده و در نقش مراکز بازترکیب، مسئولیت گسیل را برعهده می‌گیرند. در حالی که اتم‌های Al نقش دهنده را ایفا می‌کنند، به دام‌اندازی و رهاسازی الکترون‌ها و نیز جبران بار توسط Cu انجام می‌شود.



شکل ۳-۵ دیگرام شماتیک برای (الف) سد شاتکی و (ب) تله‌های عمیق الکترونی تحت میدان الکتریکی قوی. تزریق الکترون ناشی از اثر تونل‌زنی نشان داده شده است.

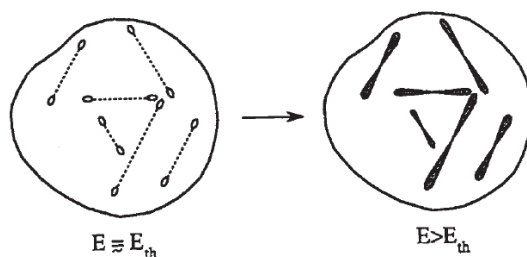
تئوری‌های زیادی برای توضیح ACPEL از نوع ZnS بنا شده‌اند، از جمله:

- مدل یونیزاسیون تماسی (فشرده)

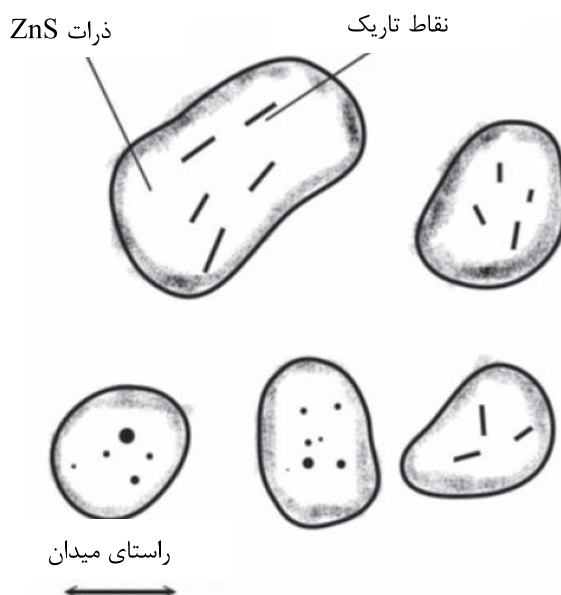
• مدل گسیل زنر

• مدل یونیزاسیون تماسی معکوس

تاکنون معقول‌ترین و محبوب‌ترین تئوری، مدل گسیل میدان دوقطبی بوده است که توسط فیشر^۱ ارائه شد. طی مطالعاتی دقیق از ذرات داخلی ZnS:Cu,Cl که با استفاده از یک میکروسکوپ اپتیکی صورت گرفته بود، مشاهده شده که شکل محدوده گسیلنده تابان با یک تک ذره EL به صورت خطوط دوگانه‌ای با تصویری شبیه به دنباله چشم‌زن یک ستاره دنباله‌دار می‌باشد (شکل ۳-۶).

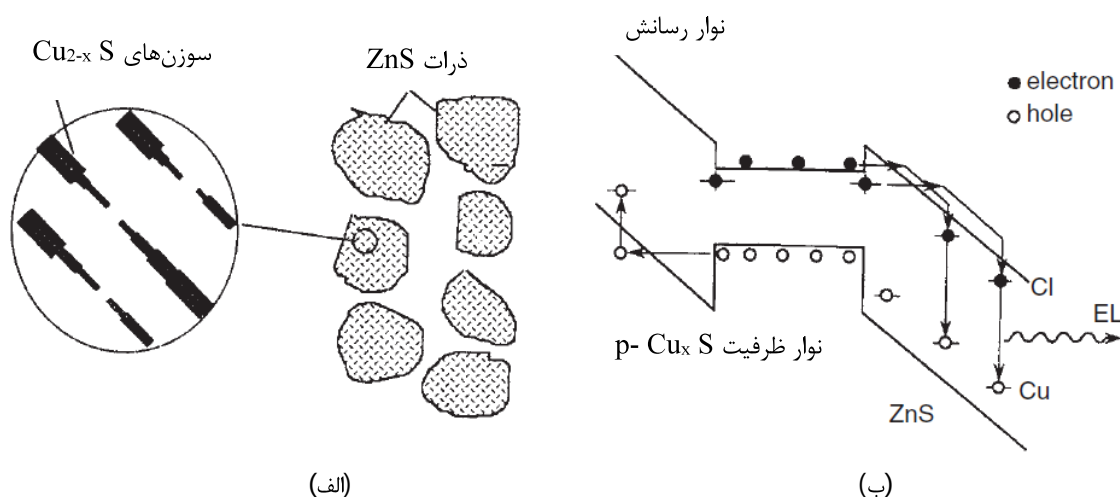


شکل ۳-۶ تصویری میکروسکوپی از ذرات ZnS:Cu,Cl. خطوط دوگانه در ولتاژ آستانه و بالاتر از ولتاژ آستانه نشان داده شده‌اند.



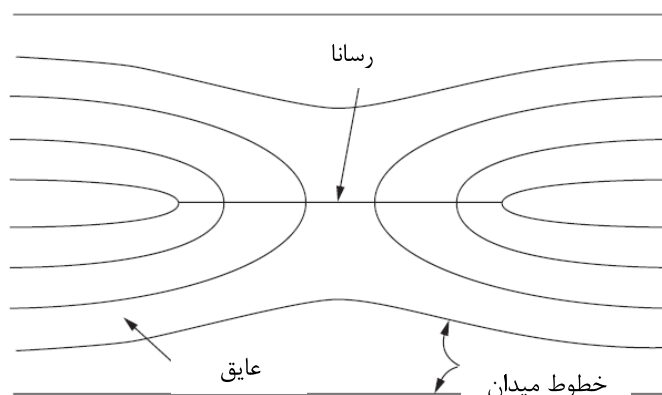
شکل ۳-۷ ذرات فسفر شامل بخش‌های تاریک و نقاط روشن.

فیشِر با مشاهده بیشتر ذرات فسفر ZnS زیر میکروسکوپ، دریافت که بارش‌ها و نقاط تاریک زیادی درون ذرات فسفر وجود دارند (شکل ۳-۷). بر طبق این مشاهدات، فیشِر مدل زیر را برای مکانیزم EL ارائه داد. پودرهای الکتrolومینسانس ZnS به واسطه احتراق در دماهای بالا، $1100-1200^{\circ}\text{C}$ ، که فاز ورتسایت هگزاگونال غالب می‌شود، مهیا می‌شوند. وقتی پودرها خنک می‌شوند، یک انتقال فاز به ساختار مکعبی زنیک-بلند اتفاق می‌افتد. مس ترجیحاً روی نواقص شکل گرفته در انتقال هگزاگونال به مکعبی به همراه کاهش انحلال پذیری آن‌ها در ZnS می‌نشیند. Cu سوزن‌های باریک محاط شده Cu_{2-x}S را در ماتریس کریستال تشکیل می‌دهد (شکل ۳-۸ الف) [۲۳]. Cu_{2-x}S به نیمرسانای نوع p با رسانایی بالا معروف است. میان این بارش‌های Cu_{2-x}S و پودر ZnS پیوند ناهمگونی ایجاد می‌شود (شکل ۳-۸ ب) [۲۴].



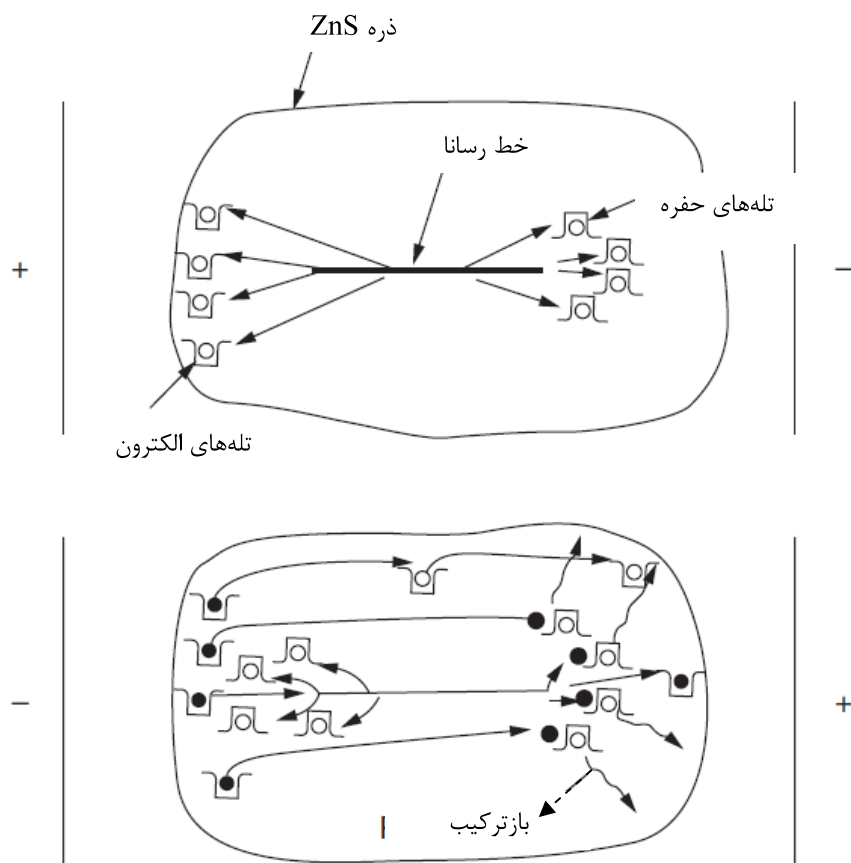
شکل ۳-۸ الف) نمایش سوزن‌های ته‌نشین شده Cu_{2-x}S محاط در شبکه ZnS (ب) مدل نواری تزریق همزمان الکترون‌ها و حفره‌ها از سرهای مخالف سوزن Cu_xS به داخل محیط شبکه ZnS:Cu, Al

وقتی میدان الکتریکی به ذرات فسفر اعمال می‌شود، روی نوک سوزن‌های رسانای Cu_{2-x}S (شعاع مؤثر نوک از مرتبه 100 nm) در مقایسه با دیگر نواحی میدان الکتریکی نسبتاً قوی‌تری متمرکز خواهد شد (شکل ۳-۹) [۲۵].



شکل ۳-۹ سوزن رسانا در محیط دی الکتریک. با اعمال میدان الکتریکی یکنواخت موازی با راستای سوزن، در نوک‌های سوزن از نظر هندسی تشدید میدان اتفاق می‌افتد.

بنابراین میدان اعمالی $10^6 - 10^7 \frac{V}{m}$ می‌تواند یک میدان جایگزیده در حد $10^8 \frac{V}{m}$ یا بیشتر تولید کند. این میدان الکتریکی آنقدر قوی هست که امکان تونل‌زنی حفره‌ها از یک انتهای سوزن و الکترون‌ها از سمت دیگر به شبکه $ZnS:Cu, Cl$ را فراهم کند. الکترون‌ها در تله‌های کم‌عمق در جایگاه‌های دهنده Cl تسخیر می‌شوند، در حالی که حفره‌ها توسط مراکز باز ترکیب Cu (جایگاه‌های پذیرنده) به دام می‌افتند. وقتی میدان معکوس می‌شود، الکترون‌های گسیل شده با حفره‌های به دام افتاده باز ترکیب می‌کنند تا EL تولید شود. شکل ۳-۱۰ [۲۵] تصویری از قاعده اصلی مدل گسیل میدان دوقطبی را نشان می‌دهد.



شکل ۳-۱۰ نمایش قاعده کلی مدل گسیل میدان. بالا؛ با اعمال میدان الکترون‌ها و حفره‌ها از لبه‌های مخالف رسانا می‌گریزند، اینجا میدان در شبکه کریستالی ZnS تشدید می‌شود. حفره‌ها پس از طی مسیر کوتاهی به تله می‌افتند. الکترون‌ها مسیر طولانی‌تری را می‌پیمایند. پایین؛ با معکوس شدن میدان الکترون‌های به دام افتاده به سمت عقب جاری شده و با حفره‌های به دام افتاده باز ترکیب می‌نمایند (گسیل نور) [۲].

به عنوان خلاصه‌ای بر مدل گسیل میدان دوقطبی، گسیل EL از یک قطعه EL پودر ZnS به دلیل باز ترکیب تابشی جفت الکترون-حفره از طریق جفت‌های دهنده-پذیرنده می‌باشد. جریان I گسیلی از میدان آنی به واسطه تماس $Cu_xS - ZnS$ از معادله فولر-نوردیم^۱ پیروی می‌کند:

$$I = A \frac{E^2}{W^{\frac{3}{2}}} \exp\left(-B \frac{W^{\frac{3}{2}}}{E}\right) \quad (۲-۳)$$

^۱ Fowler- Nordheim

که A و B ثابت هستند، E شدت میدان و W تابع کار است. در این حالت، W به اختلاف انرژی بین وابستگی الکترون ZnS و الکترون Cu_xS برمی‌گردد. گواهی تجربی برای اعتبار مدل فیشِر توسط وان^۱ [۲۸] با آزمودن دقیق ذرات فسفر الکتrolومینسانس $ZnS:Cu$ با استفاده از میکروسکوپ انتقال الکترونی (TEM)، تدارک دیده شده بود. این اعتقاد که لکه‌ها Cu_xS باشند، به وسیله اندازه‌گیری مشخصه طول موج اشعه X گسیلی از بارش - ها بیشتر مورد تصدیق قرار گرفت. Cu_xS به عنوان یک نیمرسانای نوع P با میزان رسانندگی فلزی بالایی شناخته شده است. بنابراین، مشاهدات پیشگویی‌های فیشِر را تصدیق می‌کنند.

همان‌طور که می‌دانیم، یکی از نیازهای ضروری برای EL تماسی این است که پودرهای رسانا باید لبه‌های نسبتاً تیزی داشته باشند. میدان الکتریکی نزدیک لبه‌های تیز پودرهای رسانا، که با فسفر در تماس هستند خیلی بزرگ‌تر از میدان الکتریکی میانگین میان کریستال‌های فسفر است. بنابراین پودرهای نقطه‌ای تیز همان نقش خطوط نقص Cu_xS رسانای محاط شده در پودرهای الکتrolومینسانس ZnS عادی را ایفا می‌کنند. وقتی یک میدان الکتریکی به مخلوط اعمال می‌شود، الکترون‌ها از لبه پودرهای رسانا در شبکه ZnS فرار کرده و با حفره‌هایی که توسط مراکز لومینسانس به تله افتاده‌اند باز ترکیب می‌کنند تا EL تولید شود.

فصل چهارم

مطالعه نرم افزاری رابطه ساینر نانوذرات وولتاژ عملکرد در قطعات ACPEL

- مقدمه
- روش اجزاء محدود
- FEM چگونه کار می کند؟
- رهیافت های قاعده سازی خواص اجزاء محدود
- کاربرد FEM
- Flex PDE
- شبیه سازی میدان الکتریکی در حضور ذرات کروی فلزی
- نتیجه گیری

۴-۱ مقدمه

معادلات دیفرانسیل جزئی

شاید مهم‌ترین دسته معادلات دیفرانسیل جزئی، ساده‌ترین آن‌ها باشد. در واقع در همه شاخه‌های علوم و مهندسی این معادلات ظاهر می‌شوند و پخش کمیت ϕ با پخشندگی k و منبع ظرفیت q را نشان می‌دهند.

$$\nabla \cdot (k \nabla \phi) + q = 0 \quad (۱-۴)$$

با $k=1$ ، این معادله به معادله پواسون تبدیل می‌شود:

$$\nabla^2 \phi + q = 0 \quad (۲-۴)$$

و با $k=1$ و $q=0$ ، معادله لاپلاس را نشان می‌دهد:

$$\nabla^2 \phi = 0 \quad (۳-۴)$$

اگر ϕ پتانسیل الکتریکی باشد، k گذردهی و q چگالی بار است؛ آنگاه (۱-۴) معادله میدان الکتریکی خواهد

بود.

اگر ϕ دما باشد، k رسانندگی گرمایی و q چشمه گرمایی است، پس (۱-۴) معادله گرما خواهد بود.

اگر دیورژانس ϕ را سرعت‌های سیال در نظر بگیریم:

$$u = \frac{\partial \varphi}{\partial x}, \quad v = \frac{\partial \varphi}{\partial y} \quad (۴-۴)$$

آنگاه (۴-۱) معادله شارش پتانسیل خواهد بود.

با اعمال قضیه دیورژانس، داریم:

$$\iiint_V \nabla \cdot (k \nabla \varphi) dV = \oiint_S \vec{n} \cdot (k \nabla \varphi) ds = \iiint_V q dV \quad (۵-۴)$$

که بار کل داخلی برابر شار خالص عبوری از مرز خارجی است.

به طور کلی برای حل فیزیکی مسائل سه روش موجود است:

۱- روش تحلیلی دقیق

۲- روش عددی

۳- روش تجربی

در روش حل دقیق همان گونه که از نام آن مشخص است، به محاسبه دقیق پارامتری معادلات دیفرانسیل حاکم بر میدان های فیزیکی همچون میدان حرارتی، میدان تنش، میدان الکتریکی و ... می پردازند. در حالی - که در روش دوم به حل تقریبی و عددی این مسأله پرداخته می شود. روش تجربی یا آزمایشگاهی نیز با توجه به این که برگرفته و مبتنی بر خود واقعیت است، روش مناسبی محسوب می شود. در این میان روش آنالیز عددی، جزء یکی از پرکاربردترین روش های مورد استفاده در حل مسائل مهندسی است.

از جمله مزیت های آنالیز عددی نسبت به روش های دیگر به شرح زیر است:

- ضعف عمده روش آزمایشگاهی پرهزینه و زمان گیر بودن آن می باشد، در حالی که در

روش آنالیز عددی این چنین نیست.

• روش حل دقیق از تحلیل مدل‌هایی با هندسه پیچیده، همچنین در اغلب مسائل غیرخطی خصوصاً در مواردی که درجه غیرخطی بودن معادلات بالا باشد، عاجز است و تنها روش‌های آنالیز عددی در این زمینه کارگشاست.

• در مسائلی که شرایط مرزی کمی پیچیده می‌شود نیز حل دقیق ناتوان است و تنها روش‌های مرسوم آنالیز عددی در حل این نوع مسائل به کار می‌رود.

چندین روش آنالیز عددی تقریبی طی سال‌ها استنتاج شده‌اند؛ یک روش معمول استفاده شده روش تفاضل محدود^۱ است [۲۶]. روش دیگر، روش اجزاء محدود^۲ است که با ورود به مسئله، یک روش تقریبی نقطه‌ای حاکم بر معادله را می‌دهد. این مدل (با نوشتن معادلات دیفرانسیل برای هر آرایه‌ای از نقاط توری شکل می‌گیرد) با افزایش نقاط قابل استفاده، توسعه یافته است.

۴-۲ روش اجزاء محدود

FEM یا روش اجزاء محدود، یک تکنیک آنالیز عددی برای تعیین جواب‌های تقریبی انواع مسائل مهندسی است. اگرچه ابتدا برای مطالعه فشار در ساختارهای پیچیده هوایی به کار می‌رفت، اما از آن وقت تا به حال، برای میدان پخش مکانیک‌های زنجیره‌ای توسعه یافته و به کار گرفته شده است و به خاطر انعطاف‌پذیری و امتیازش به عنوان یک ابزار آنالیز، در صنعت و نیز در ذهن دانشجویان مهندسی بسیار مورد توجه واقع شده است. FEM یا FEA، بر مبنای ساخت یک جسم پیچیده با استفاده از اجزاء ساده یا تجزیه یک جسم پیچیده به قطعات کوچک و قابل ادراک پایه‌گذاری شده است. کاربرد این هدف ساده را علاوه بر مهندسی، در هر جایی در زندگی روزمره نیز می‌توان یافت.

^۱ -Finite difference scheme

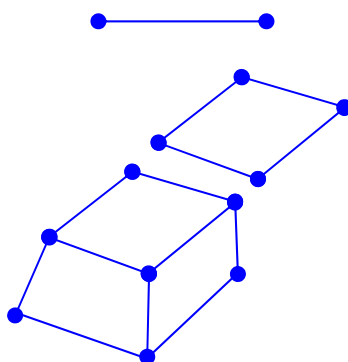
^۲ -Finite Element Method

۴-۲-۱ مبانی تحلیل اجزای محدود

از نقطه نظر ریاضی، روش اجزای محدود بر اساس فرمول‌بندی‌های انتگرالی بنا شده است. مدل‌های اجزای محدود مربوط به مسائل مختلف بر اساس شهود فیزیکی ساده و اصول ریاضی فرمول‌بندی شده‌اند. از نقطه نظر تاریخی، استفاده از شهود فیزیکی به بسیاری از مدل‌های عملی نخستین منجر می‌شد و امروزه بر مبنای پابرجای ریاضی این شیوه تأکید فراوان می‌شود.

فرمول‌بندی‌های نخستین مدل‌های اجزای محدود بر پایه تکنیک‌های تغییری قرار داشتند. تکنیک‌های تغییری هنوز هم در نشان دادن اجزا و حل مسائل عملی مهم هستند. این مورد به‌ویژه در مکانیک سازه‌ها و تحلیل تنش‌ها صادق است. تحلیل جدید در این موارد تقریباً به‌طور انحصاری بر تکنیک‌های اجزای محدود متکی است. معمولاً مدل‌های تغییری مستلزم پیدا کردن پارامترهای گره‌ای است که مقدار ثابت (حداقل یا حداکثر) رابطه انتگرالی خاصی را به عنوان تابع به دست می‌دهد. در بیشتر موارد، به انتگرالی که بینهایت می‌شود مفهومی فیزیکی می‌توان نسبت داد. به عنوان مثال، انتگرال در مکانیک جامدات ممکن است معرف انرژی پتانسیل باشد در حالی که در مسأله‌ای از مکانیک سیالات ممکن است به آهنگ تولید آنتروپی مربوط شود.

۴-۲-۲ انواع اجزاء محدود



- عنصر یک بعدی (خط)
- عنصر دو بعدی (صفحه)
- عنصر سه بعدی (حجم)

۴-۲-۳ FEM چگونه کار می کند؟

در یک سلسله مسئله از هر بعد، متغیر میدان (که می تواند فشار، دما، جابه جایی، کشش، یا دیگر کمیت ها باشد) مقادیر خیلی نامحدودی دارد؛ چون تابعی است از هر نقطه نوعی در جسم یا محدوده جواب. در نتیجه، یک مسئله با بی نهایت مجهول وجود دارد. فرآیندهای جداسازی اجزاء ریز با تقسیم محدوده جواب به اجزاء و با بیان متغیر میدان مجهول برحسب توابع تقریبی فرض شده به همراه هر جزء، مسئله را به یکی از تعداد مجهولات کاهش می دهد. توابع تقریبی (گاهی توابع الحاقی نامیده می شوند) برحسب مقادیر متغیرهای میدان در نقاط تعیین شده که گره ها یا نقاط گره ای نامیده می شوند، تعریف می شوند. معمولاً گره ها روی مرزهای اجزاء قرار می گیرند؛ جایی که عناصر همسایه به یکدیگر متصل هستند. یک جزء می تواند علاوه بر گره های مرزی، تعداد کمی گره داخلی هم داشته باشد. مقادیر گره ای متغیر میدان و توابع الحاقی برای اجزاء، رفتار متغیر میدان همراه با اجزاء را به طور کامل تعریف می کنند. چنانچه بخواهیم یک مسئله را به صورت FEM نمایش دهیم، مقادیر گره ای متغیر میدان نقش مجهولات مسئله را ایفا می کنند. یک بار دیگر این مجهولات پیدا می شوند؛ توابع الحاقی، متغیر میدان را از میان اجتماع اجزاء تعریف می کنند.

واضح است که ماهیت جواب و درجه تقریب تنها به سائز و تعداد عناصر استفاده شده بستگی ندارد، بلکه به توابع الحاقی مشخص شده نیز بستگی دارد. همان طور که انتظار می رود، نمی توانیم توابع دلخواهی را انتخاب کنیم، چون شرایط سازش پذیری معینی باید ارضاء شوند. اغلب توابع طوری انتخاب می شوند که متغیر میدان یا مشتقاتش در نزدیکی مرزهای اجزاء پیوسته باشند.

تا این جا به طور خلاصه درباره مفهوم مدل سازی یک محدوده جواب دلخواه که با اجتماع اجزاء گسسته به صورت شکل درآمده بحث کردیم و خاطرنشان کردیم که برای هر جزء باید توابع الحاقی تعریف شوند. اما هنوز به یک خصیصه مهم FEM که آن را از دیگر روش های عددی متمایز می کند، اشاره ای نکرده ایم. این خصیصه توانایی قاعده سازی جواب ها برای اجزاء منفرد قبل از کنار هم چیدن آن ها برای نمایش مسئله کامل است. یعنی برای مثال، در برخورد با یک مسئله در آنالیز فشار مشخصه های سختی یا نیرو- جابه جایی هر جزء منفرد را پیدا

می‌کنیم و سپس اجزاء را سوار می‌کنیم تا سختی تمام ساختار را به‌دست آوریم؛ در اصل، یک مسئله پیچیده به یک سری مسئله خیلی ساده شکسته می‌شود.

۴-۲-۴ رهیافت‌های قاعده‌سازی خواص اجزاء محدود

فایده دیگر FEM، راه‌های متفاوتی است که شخص می‌تواند توسط آن‌ها خواص اجزاء منفرد را قاعده‌سازی کند. اساساً سه رهیافت متفاوت وجود دارد که در ادامه به تشریح آنها می‌پردازیم.

۴-۲-۴-۱ رهیافت مستقیم

اولین رهیافت به‌دست آوردن خواص عنصر رهیافت مستقیم نامیده می‌شود، چون منشاء آن به روش مستقیم آنالیز ساختار می‌رسد. رهیافت مستقیم فقط می‌تواند برای مسائل نسبتاً ساده قابل استفاده باشد و زمانی که برای اولین بار با FEM روبه‌رو می‌شویم بسیار قابل فهم است. رهیافت مستقیم، نیاز به جبر ماتریسی را در سر و کار داشتن با معادلات FEM پیشنهاد می‌کند.

۴-۲-۴-۲ رهیافت وردشی

خواص اجزاء تعیین شده با رهیافت مستقیم می‌تواند به‌وسیله رهیافت وردشی نیز تعیین شود. رهیافت وردشی بر محاسبات وردشی تکیه داشته و اکسترمم‌سازی تابعی را دربر دارد. برای مسائل مکانیک جامدات عبارت تابعی وارونه انرژی پتانسیل، انرژی مکمل، یا انرژی دیگری از این قبیل، با عنوان اصل وردشی رایسنر، می‌باشد. آگاهی از رهیافت وردشی نیازمند کارکردنی فراتر از سطح مقدماتی و تعمیم FEM به مسائل مهندسی متنوع‌تری می‌باشد. با در نظر گرفتن این‌که رهیافت مستقیم می‌تواند برای قاعده‌سازی خواص عنصر فقط در ساده‌ترین شکل‌های عنصری استفاده شود، رهیافت وردشی می‌تواند هم برای شکل‌های عنصری ساده و هم برای شکل‌های عنصری مشکل و پیچیده به کار گرفته شود.

۴-۲-۳-۴ رهیافت مانده‌های وزن دار

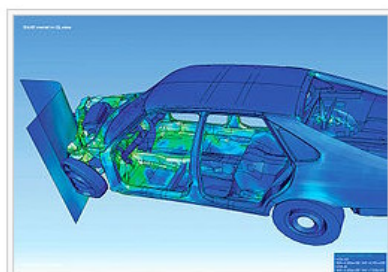
سومین و متنوع‌ترین رهیافت استنتاج خواص عنصری که به رهیافت مانده‌های وزن دار معروف می‌باشد، بر مبنای ریاضیات پایه‌گذاری شده است. این رهیافت با حاکمیت معادلات دیفرانسیل شروع می‌شود و بدون تکیه بر توضیح وردشی پیش می‌رود. به طور کلی جوابی تقریبی را در نظر می‌گیریم و این جواب را در معادله دیفرانسیل می‌نشانیم. از آنجا که این فرضی تقریبی است، این عمل به تعریف عبارت خطای مانده‌ای، R ، در معادله دیفرانسیل منجر می‌شود. هرچند عبارت مانده را نمی‌توان اجباراً به صفر رساند، انتگرال وزن دار مانده را می‌توان به سمت صفر میل داد؛ یعنی انتگرال حاصل ضرب عبارت مانده و تابع وزن دار را در حوزه جواب مساوی صفر قرار می‌دهند. در این صورت،

$$I = \int RWdv = 0 \quad (۴-۶)$$

این کار، راه مستقیمی را برای بیان جوابی تقریبی به صورت انتگرال برای استفاده در راه‌حل‌های اجزای محدود به دست می‌دهد. این رهیافت سودمند است چون به وسیله آن امکان تعمیم FEM به مسائلی که عبارت تابعی قابل دسترسی ندارند، فراهم می‌شود. از روش مانده‌های وزن دار به طور گسترده‌ای استفاده می‌شود تا خواص عنصری را برای کاربردهای نانوساختاری مثل مکانیک شاره و انتقال گرما استخراج کنند.

۴-۲-۵ کاربرد FEM

انواع تخصص‌های زیر نظر نظام مهندسی مکانیک (مثل صنایع هوانوردی، اتومبیل‌سازی) اغلب از انتگرال - گیری FEM در طراحی و توسعه محصولاتشان استفاده می‌کنند. چندین بسته جدید FEM مولفه‌های خاصی مثل محیط‌های کار ساختاری، شاره، الکترومغناطیس و گرما را در بر دارند. در یک شبیه‌سازی ساختاری FEM به طور شگرفی به ایجاد تجسم فکری قوی و سخت و همچنین به کاهش وزن، مواد و هزینه‌ها کمک می‌کند (شکل ۴-۱).



شکل ۴-۱۰ تصویری از چگونگی تغییر شکل یک ماشین در یک شکستگی نامتقارن با استفاده از FEA.

FEM، تصور جزئی از ساختارهای خمیده یا پیچ خورده را ممکن می‌سازد و توزیع فشار و جابه‌جایی را نشان می‌دهد. نرم افزار FEM آزادی وسیعی را برای شبیه‌سازی، هم برای کنترل پیچیدگی مدل‌سازی و هم آنالیز سیستم فراهم می‌کند. همچنین سطح دقت خواسته شده و زمان محاسبه مورد نیاز می‌توانند به طور همزمان کنترل شوند تا اغلب کاربردهای مهندسی را دربر گیرد. FEM به طراحی‌های داخلی اجازه می‌دهد قبل از طراحی در تولید ایجاد، تصحیح و بهینه‌سازی شوند. این ابزار قدرتمند طراحی هم استاندارد طراحی‌های مهندسی و هم اصول فرآیند طراحی را در بسیاری از کاربردهای صنعتی توسعه داده است [۲۷]. ابداع FEM به طور اساسی زمان تحویل محصول را از تصور تا خط تولید کاهش داده است [۲۷]. با استفاده از FEM کاملاً اصولی به نظر می‌رسد که آزمایش و پیشرفت شتاب گرفته باشد [۲۸]. به طور خلاصه با توجه به طراحی‌های ابتدایی اصلاح شده فواید FEM شامل افزایش دقت، طراحی بالا، بصیرت بهتر در پارامترهای بحرانی طراحی، ماده اولیه مجازی، ماده اولیه سخت‌افزاری کم‌تر، چرخه طراحی ارزان‌تر و سریع‌تر، افزایش رسانایی و بازده می‌باشد [۲۷].

۴-۲-۶ محدوده کار

کاربردهای FEM بسته به طبیعت مسئله‌ای که باید حل شود به سه بخش تقسیم می‌شوند؛ اولین بخش مسائل معروف به مسائل تعادلی یا مسائل مستقل از زمان هستند که اغلب کاربردهای FEM به این دسته برمی‌گردد.

برای حل مسائل تعادلی در سطح مکانیک جامدات به یافتن توزیع جابه‌جایی و توابع فشار برای یک بارگیری گرمایی یا مکانیکی داده شده نیازمندیم. به طور مشابه برای حل مسائل تعادلی در مکانیک سیالات به یافتن توزیع فشار، سرعت، دما و چگالی تحت شرایط حالت پایدار نیاز داریم.

دسته دوم، مسائل ویژه‌مقداری مکانیک جامدات و سیالات نامیده می‌شوند. مسائل حالت پایداری وجود دارند که حل آن‌ها اغلب به تعیین فرکانس طبیعی و مدهای نوسان جامدات و سیالات نیازمند است. مثال‌هایی از مسائل ویژه‌مقداری شامل مکانیک جامدات و سیالات در مهندسی غیرنظامی ظاهر می‌شود؛ زمانی که عکس-العمل سد و دریاچه در نظر گرفته می‌شود و در مهندسی هوافضا وقتی چسبناکی سوخت مایع در تانک‌های انعطاف‌پذیر مورد بحث واقع می‌شود.

سومین دسته، بسیاری از مسائل انتشار یا وابسته به زمان مکانیک‌های پیوسته می‌باشد. این دسته متشکل از مسائلی است که زمانی نتیجه می‌شوند که بعد زمان به مسائل دو دسته اول اضافه می‌شود.

تنها محدودیت هر شاخه از مهندسی استفاده کننده از FEM، یک پتانسیل است. اما حقیقت محض این است که این روش می‌تواند برای حل یک مسئله خاص استفاده شود نه به این معنی که تکنیک حل خیلی ویژه باشد. اغلب چندین تکنیک جذاب برای حل یک مسئله وجود دارد. هر تکنیک شایستگی خاص خود را دارد و هیچ تکنیکی از امتیاز بزرگ «بهترین» بودن برای همه مسائل برخوردار نیست. محدوده کاربردهای ممکن FEM به همه نظام‌های مهندسی می‌رسد، اما مهندسی‌های هوافضا، مکانیک، و غیرنظامی، استفاده‌کنندگان مکرر این روش هستند. به‌علاوه سطوح دیگر آنالیز ساختاری کاربردها شامل انتقال گرما، مکانیک سیالات، الکترومغناطیس، بیومکانیک، ژئومکانیک و آکوستیک می‌شود. این روش با مسائل دارای نظم چندگانه که در آن‌ها یک جفت‌شدگی بین دو نظام یا بیشتر وجود دارد، توافق دارد. ساختارهای گرمایی که در آن‌ها یک

جفت‌شدگی بین انتقال گرما و تغییر مکان‌ها وجود دارد، مثال‌هایی از این قبیل می‌باشند، شبیه ایروالاستی-سیتی^۱ که در آن یک جفت شدگی قوی بین شار خروجی و انحراف پره وجود دارد.

۴ - ۳ FlexPDE

FlexPDE، نرم‌افزاری است که برای یافتن جواب‌های عددی سیستم‌های معادلات دیفرانسیل جزئی خطی یا غیرخطی، از روش‌های FEA استفاده می‌کند. این سیستم‌ها می‌توانند مسائل مقدار مرزی پایا، مسائل مقدار مرزی اولیه وابسته به زمان، یا مسائل ویژه‌مقداری را نمایش دهند. FlexPDE بیش از آن که بخواهد جواب معادلات خاص مربوط به سطح کاربردی داده شده را آدرس‌دهی کند، گرافیکی برای سیستم‌های معادله دیفرانسیل جزئی مربوطه ایجاد می‌کند و به کاربران یک روش مستقیم تولید معادلات، حوزه‌ها و شرایط مرزی مناسب کاربریشان ارائه می‌دهد. از این توصیف، یک فرآیند Finite Element مناسب با مسئله ایجاد می‌شود. با این حدود کاملاً پهن‌آور، FlexPDE قادر به تولید یک حل عددی با محدوده وسیعی از کاربردهاست، بدون این که خودش هیچ‌گونه اطلاعات پیش ساخته‌ای از هر کدام از آن‌ها داشته باشد. یک هدف FlexPDE این است که به کاربران در میادین مختلف علم و مهندسی اجازه می‌دهد که فواید کاربرد آنالیز اجزاء محدود (FEA) را در کار منحصر به فردشان جمع‌آوری کنند، بدون این که برنامه‌نویس و تحلیل‌گر عددی شوند. یکی از جذاب‌ترین کاربردهای این برنامه در سطح آموزش دانشگاه‌هاست. محدوده وسیعی از مسائل شامل میدان‌های کلاسیکی، می‌توانند به راحتی و به صورت جزئی و با شرایط مرزی واقعی مطالعه شوند. معادلات غیرخطی و شرایط مرزی و نیز خواص مواد وابسته به مکان، محدودیت‌های خیلی جدی به شمار نمی‌روند. تعداد حالات برای مطالعه واقعا نامحدود است و با حل مسائل تحت شرایط مختلف می‌توان احساس شناخت حضوری از چگونگی رفتار میدان‌ها را به دست آورد. قواعد ترکیبی FlexPDE راحت و سراسر هستند و می‌توانند در طی حل مسائل مقدماتی آموزش داده شوند. از آنجایی که معادلات دیفرانسیل جزئی در واقع در همه سطوح فیزیک و مهندسی ظاهر می‌شوند، سرمایه‌گذاری در اطلاعات فراهم آمده توسط FlexPDE سودآور می‌باشد. FlexPDE به ما این اجازه را

¹ -aeroelasticity

می‌دهد که با FEM صرفاً به عنوان یک ابزار ریاضی برخورد کنیم، یعنی کاربر در مورد الگوریتم‌های عددی که این بسته برنامه قدرتمند را تشکیل داده‌اند، اطلاعی ندارد. این نرم‌افزار نیز، مشابه دیگر نرم‌افزارها، در بازار قیمت بالایی دارد اما صرفه اقتصادی استفاده از FlexPDE، نفیس بودن آن نسبت به کار با دیگر برنامه‌ها را در آینده اثبات خواهد کرد.

۴-۴ بررسی تغییرات میدان الکتریکی یکنواخت در حضور ذرات کروی رسانا

در فصل پنجم به تشریح مراحل طراحی و ساخت قطعات ACPEL با و بدون استفاده از نانوساختارهای فلزی پرداخته‌ایم. اما به دلیل کمبود امکانات مالی لازم موفق به تهیه سائزها و جنس‌های متفاوتی از نانوساختارها نشدیم. بنابراین استفاده از شیوه عددی را برای بررسی نقش سائز نانوذرات فلزی در شدت لومینسانس و نیز ولتاژ راه‌انداز این قطعات در پیش گرفته و با استفاده از نرم افزار Flex PDE اهداف خود را تحقق بخشیده‌ایم. در کار انجام شده تعداد، سائز، مکان و نیز فاصله میان ذرات فلزی را درون قطعه تغییر داده و تأثیر این تغییرات بر شدت لومینسانس و ولتاژ عملکرد قطعه را به صورت اشکال و نمودار به تصویر کشیده‌ایم. در نهایت به تشریح نمودارها و اشکالی که توسط این نرم‌افزار ترسیم شده می‌پردازیم. در تمامی موارد بررسی شده، قطعه الکترو لومینسانس به عنوان یک خازن تخت در نظر گرفته شده که می‌تواند میدان الکتریکی یکنواختی را درون خود ایجاد کند. بدیهی است که حضور کره‌های فلزی باعث اغتشاش میدان الکتریکی شده و شدت میدان در این نواحی را نسبت به فواصل دور از کره‌ها دستخوش تغییر خواهد نمود. جنبه الکتروستاتیکی مسئله را به صورت زیر بررسی می‌کنیم:

روابط میدان الکتریکی استاتیک و پتانسیل الکتریکی در محیطی با ثابت دی‌الکتریک k به صورت زیر می‌باشد:

$$\vec{E} = k\vec{\nabla}V, \quad \vec{\nabla} \cdot \vec{E} = 0 \quad (۷-۴)$$

که معادله دوم بر قانون پایستگی بار الکتریکی اشاره می‌کند، یعنی در حجم مشخصی از فضا نه باری تولید می‌شود و نه از بین می‌رود. با ترکیب دو معادله فوق به معادله لاپلاس دست خواهیم یافت:

$$\vec{\nabla} \cdot \vec{E} = \vec{\nabla} \cdot (-k \vec{\nabla} V) = 0 \quad (۸-۴)$$

که با فرض ثابت بودن k داریم:

$$\vec{\nabla} \cdot \vec{E} = -k \vec{\nabla} \cdot \vec{\nabla} V = -k \nabla^2 V = 0$$

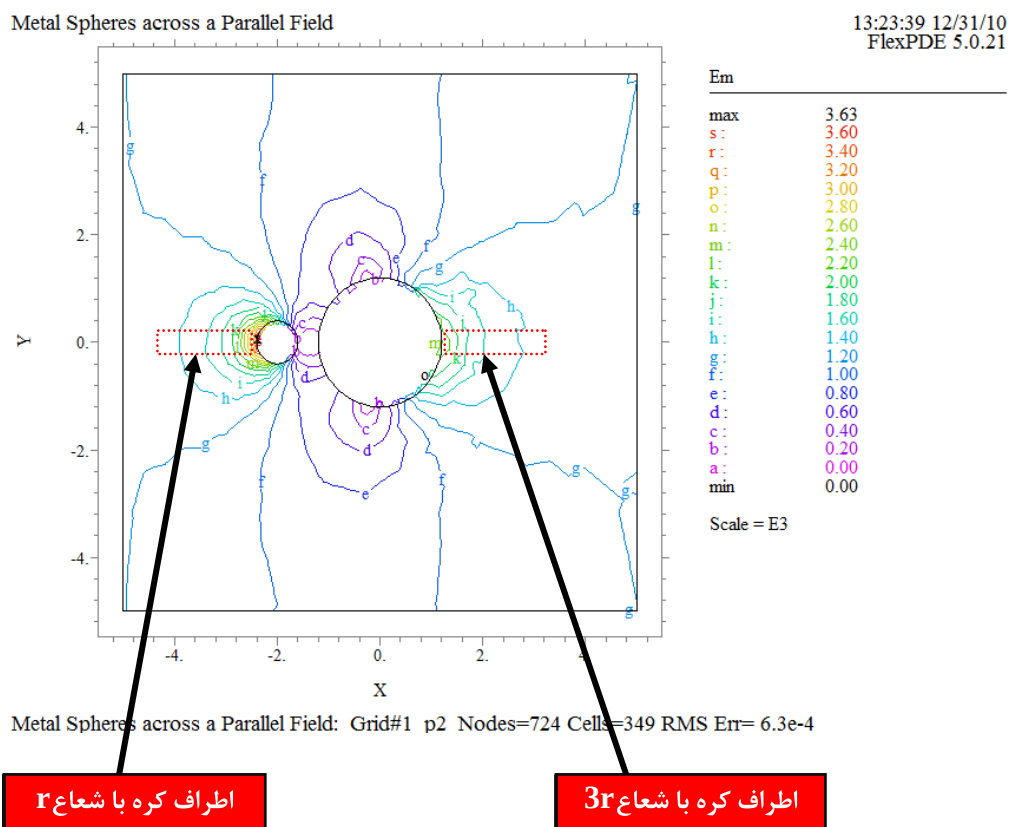
اکنون مسئله مورد نظر خود را به صورت کره‌ای فلزی در یک میدان الکتریکی یکنواخت خارجی متصور می‌شویم. در محیط برنامه دستور رسم کره و محدوده‌ای که میدان یکنواخت در آن وجود دارد را وارد کرده، شرایط مرزی را اعمال می‌نمائیم. خروجی برنامه به صورت نمودار و تصاویر مورد نیاز می‌باشد. فرض کنیم پتانسیل روی مرز خارجی ثابت نباشد. یک میدان الکتریکی یکنواخت E را در جهت x در نظر گرفته و کره فلزی را در آن قرار می‌دهیم. در فواصل دور از کره، می‌توانیم هم‌چنان میدان را یکنواخت در نظر بگیریم. مرزهای افقی، مشتق خارجی صفر دارند، $\frac{\partial V}{\partial n} = 0$ ، یعنی بردار نرمال عمود بر سطح کره که در راستای x قرار گرفته، خطوط میدان را قطع نمی‌کند. اما مرزهای عمودی مؤلفه x (برابر E_{0x}) میدان را قطع می‌کنند. اگر بردار نرمال عمود بر سطح کره در جهت مثبت x باشد، مشتق پتانسیل در این راستا $\frac{\partial V}{\partial n}$ به صورت $\frac{\partial V}{\partial n} = -E_x = -E_{0x}$ و اگر بردار نرمال عمود بر سطح کره در راستای منفی x باشد، $\frac{\partial V}{\partial n}$ به صورت $\frac{\partial V}{\partial n} = E_x = E_{0x}$ خواهد بود. مرز داخلی، سطح فلزی است که پتانسیل ثابت (میدان صفر) دارد که ما به دلخواه $V=0$ را انتخاب می‌کنیم. پس مسئله مورد نظر هم شرط مرزی نویمن و هم شرط مرزی دیریکله را دارد. مواد استفاده شده در این مسئله، پودر ZnS و نانوپودر Cu با ثوابت دی الکتریک به ترتیب $۸/۳$ و ۳۵ می‌باشند [۲۹]. چنانچه قطعه ACPEL یک خازن تخت و نانوذره کروی مس روی یکی از الکترودهای قطعه در نظر گرفته شود، در سطح مقطعی عمود بر

الکترودهای این قطعه می‌توان میزان و تغییرات شدت میدان الکتریکی را برحسب فاصله از وجوه خازن بررسی نمود.

این مسئله در حالات متفاوتی بررسی شده است. در تمامی تصاویر از طیف رنگی استفاده شده است که به هر رنگ متناسب با کاربرد آن در تصویر مقداری نسبت داده شده است. بنابراین با توجه به حضور رنگی خاص در نقطه‌ای مشخص می‌توان به مقدار پارامتر خواسته شده دست یافت.

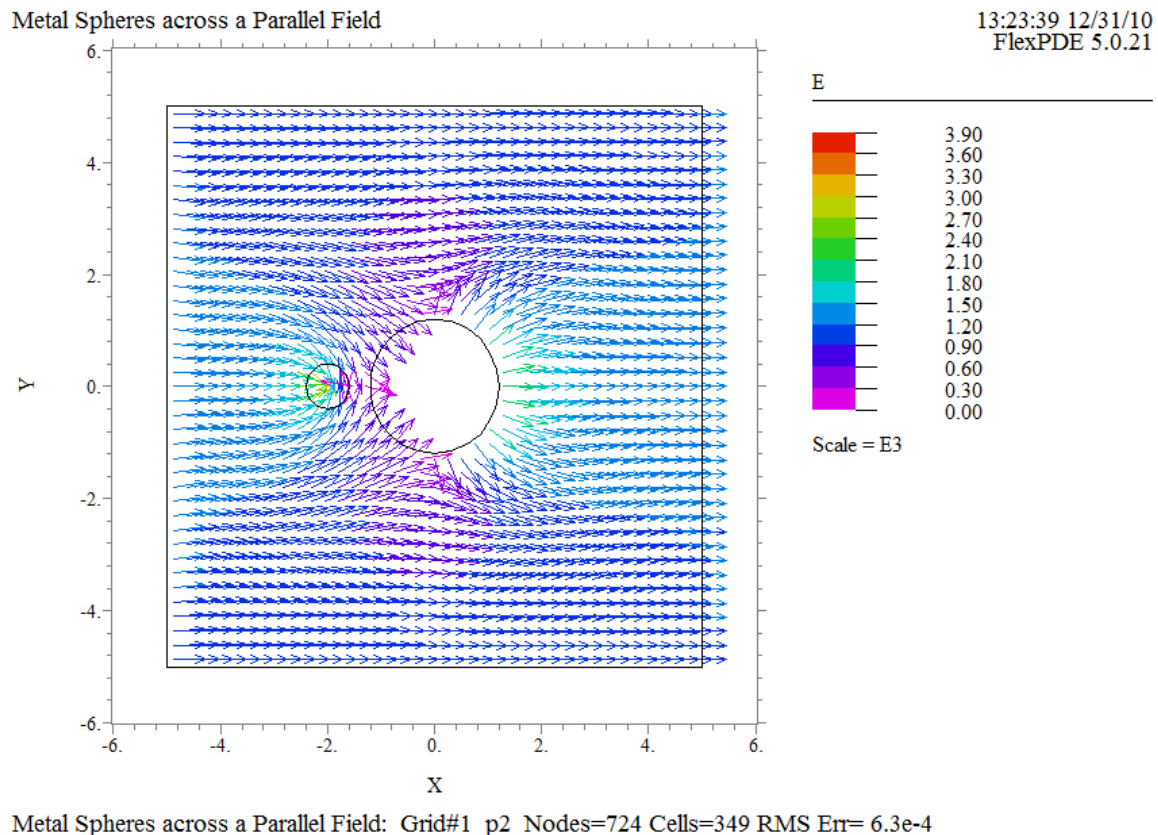
۴-۴-۱ مسئله دو کره مسی با شعاع‌های r و $3r$ در میدان الکتریکی یکنواخت خارجی

در اولین حالت، دو کره مسی با شعاع‌های r و $3r$ در نظر گرفته شده و خمیدگی صفحات پتانسیل، تراکم خطوط، و نیز شدت میدان در فواصل مختلفی از کره‌ها به تصویر کشیده شده‌اند. شکل ۴-۲ تغییرات خطوط میدان الکتریکی در اطراف دو کره فوق را که در یک میدان الکتریکی یکنواخت خارجی قرار گرفته - اند، نشان می‌دهد.



شکل ۴-۲ خطوط میدان الکتریکی در اطراف دو کره فلزی با شعاع‌های r و $3r$ در میدان الکتریکی یکنواخت خارجی.

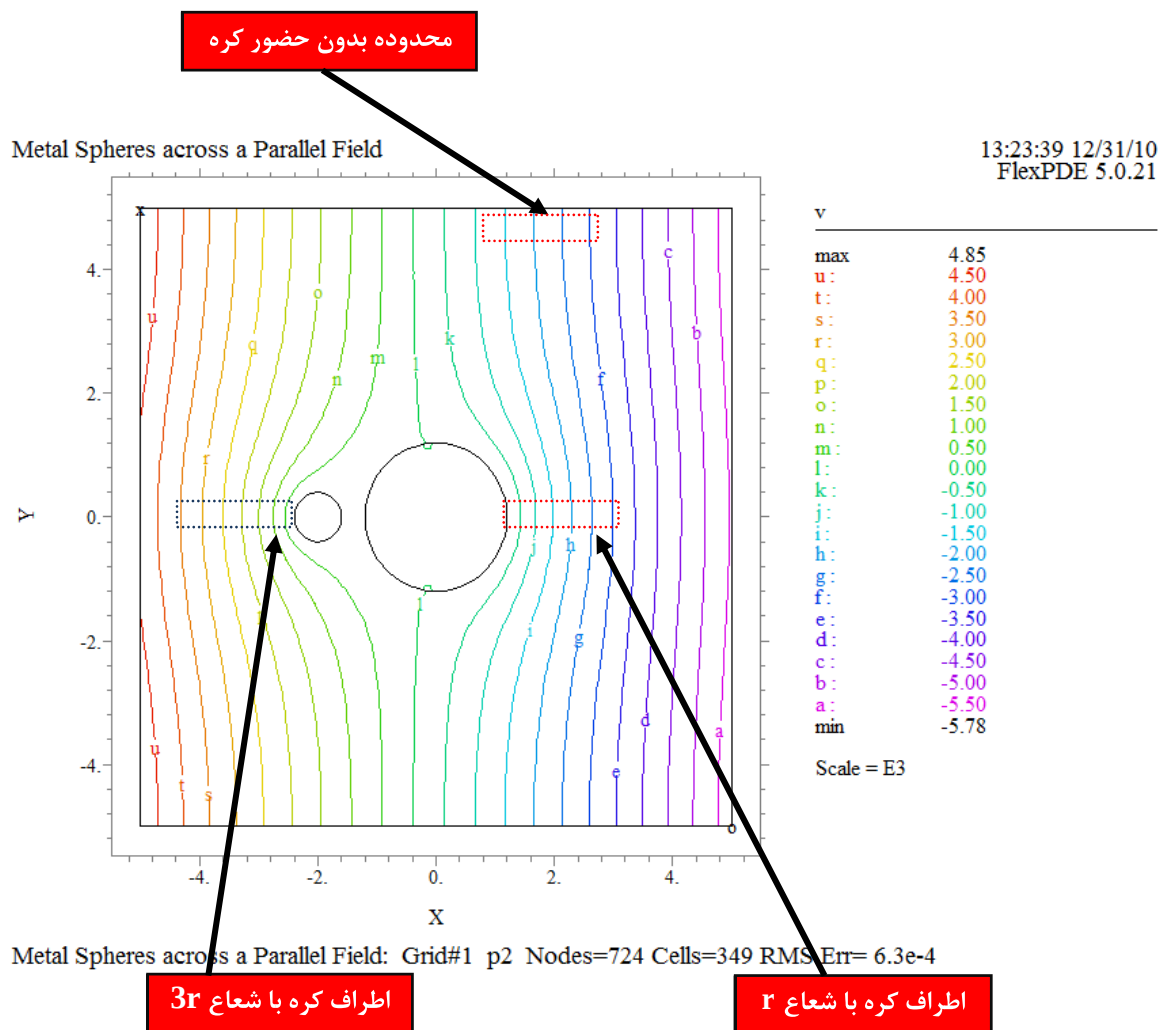
شکل ۳-۴، اغتشاش میدان الکتریکی یکنواخت به دلیل حضور کرات رسانای نامبرده را نشان می‌دهد. همان‌گونه که در این شکل ملاحظه می‌گردد، اغتشاش در نزدیکی کرات شدیدتر بوده و در فواصل دور از آن‌ها میدان الکتریکی خارجی وضعیت یکنواخت خود را حفظ می‌کند.



شکل ۳-۴ تصویر بردار میدان الکتریکی یکنواخت که در حضور کره‌های فلزی دستخوش اغتشاش شده است.

طیف رنگی استفاده شده در ترسیم خطوط میدان و نیز میزان تراکم خطوط، مبین افزایش شدت میدان در اطراف کره با شعاع کوچک‌تر و نتیجه‌ای معکوس برای کره با شعاع بزرگ‌تر می‌باشد.

در شکل ۴-۴ سطوح هم‌پتانسیل در اطراف و نقاط دور از کرات فلزی به تصویر کشیده شده است.



شکل ۴-۴ میزان خمیدگی صفحات پتانسیل در ناحیه بدون حضور کره‌های فلزی و نواحی اطراف کره‌های فلزی با شعاع‌های r و $3r$.

با توجه به تصاویر ۴-۲ و ۴-۴، با کاهش شعاع کره فلزی در میدان الکتریکی یکنواخت، شعاع انحنای

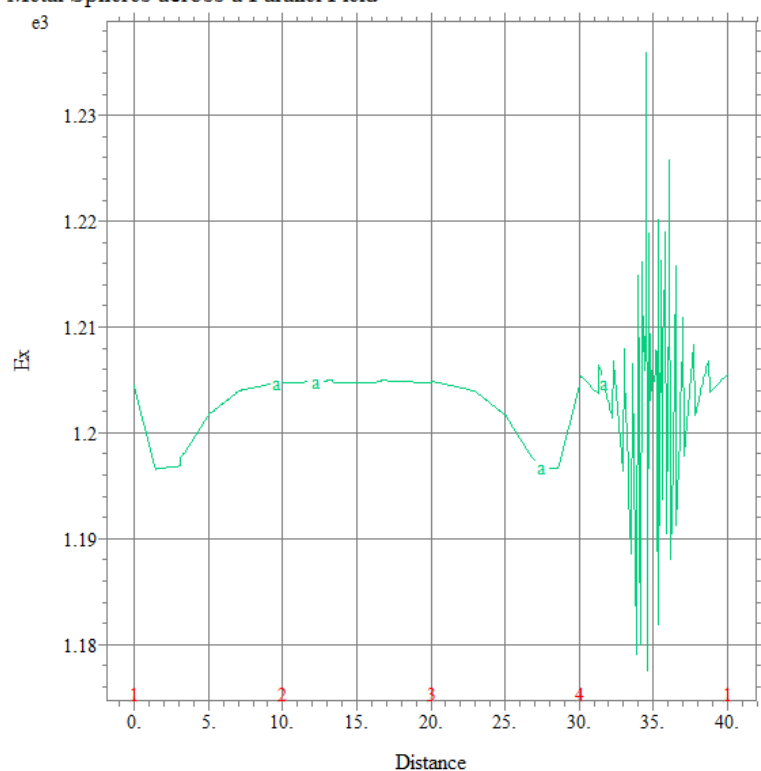
صفحات پتانسیل بیشتر و خطوط میدان متراکم‌تر شده‌اند.

۴-۴-۲ مسئله یک کره مسی با شعاع متغیر (r ، $r/10$ ، و $r/100$) واقع در میدان الکتریکی یکنواخت قطعه ACPEL.

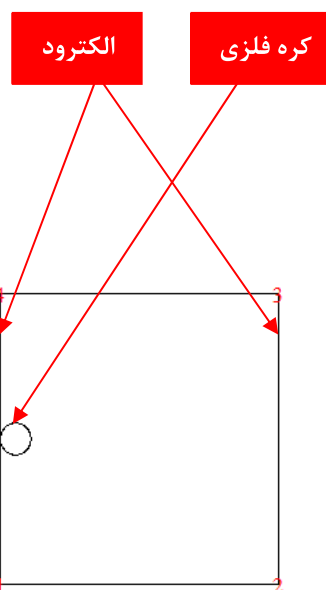
در این بخش به مقایسه شدت میدان الکتریکی در حضور کره‌های مسی با شعاع‌های متفاوت می‌پردازیم. نتایج این بررسی در اشکال ۴-۵، ۴-۶، و ۴-۷ نمودار گشته است. این اشکال شدت میدان الکتریکی روی وجوه ناحیه مکعبی اطراف کره فلزی را به تصویر کشیده‌اند. وجوه ناحیه مکعبی با اعداد ۱ تا ۴ مشخص شده‌اند، که وجوه ۴-۱ و ۲-۳ الکترودهای قطعه ACPEL می‌باشند، در حالی که وجوه ۲-۱ و ۴-۳ عمود بر الکترودهای قطعه فوق می‌باشند. بنابراین نحوه تغییرات میدان الکتریکی در وجوه ۴-۱ و ۲-۳ حائز اهمیت می‌باشد. ولی با توجه به حضور ذرات مسی در وجه ۴-۱ و همچنین سایز کوچک ذرات (ذرات دارای سایز میکرونی و نانومتری می‌باشند) در مقایسه با فاصله وجوه (ضخامت دی‌الکتریک و ناحیه فعال که از مرتبه میلی‌متر می‌باشد) فاصله وجوه ۴-۱ و ۲-۳ در مقایسه با سایز نانوذرات مسی در حدود بینهایت می‌باشد. بنابراین بدیهی است همان‌گونه که قبلاً عنوان شد میدان الکتریکی در فواصل دور (روی وجه ۲-۳) یکنواختی خود را حفظ می‌کند؛ لذا بررسی تغییرات میدان در روی یا نزدیکی وجه ۴-۱ حائز اهمیت بوده و مورد بحث قرار می‌گیرد. بدیهی است با توجه به وضعیت وجوه ۴-۳ و ۲-۱ بحث در خصوص این وجوه ضرورتی ندارد.

شکل ۵-۴ نحوه تغییرات میدان الکتریکی در روی وجه ۱-۴ را در حالتی نشان می‌دهد که یک کره رسانای بزرگ (با شعاع r در حد یک میکرون) روی الکتروود سمت چپ قرار گرفته است. همان‌گونه که نتایج شبیه‌سازی میدان در شکل ۵-۴ نشان می‌دهد تغییرات میدان در وجه ۱-۴ بسیار شدید بوده و مقدار میانگین شدت میدان در این وجه $(\bar{E})_{\mu m} \cong 29$ می‌باشد.

Metal Spheres across a Parallel Field

17:58:41 12/31/10
FlexPDE 5.0.21Ex
ON outer

a: Ex

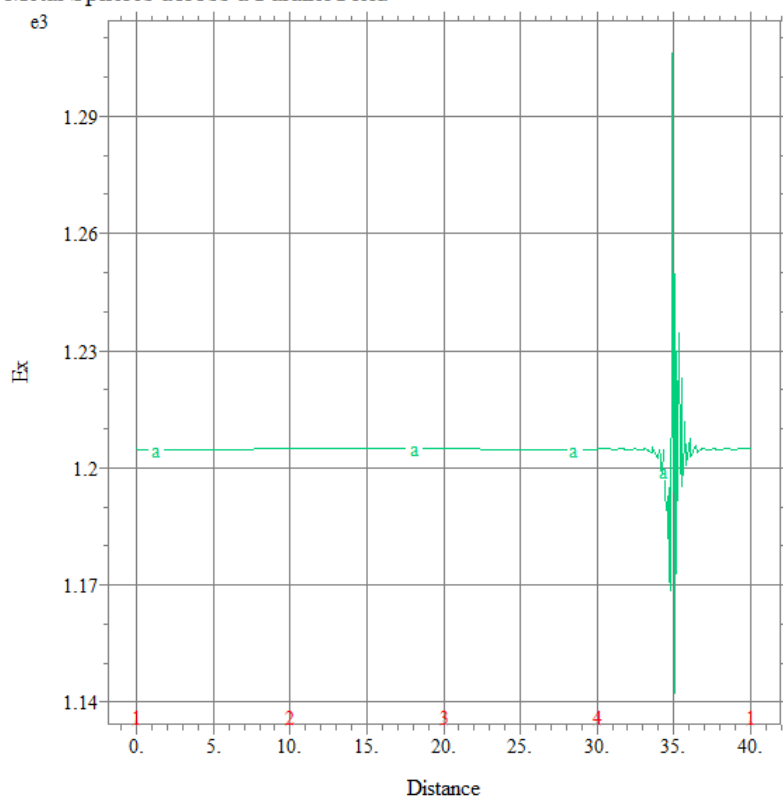


Metal Spheres across a Parallel Field4.2: Grid#1 p2 Nodes=1106 Cells=525 RMS Err= 1.1e-4

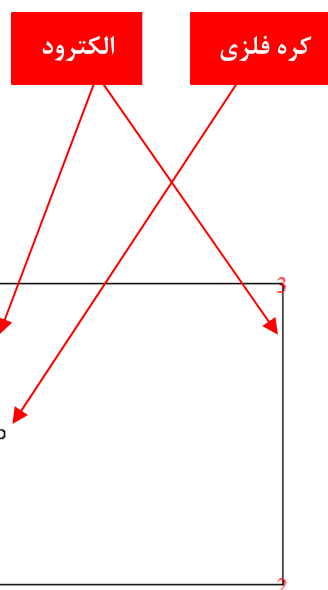
شکل ۴ ۵ نمودار شدت میدان الکتریکی برحسب فاصله از وجوه ناحیه مکعبی برای یک کره مسی به شعاع r واقع بر الکتروود سمت چپ قطعه ACPEL.

شکل ۴-۶ وضعیت مشابه شکل ۴-۵ را برای کره‌ای به شعاع $r/10$ (حدود ۱۰۰ نانومتر) به تصویر کشیده است. در این وضعیت داریم: $(\bar{E})_{100nm} \cong 83.5$.

Metal Spheres across a Parallel Field

15:35:41 1/1/11
FlexPDE 5.0.21Ex
ON outer

a: Ex

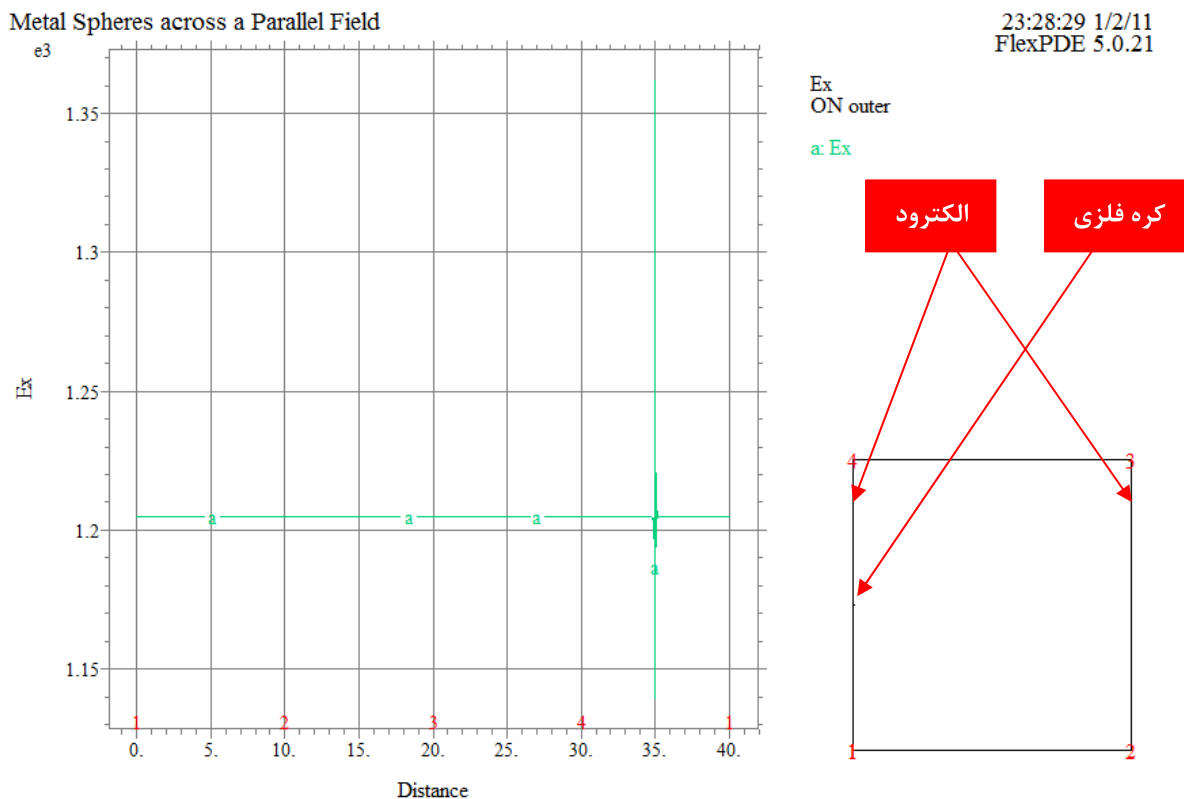


Metal Spheres across a Parallel Field4.5: Grid#1 p2 Nodes=702 Cells=333 RMS Err= 8.5e-6

شکل ۴-۶ نمودار شدت میدان الکتریکی برحسب فاصله از وجوه ناحیه مکعبی برای یک کره مسی به شعاع $r/10$ واقع بر الکتروود سمت چپ قطعه

ACPEL

شکل ۴-۷ وضعیت مشابه شکل ۴-۵ را برای کره ای به شعاع $r/100$ (حدود ۱۰ نانومتر) به تصویر کشیده است. در این وضعیت داریم: $(\bar{E})_{10nm} \cong 111$.



Metal Spheres across a Parallel Field4.4: Grid#1 p2 Nodes=1080 Cells=515 RMS Err= 1.3e-7

شکل ۴-۸ نمودار شدت میدان الکتریکی برحسب فاصله از وجوه ناحیه مکعبی برای یک کره مسی به شعاع $r/100$ که روی الکترود سمت چپ قطعه ACPEL واقع شده است.

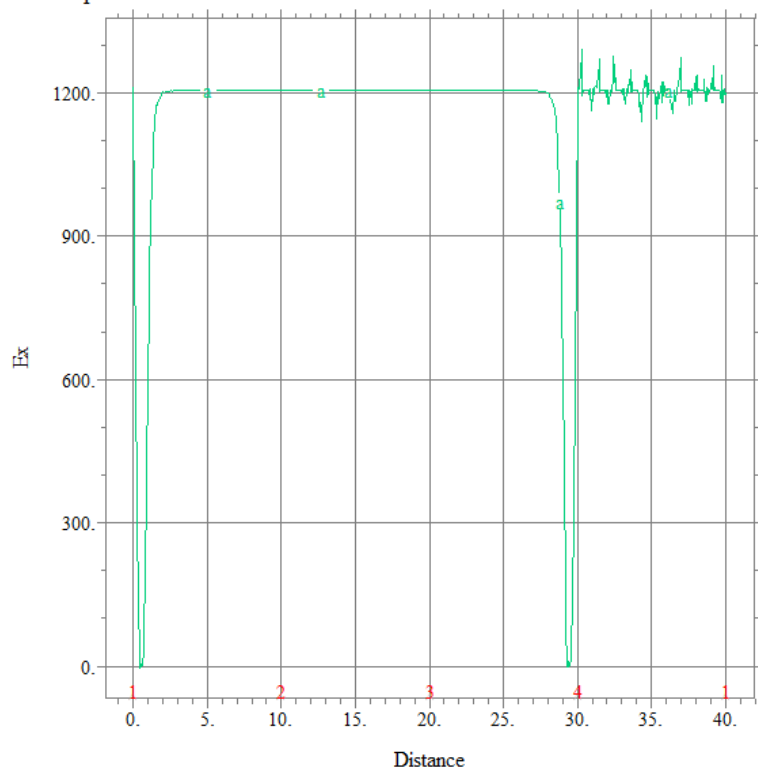
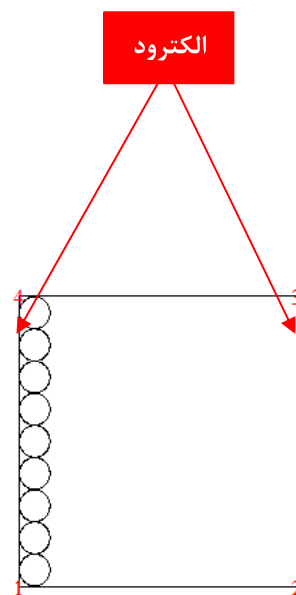
با توجه به پارامتر $(\bar{E})$ ، می‌توان چنین نتیجه گرفت که هرچه شعاع کره فلزی کوچک‌تر باشد میدان الکتریکی روی الکترود قطعه ACPEL، که عامل راه‌اندازی قطعه مورد نظر می‌باشد، دارای یکنواختی و شدت بیشتر است؛ به عبارت دیگر استفاده از نانوذرات رسانا به طور مؤثری در کاهش ولتاژ عملکرد قطعه و یکنواختی نور حاصل از آن ایفای نقش می‌کند.

۴-۳- مسئله یک لایه یکنواخت از کرات مسی در میدان الکتریکی قطعه ACPEL

در بررسی دیگری جهت نزدیک شدن به شرایط واقعی، یک ردیف از کره‌ها با سائزهای متفاوت را روی الکتروود قطعه ACPEL قرار داده‌ایم. میزان پیوستگی ماکزیمم‌های میدان و اختلاف میان حداقل و حداکثر شدت میدان نشان‌گر نقش سائز ذرات فلزی کروی در تقویت میدان الکتریکی می‌باشد. نتایج این بررسی را نیز می‌توان در تصاویر ۸-۴، ۹-۴، و ۱۰-۴ به وضوح مشاهده نمود.

تصویر ۸-۴ نشان دهنده نحوه تغییرات میدان الکتریکی روی وجه ۴-۱ را در حالتی نشان می‌دهد که یک ردیف از کرات رسانا با شعاع r (حدود میکرون) در بین الکترود و لایه فعال در قطعه ACPEL لایه نشانی شده است. این نمودار در مقایسه با نمودار ۵-۴ و دو نمودار ۹-۴ و ۱۰-۴ قابل تفسیر می‌باشد. همان گونه که از این نمودار می‌توان نتیجه گرفت، داریم: $(\bar{E})_{\mu m} \cong 70$.

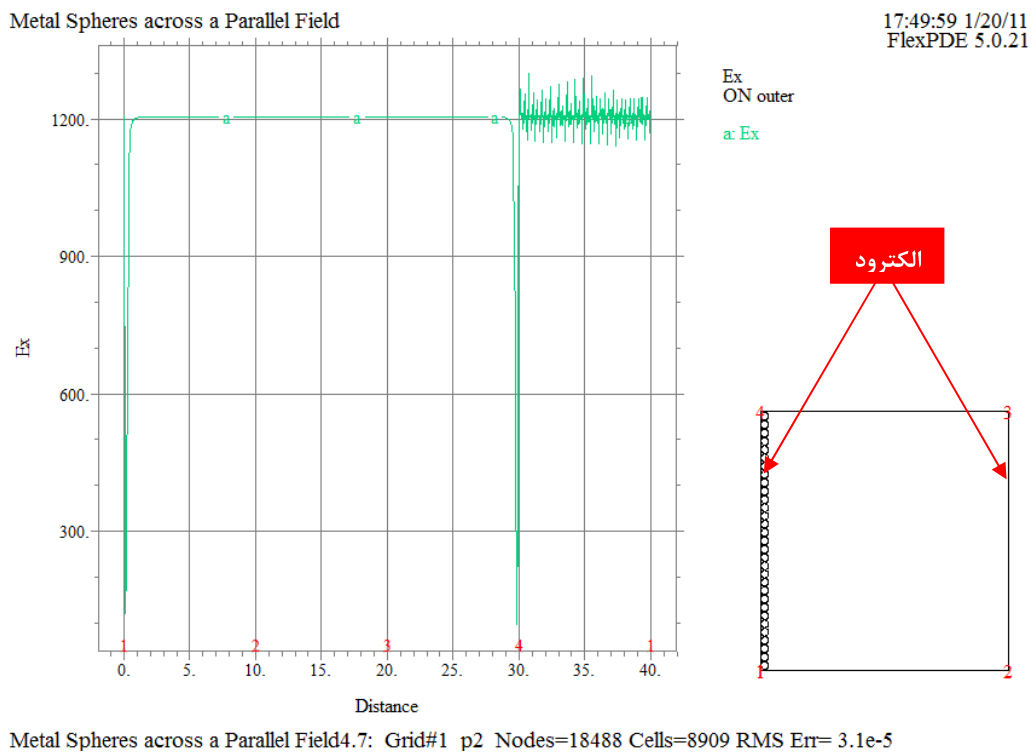
Metal Spheres across a Parallel Field

13:22:04 12/31/10
FlexPDE 5.0.21Ex
ON outer
a: Ex

Metal Spheres across a Parallel Field4: Grid#1 p2 Nodes=11710 Cells=5713 RMS Err= 8.7e-5

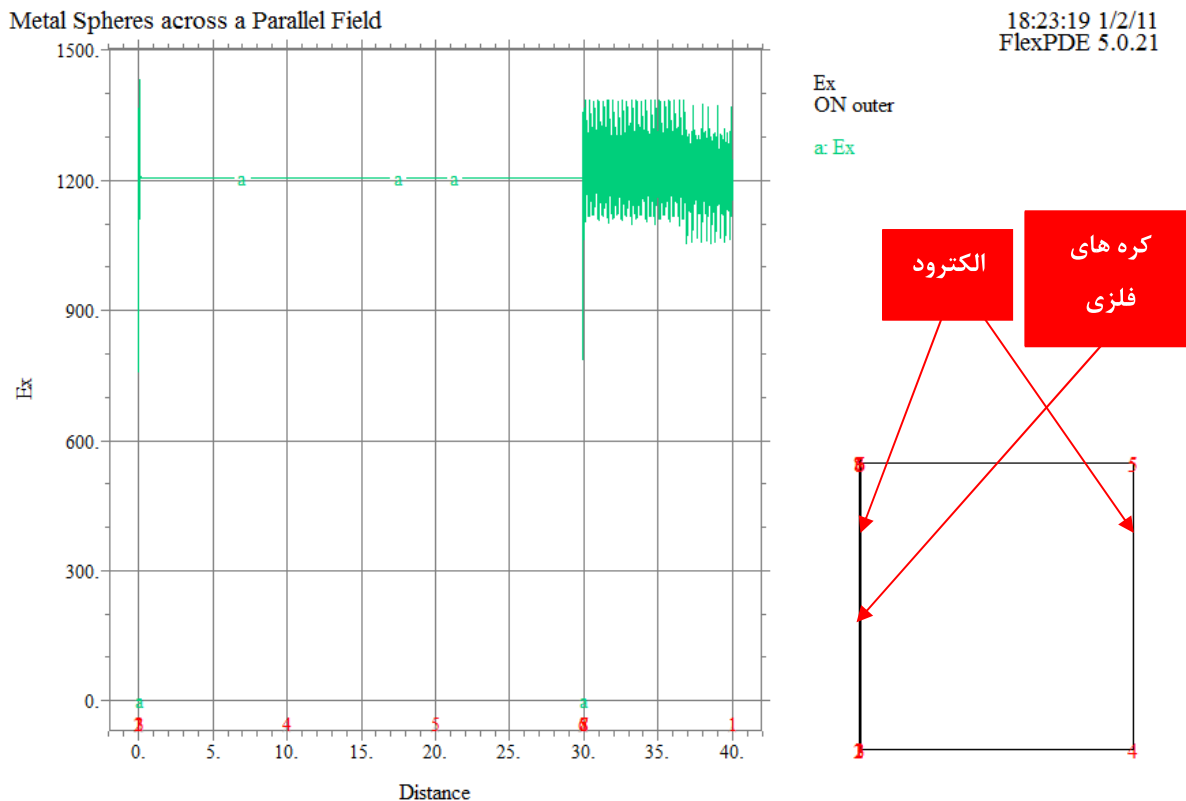
شکل ۸-۴ نمودار شدت میدان الکتریکی برحسب فاصله از وجوه ناحیه مکعبی برای چندین کره مسی به شعاع r که بدون فاصله از یکدیگر روی یکی از الکترودهای قطعه ACPEL لایه نشانی شده‌اند.

شکل ۴-۹ وضعیت مشابه شکل ۴-۸ را برای کراتی به شعاع $r/10$ (حدود ۱۰۰ نانومتر) به تصویر کشیده است. در این وضعیت داریم: $(\bar{E})_{100nm} \cong 85$.



شکل ۴-۹ نمودار شدت میدان الکتریکی بر حسب فاصله از وجوه ناحیه مکعبی برای یک ردیف از کره‌های مسی به شعاع $r/10$ واقع بر الکتروود سمت چپ قطعه ACPEL.

شکل ۴-۱۰ وضعیت مشابه شکل ۴-۸ را برای کراتی به شعاع $r/100$ (حدود ۱۰ نانومتر) به تصویر کشیده است. در این وضعیت داریم: $(\bar{E})_{10nm} \cong 175$.



Metal Spheres across a Parallel Field4.6: Grid#1 p2 Nodes=47323 Cells=23176 RMS Err= 9.4e-7

شکل ۴-۱۰ نمودار شدت میدان الکتریکی برحسب فاصله از وجوه ناحیه مکعبی برای چندین کره مسی به شعاع $r/100$ که بدون فاصله از یکدیگر روی الکتروود سمت چپ قطعه ACPEL واقع شده‌اند.

نتایج حاصل از مقایسه سه تصویر ۴-۸، ۴-۹ و ۴-۱۰ با یکدیگر و همچنین با نمودارهای ۴-۵، ۴-۶ و ۴-۷

معرف آن است که حضور یک لایه یکنواخت از نانوذرات رسانا در قطعه ACPEL در ولتاژ عملکرد و یکنواختی

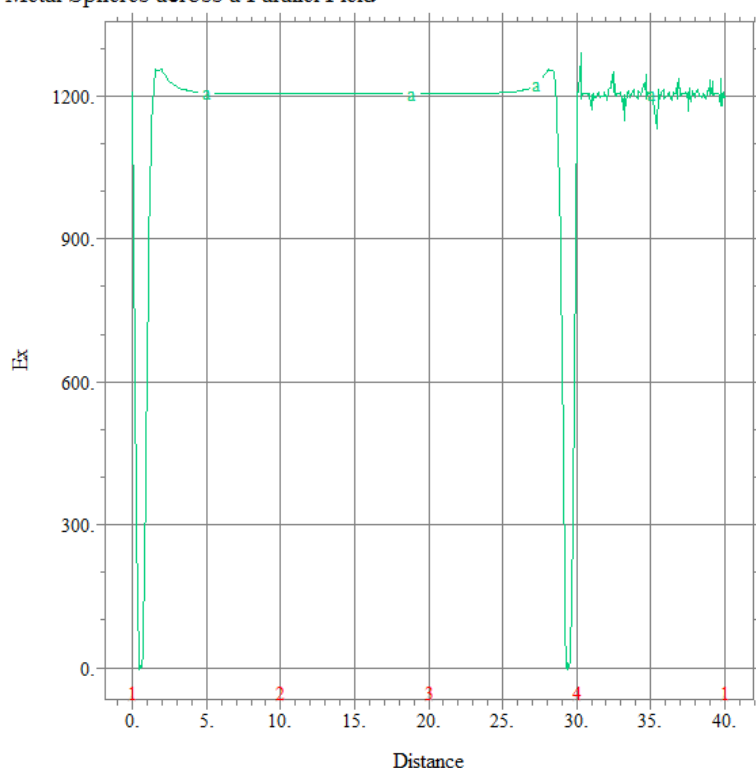
نور حاصل از قطعه ACPEL وضعیت ایده‌آلی را به وجود می‌آورد.

۴-۴-۴ مسئله حضور ذرات مسی پراکنده در میدان الکتریکی قطعه ACPEL

در عمل، قرار دادن یکنواخت ذرات مسی به صورت تک‌لایه بسیار ایده‌آل می‌باشد، لذا بررسی وضعیت نزدیک‌تر به وضعیت واقعی که به عنوان مثال می‌تواند حضور ذرات با سایز متفاوت و یا پراکندگی ذرات باشد ضروری است. فاصله میان ذرات کروی فلزی نیز عامل دیگری در میزان تقویت شدت میدان است. برای مشاهده نحوه تغییرات شدت میدان با میزان فاصله میان ذرات، سه سایز از ذرات با فاصله‌ای مشخص از یکدیگر چیده و نتایج در تصاویر جداگانه‌ای (تصاویر ۴-۱۱، ۴-۱۲، و ۴-۱۳) بررسی شده است.

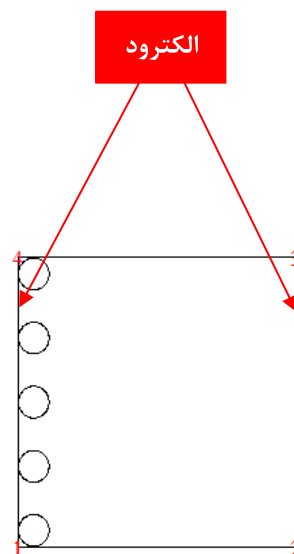
شکل ۴-۱۱ نشان دهنده نحوه تغییرات میدان الکتریکی در وجه ۴-۱ برای وضعیتی است که کرات فلزی با شعاع r (حدود یک میکرون) به صورت پراکنده در روی الکترود ACPEL لایه‌نشانی شده است. مشابه نمودارهای قبلی پارامتر کلیدی برای این نمودار عبارت است از: $(\bar{E})_{\mu m} \cong 70$.

Metal Spheres across a Parallel Field



17:52:39 12/31/10
FlexPDE 5.0.21

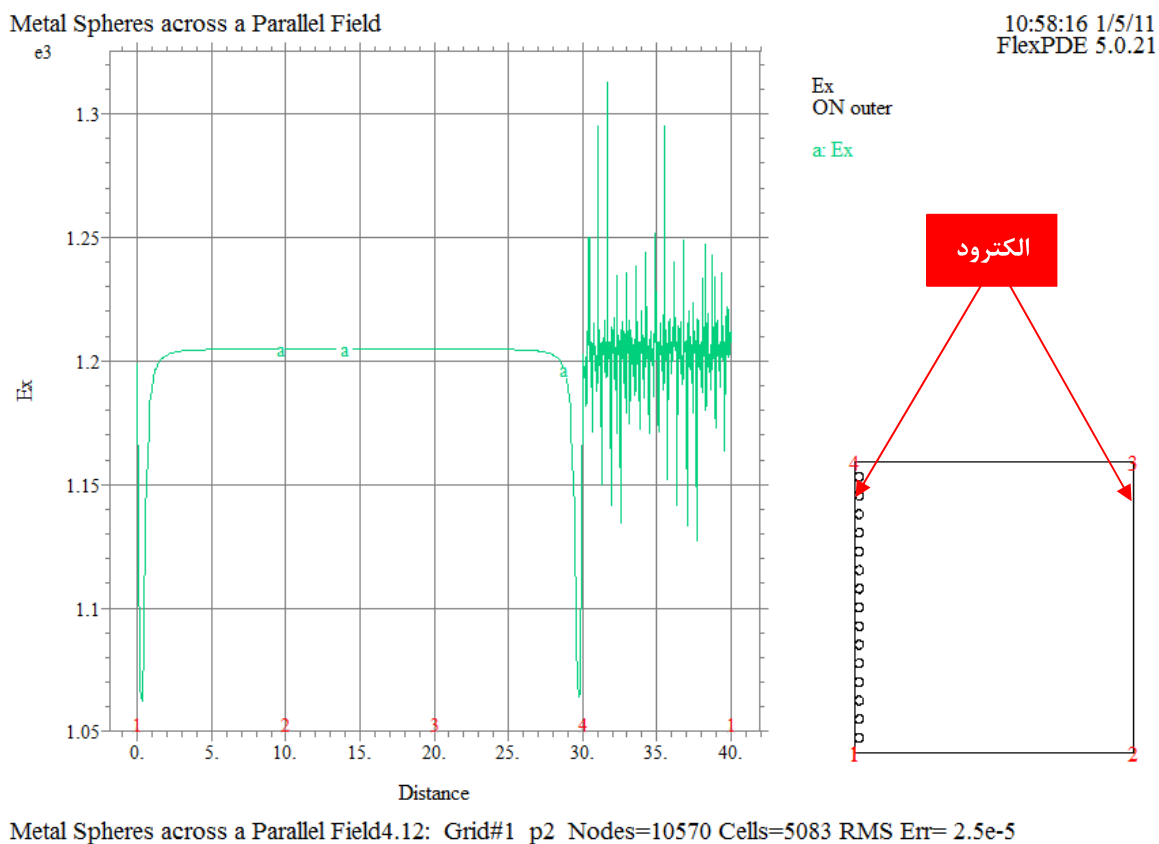
Ex
ON outer
a: Ex



Metal Spheres across a Parallel Field4.1: Grid#1 p2 Nodes=4342 Cells=2075 RMS Err= 1.9e-4

شکل ۴-۱۱ نمودار شدت میدان الکتریکی برحسب فاصله از وجوه ناحیه مکعبی برای کره‌های مسی به شعاع r که به صورت پراکنده روی الکترود سمت چپ قطعه ACPEL قرار گرفته‌اند.

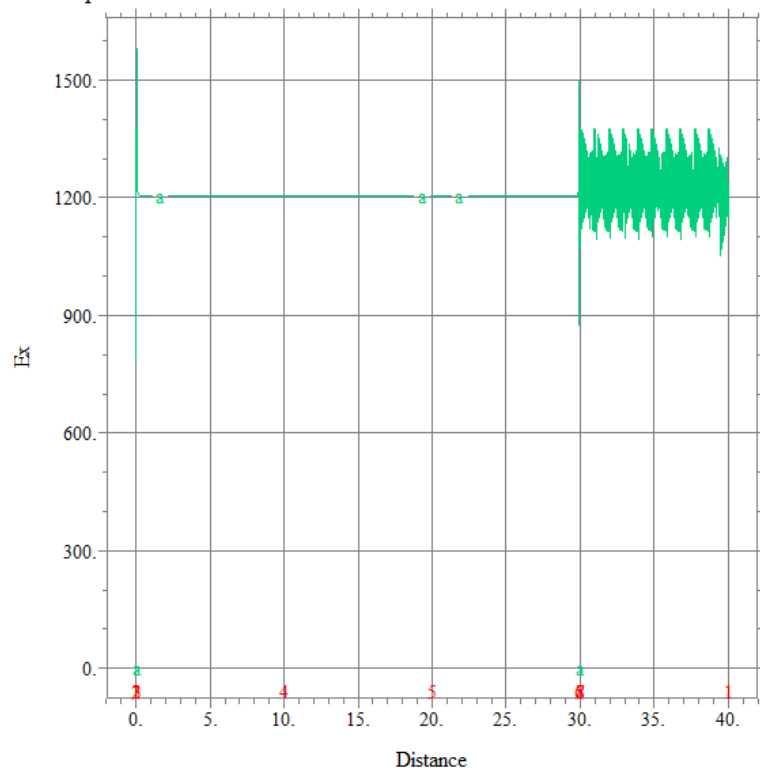
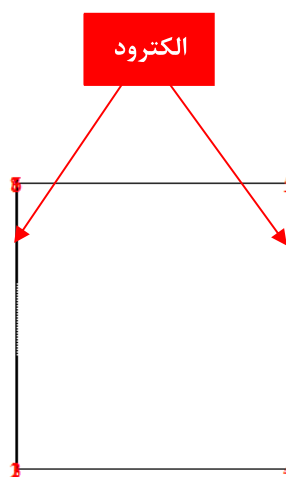
شکل ۴-۱۲ وضعیت مشابه شکل ۴-۱۳ را برای کراتی به شعاع $r/10$ (حدود ۱۰۰ نانومتر) به تصویر کشیده است. در این وضعیت داریم: $(\bar{E})_{100nm} \cong 85$.



شکل ۴-۱۲ نمودار شدت میدان الکتریکی برحسب فاصله از وجوه ناحیه مکعبی برای کره‌های مسی به شعاع $r/10$ که به صورت پراکنده روی الکترود سمت چپ قطعه ACPEL قرار گرفته‌اند.

شکل ۴-۱۳ وضعیت مشابه شکل ۴-۱۱ را برای کراتی به شعاع $r/100$ (حدود ۱۰ نانومتر) به تصویر کشیده است. با این تفاوت که در این وضعیت داریم: $(\bar{E})_{10nm} \cong 175$.

Metal Spheres across a Parallel Field

11:19:38 1/5/11
FlexPDE 5.0.21Ex
ON outer
a: Ex

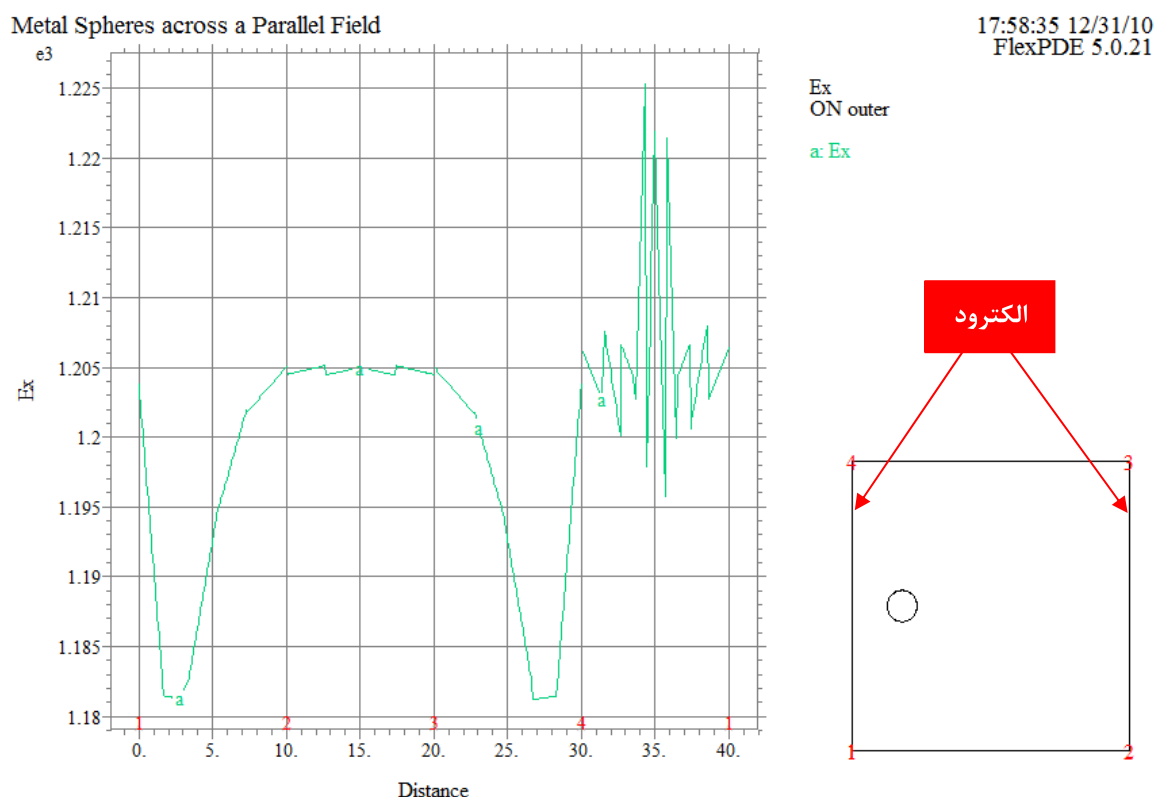
Metal Spheres across a Parallel Field4.13: Grid#1 p2 Nodes=36958 Cells=18069 RMS Err= 8.5e-7

شکل ۴ ۱۳ نمودار شدت میدان الکتریکی برحسب فاصله از وجوه ناحیه مکعبی برای کره‌های مسی به شعاع $r/100$ که به صورت پراکنده روی الکترود سمت چپ قطعه ACPEL قرار گرفته‌اند.

۴-۵ مسئله حضور کره رسانای مسی در میدان الکتریکی یکنواخت در فاصله دور از الکترودها

با توجه به این که گزینه عملی دیگر جهت افزایش شدت میدان قطعه ACPEL (کاهش ولتاژ عملکرد قطعه) استفاده از نانوذرات رسانایی می باشد که در ماده فعال پراکنده شده اند، به شبیه سازی تغییرات میدان الکتریکی در قطعه ACPEL برای وضعیتی می پردازیم که ذرات رسانا در بین دو الکتروود پراکنده شده اند.

شکل ۴-۱۴ نتایج حاصل از وضعیت فوق را برای یک کره رسانای با شعاع r (حدود میکرون) نشان می‌دهد و همان‌طور که قابل پیش‌بینی است تغییرات میدان در این وضعیت شدیدتر بوده و آشفتگی میدان افزایش می‌یابد. در این وضعیت داریم: $(\bar{E})_{\mu m} \cong 14.5$.



Metal Spheres across a Parallel Field4.3: Grid#1 p2 Nodes=521 Cells=248 RMS Err= 1.5e-4

شکل ۴-۱۴ نمودار شدت میدان الکتریکی برحسب فاصله از وجوه ناحیه مکعبی برای کره ای مسی به شعاع r که با فاصله مشخصی از الکترود سمت چپ قطعه ACPEL قرار گرفته است.

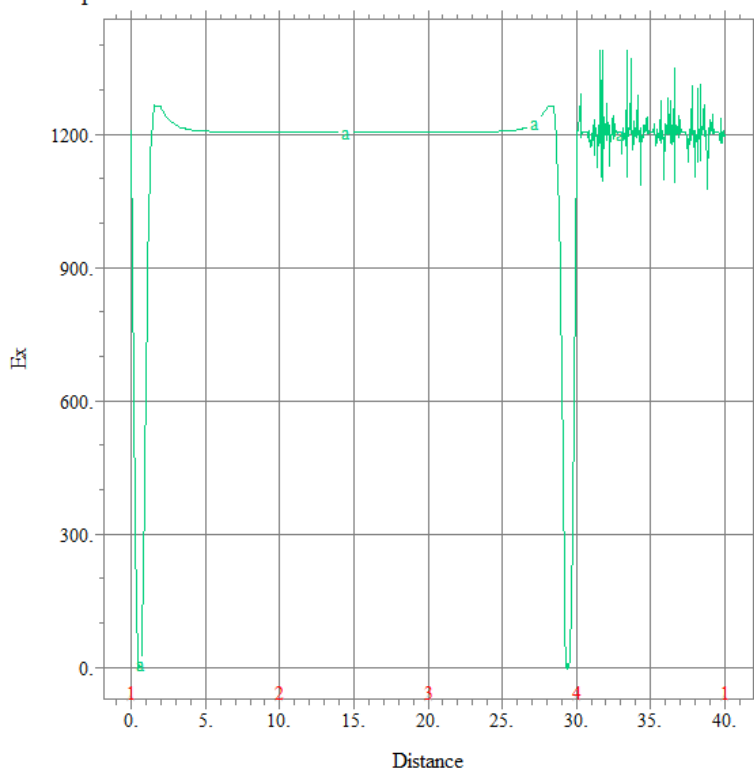
میزان پارامتر $(\bar{E})_{\mu m} \cong 14.5$ و مقایسه آن با پارامترهای مشاهده شده در شکل‌های ۴-۵ و ۴-۸ نشان می‌دهد که توزیع ذرات رسانا در داخل ناحیه فعال موجب اغتشاش بیشتر میدان شده و از نظر کارایی قطعه الکترولولومینسانس (ولتاژ راه انداز و یکنواختی نور) مطلوب نمی‌باشد.

۴-۴-۶ مسئله حضور کره های مسی ناهمگون در میدان الکتریکی قطعه ACPEL

با توجه به توزیع سایز ذرات نانومتری بدیهی به نظر می‌رسد که در عمل نانوذرات فلزی مورد استفاده وضعیتی مشابه شکل ۴-۱۱ را داشته باشند. در این وضعیت همان‌گونه که نشان داده شده است یکنواختی میدان بیشتر دچار اختلال شده که در مقایسه با نمودار ۴-۱۵ با نمودارهای ۴-۸، ۴-۹ و ۴-۱۰ قابل درک است. ولی با توجه به دامنه توزیع سایز نانوذرات رسانا (در محدوده ۱۰ تا ۱۰۰ نانومتر) و ذرات میکرونی (در محدوده یک میکرون) اختلال میدان الکتریکی خیلی شدید نبوده و به ازاء دو مرتبه بزرگی در تغییر سایز ذرات میزان آن برابر است با:

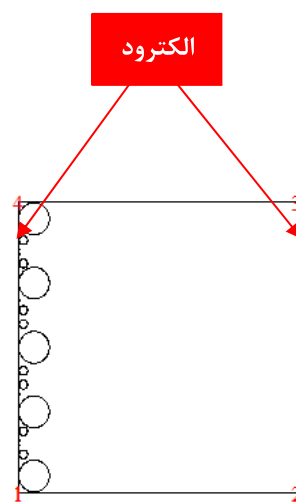
$$\frac{(E_{\max})_{10nm} - (E_{\max})_{1\mu m}}{(E_{\max})_{1\mu m}} = \frac{1400 - 1250}{1250} \times 100 = 12\%$$

Metal Spheres across a Parallel Field



21:12:07 1/2/11
FlexPDE 5.0.21

Ex
ON outer
a: Ex



Metal Spheres across a Parallel Field4.11: Grid#1 p2 Nodes=8902 Cells=4299 RMS Err= 1.8e-4

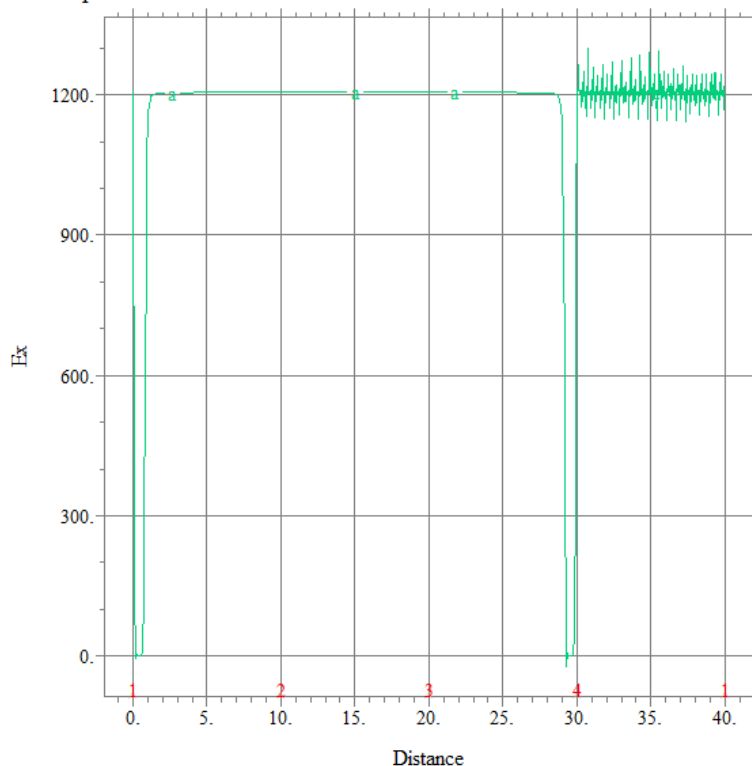
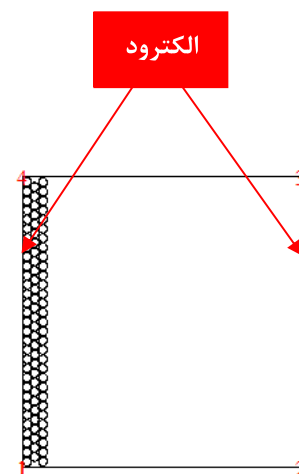
شکل ۴-۱۵ نمودار شدت میدان الکتریکی برحسب فاصله از وجوه ناحیه مکعبی برای کره‌های مسی به شعاع‌های متفاوت که روی الکتروود سمت چپ قطعه ACPEL قرار گرفته‌اند.

با توجه به توزیع نانوذرات مس به کار رفته در این آزمایش (۱۰ تا ۶۰ نانومتر) اختلال در میدان قابل اغماض بوده و رفتار میدان مشابه وضعیتی است که کرات فلزی شکل ۴-۱۵ مانند نمودارهای قبلی یکسان باشند. ضمناً $\bar{E}$ در این وضعیت برابر است با ۱۷۵ که تقریباً مشابه وضعیت نانوذرات یکنواخت با شعاع کوچک است (شکل ۴-۱۰).

۷-۴-۴ مسئله حضور لایه‌های متعدد نانوذرات فلزی در میدان الکتریکی قطعه ACPEL

در عمل، هنگام لایه‌نشانی نانوذرات فلزی احتمال قرار گرفتن چند لایه فلزی به روی یکدیگر وجود داشته که در این صورت مطابق شکل ۴-۱۶ و در مقایسه با شکل ۴-۹ اختلال میدان الکتریکی کاهش یافته ولی متوسط شدت میدان نیز کم می‌گردد، یعنی $\bar{E} = 75$. در نتیجه ولتاژ راه‌انداز برای وضعیتی که نانوپودر فلزی به صورت نازک‌تر لایه‌نشانی شود، کاهش می‌یابد.

Metal Spheres across a Parallel Field

20:12:00 1/2/11
FlexPDE 5.0.21Ex
ON outer
a: Ex

Metal Spheres across a Parallel Field4.10: Grid#1 p2 Nodes=28669 Cells=13994 RMS Err= 3.4e-5

شکل ۴-۱۶ نمودار شدت میدان الکتریکی برحسب فاصله از وجوه ناحیه مکعبی برای دو ردیف از کره‌های مسی به شعاع $t/10$ که روی الکتروود سمت چپ قطعه ACPEL قرار گرفته‌اند.

۴-۵ نتیجه گیری

۱- با توجه به بستگی شدت میدان الکتریکی به اندازه ذرات فلزی در نمودارهای مربوطه (اشکال ۴-۳، ۴-۶، و ۴-۷) مشخص می‌شود که با کاهش سایز ذرات فلزی میدان الکتریکی قوی‌تر و یکنواختی توزیع شدت آن بیشتر خواهد بود. بنابراین برای دستیابی به شدت نور بیشتر در قطعات ACPEL، استفاده از نانوذرات فلزی کوچکتر توصیه می‌شود.

۲- مقایسه نمودارهای ۴-۸، ۴-۹ و ۴-۱۰ با نمودارهای ۴-۱۱، ۴-۱۲ و ۴-۱۳ استفاده از یک تک لایه متراکم نانوذرات فلزی را پیشنهاد می‌نماید.

۳- میزان یکنواختی سایز نانوذرات فلزی استفاده شده در قطعات ACPEL نیز عامل دیگری در جهت رسیدن به یکنواختی نور گسیلی می‌باشد. این نتیجه را می‌توان از مقایسه تصاویر ۴-۸، ۴-۹ و ۴-۱۰ با تصویر ۴-۱۵ استنباط نمود.

۴- تعداد لایه‌های نانوذرات فلزی نیز عامل دیگری است که بر شدت میدان الکتریکی و نیز شدت و توزیع نور اثر به‌سزایی دارد. در این راستا مقایسه نمودارهای ۴-۹ و ۴-۱۶ گویای کاهش ولتاژ عملکرد با استفاده از تک‌لایه‌های فلزی می‌باشند، اگرچه در این وضعیت یکنواختی نور گسیلی وضعیت ایده‌آل را ندارد.

۵- علی‌رغم این‌که گاهی برای بهبود شدت نور قطعه ACPEL مخلوط کردن نانوذرات فلزی با بودر ZnS پیشنهاد می‌شود که نتیجه آن را می‌توان در شکل ۴-۱۴ مشاهده نمود، اما این امر در مقایسه با حالتی که نانوذرات فلزی دقیقاً روی الکترود قرار گرفته‌اند نتیجه مطلوبی را به دست نمی‌دهد و از این نظر توصیه نمی‌شود.

لازم به ذکر است اکثر موارد فوق که در این فصل به صورت شبیه‌سازی بررسی شده‌اند، در عمل نیز مورد سنجش و آزمایش قرار گرفته‌اند که در فصل بعد راجع به نتایج تجربی به‌دست آمده بحث می‌شود.

فصل پنجم

نتایج حاصل از طراحی، ساخت و به کارگیری نانو ساختارهای فلزی در قطعات ACPEL

- مقدمه
- طریقه ساخت قطعات ACPEL
- استفاده از نانو ساختارهای فلزی در قطعات الکترو لومینانس پودری
- تاثیر و تاثیر اعلی بر عملکرد قطعات ACPEL در دماهای مختلف
- تاثیر دمای محیط بر عملکرد قطعات ACPEL در دماهای متفاوت
- رطوبت و طول عمر قطعه الکترو لومینانس
- مقایسه طول عمر عملکرد لامپ DUREL و قطعه ACPEL ساخته شده
- نتیجه گیری

۵- ۱ مقدمه

هدف ما ساخت قطعه‌ای است که بر مبنای الکترولومینسانس عمل نموده و با اعمال میدان الکتریکی، تولید نور کند. برای ساخت این قطعه از روش‌هایی مثل فیلم نازک یا اسپاترینگ^۱ و روش پودری می‌توان استفاده کرد. از مزایای روش پودری نسبت به روش فیلم نازک، ضمن ساده‌تر و ارزان‌تر بودن آن می‌توان به انعطاف‌پذیری قطعاتی که به این روش ساخته می‌شوند و نیز برش آن‌ها به اشکال و اندازه‌های دلخواه اشاره کرد که امتیاز بسیار مهمی در کاربرد آن‌ها به شمار می‌رود.

در این فصل دو مبحث "طراحی و ساخت قطعات ACPEL" و نیز "تأثیر شرایط محیطی متفاوت بر نحوه عملکرد قطعات ACPEL" بررسی شده است. در ابتدا روش‌های ممکن برای تهیه این گونه قطعات به طور مختصر مرور و روش استفاده شده در این پایان‌نامه به تفصیل شرح داده شده است. شدت نور گسیلی از قطعات ساخته شده در مقایسه با نمونه لامپ‌های DUREL از شرکت Rogers آمریکا بررسی شده است. نتایج بررسی نشان دهنده شدت بیشتر نور گسیلی قطعات ساخته شده در مقایسه با لامپ‌های فوق می‌باشد. تأثیر حضور نانوساختارها و نیز کوچک شدن سایز ذرات پودر فسفر ZnS در ولتاژ راه‌اندازی و شدت نور خروجی از قطعات بررسی شده‌اند. نهایتاً اثرات دما، رطوبت، ولتاژ، و فرکانس بر عملکرد و طول عمر قطعه در قالب نمودار به تصویر درآمده و نیز اطلاعات به‌دست آمده از بررسی‌های فوق تحلیل شده است.

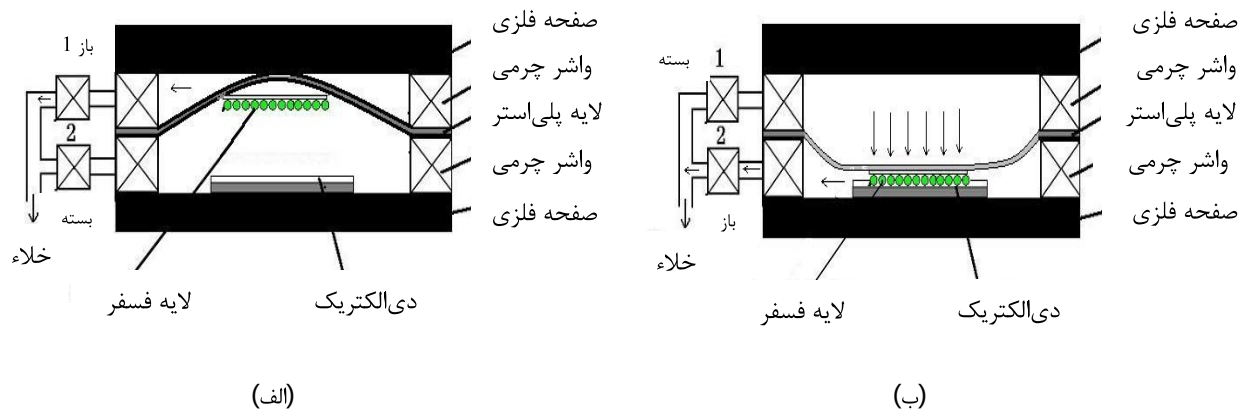
¹-sputtering

۵-۲. طریقه ساخت قطعات ACPEL

جهت ایجاد میدان الکتریکی داخل قطعات ساخته شده به روش پودری می توان از اعمال ولتاژ مستقیم یا متناوب استفاده کرد، که ما مورد دوم را به دلیل ارزان تر بودن و همچنین دسترس پذیری آن، برگزیده ایم. چنین قطعه ای در یک لومینسانس پایین $3/5 \text{ Cd/W}$ ، تقریباً طول عمر بینهایتی دارد [۴]، ولی از آنجایی که ما در پی ساخت قطعه ای با راندمان بالای لومینسانس می باشیم، روشی را در پیش می گیریم که بدون کاهش چشمگیر طول عمر قطعه، به هدف خود نیز نزدیک تر شویم. بدین منظور، استفاده از نانوساختارها و کاهش ابعاد نانوذراتی که از طریق آن ها پتانسیل اعمال می شود، و همچنین کاهش سایز فسفر ZnS از میکرومتر به نانومتر، راه حلی است که به نظر مفید می نماید. البته افزایش ولتاژ اعمالی به قطعه نیز راه دیگری است که برای افزایش شدت لومینسانس پیشنهاد می شود ولی از آنجایی که استفاده از ولتاژهای بالا، علاوه بر بالا بردن هزینه ها کاهش طول عمر مفید قطعه را نیز در پی دارد، بهتر است به فراموشی سپرده شود.

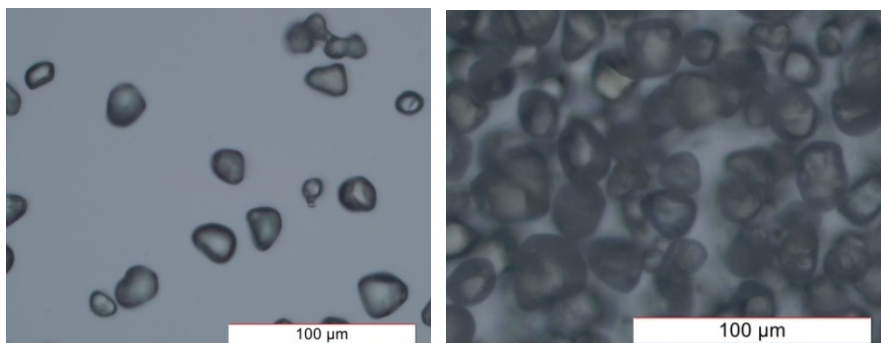
یک روش مورد استفاده برای ساخت قطعه مورد نظر بدین ترتیب می باشد که ابتدا لایه نشانی لایه ای نازک از ITO^1 بر روی زیرلایه ای شیشه ای انجام می شود. سپس پودر ZnS به طور یکنواخت روی لایه عایق قرار می گیرد، که بدین منظور از سیستم آزمایشگاهی خاصی به کمک پمپ خلا استفاده می شود تا از یکنواختی لایه ZnS تا حد ممکن اطمینان حاصل شود، و همچنین بتوان این عمل را به دفعات تکرار نمود (شکل ۵-۱). مرحله بعد که نشان دادن نانوپودر فلز بر روی ZnS می باشد نیز با استفاده از روش فوق انجام می شود. نهایتاً با لایه نشانی طلا بر روی نانوذرات فلزی کار آماده سازی قطعه خاتمه می یابد. حال قطعه الکترو لومینسانس مورد نظر آماده اتصال به ولتاژ متناوب و ثبت شدت نور گسیل شده از آن می باشد.

¹ -Indium Tin Oxid

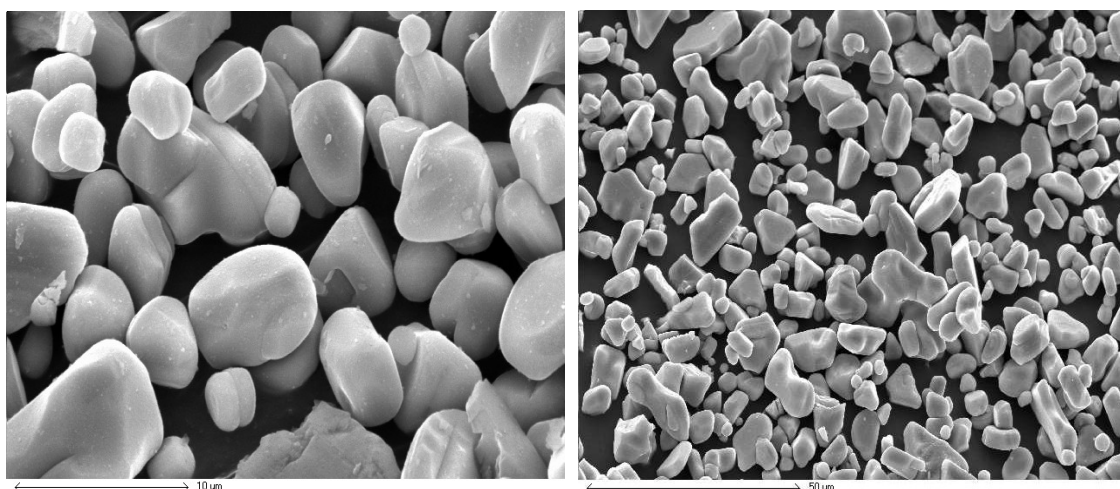


شکل ۵-۱۰ سیستم لایه نشانی پودر ZnS در ساخت قطعه الکترولومینسانس ACPEL، (الف) ناحیه فوقانی سیستم و (ب) ناحیه تحتانی سیستم خلاء می شود.

روش دیگری که برای آماده سازی این گونه قطعات می توان به کار برد روشی است که ما به طور مشخص در این پروژه از آن استفاده نموده ایم. در این روش یک لایه یکنواخت و بسیار نازک ITO روی زیرلایه ای شیشه ای یا پلاستیکی می نشیند، سپس یک لایه یکنواخت چسب دی الکتریک تیتانات باریم (BaTiO_3) از شرکت Dupont Luxprint) با استفاده از روش غلتشی روی ITO قرار می گیرد. مرحله بعد نشان دادن پودر ZnS:Cu(Al) یا ZnS:Cu(Cl) روی لایه های فوق با استفاده از یک الک آزمایشگاهی (mesh#400) می باشد. تصاویر SEM حاصل از ذرات پودر ZnS:Cu(Cl) و ZnS:Cu(Al) و تصاویری که با استفاده از میکروسکوپ نوری گرفته شده، سائز ذرات مزبور را حدوداً ۱۰-۵ میکرون تخمین زده است (شکل ۵-۲ و ۵-۳).

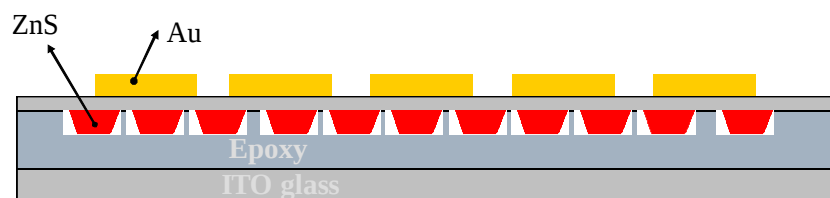


شکل ۵-۲۰ تصاویر میکروسکوپ نوری پودر ZnS:Cu,Al (Cl) که در آزمایشگاه زمین شناسی دانشگاه صنعتی شاهرود تهیه شده است.



شکل ۵-۳ تصاویر SEM از پودر الکترولومینسانس ZnS:Cu,Cl(Al) که در این پروژه مورد استفاده قرار گرفته اند.

در انتها با قرار دادن دومین زیرلایه حاوی ITO روی مجموعه فراهم آمده به کار خود خاتمه می‌دهیم. با پیچیدن قطعه حاصل در یک لایه چسب نواری شفاف می‌توان از ثبات مکان فیزیکی لایه‌ها اطمینان حاصل کرد. مراحل ذکر شده را می‌توان به صورت شماتیک در قالب شکل ۴-۵ به تصویر کشید.

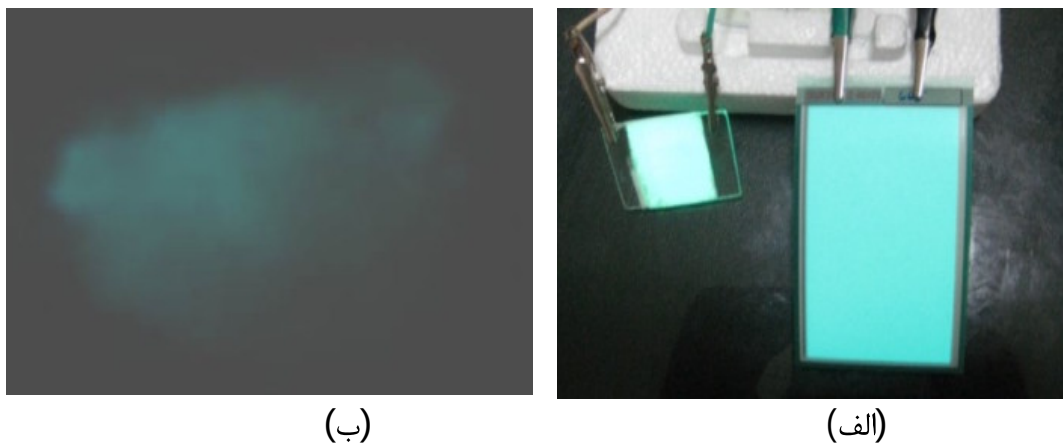


شکل ۵-۴ طرح شماتیک قطعه ACPEL.

در این پروژه برای اولین بار لامپ‌های الکترولومینسانس در ایران طراحی و ساخته شده است و نمونه‌های ساخته شده از قطعات الکترولومینسانس دارای قابلیت کار در ولتاژ و فرکانس برق شهر هستند که به علت عدم نیاز به منبع تغذیه فرکانس بالا امکان تولید صنعتی آن‌ها با قیمت پایین میسر می‌گردد. علاوه بر آن، شدت نور گسیلی لامپ ساخته شده در مقایسه با نمونه لامپ‌های DUREL از شرکت Rogers آمریکا حدود ۵۰ درصد بیشتر می‌باشد به گونه‌ای که در شرایط یکسان از نظر ولتاژ اعمالی و شرایط محیطی شدت نور نمونه ساخته شده

در این پروژه معادل ۱۳۰ لوکس (Lux)^۱ و شدت نور لامپ‌های DUREL برابر با ۹۵ لوکس اندازه‌گیری شده است (شکل ۵-۵ الف)).

در طی ساخت قطعه ACPEL به روش فوق، رسیدن به یکنواختی در لایه‌های دی‌الکتریک و پودر ZnS کمی دشوار و پیچیده می‌باشد که با تمرین و تکرار و نیز آزمودن روش‌های مختلف می‌توان بدان دست یافت. در عمل سعی شد که شرایط متفاوتی برای ساخت قطعات تست گردد و به همین دلیل تعداد زیادی از قطعات الکترولومینسانس با شرایط متفاوت لایه‌نشانی تهیه شد که برخی از آن‌ها به دلایل مختلف از جمله غیریکنواختی لایه‌ها، نور گسیلی مناسبی را از خود نشان ندادند ولی پس از اصلاح ساختار لامپ‌ها این نقص برطرف شد. شکل ۵-۵ (ب)، مقایسه دو نمونه اولیه و اصلاح شده ACPEL را نشان می‌دهد.



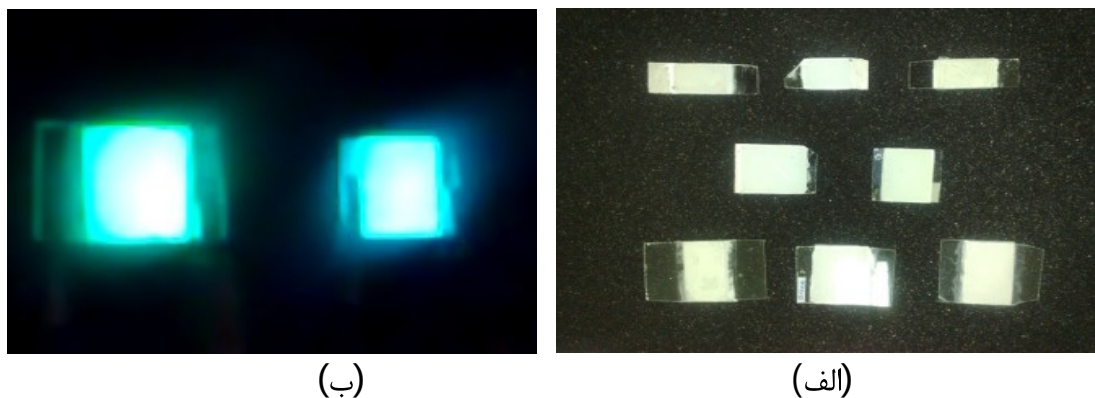
شکل ۵-۵ (الف) مقایسه یک قطعه ACPEL اصلاح شده (سمت چپ) با لامپ DUREL (سمت راست). (ب) قطعه ACPEL اولیه با شدت نور ضعیف و غیریکنواخت.

نکته قابل توجه در مورد قطعات الکترولومینسانسی که به این روش ساخته می‌شوند، کاهش هزینه ساخت این قطعات و افزایش کارایی آن‌ها با استفاده از نانوذرات فلزی می‌باشد که امید است با توجه به مزایای ذکر

^۱ . هر لوکس (Lux) برابر $15 \times 10^{-8} \text{ W} / \text{cm}^2$ می‌باشد.

شده، خاصیت انعطاف پذیری این گونه قطعات و همچنین بدیع بودن این قطعه در کشور بتوان با انجام کارهای پژوهشی مؤثر ساخت آن ها را از مرحله آزمایشگاهی وارد مرحله نیمه صنعتی نمود.

تعدادی از قطعات ACPEL ساخته شده به روش فوق که با شرایط متفاوت از نظر ضخامت لایه، جنس لایه، جنس دی الکتریک، سایز نانوذرات فلزی به کار رفته و غیره تهیه شده اند، در شکل (۵-۶ (الف)) نشان داده شده است. در شکل (۵-۶ (ب)) نیز نور قطعات با رنگ های آبی (حاوی پودر (ZnS:Cu(Al)) ، سبز (حاوی پودر (ZnS:Cu(Cl)) دیده می شود.



شکل ۵-۶ (الف) تعدادی از قطعات ACPEL که در طی پروژه حاضر آماده شده اند. (ب) رنگ های گسیلی آبی (سمت راست) و سبز (سمت چپ) از قطعات ساخته شده.

۵-۳ استفاده از نانوساختارهای فلزی در قطعات الکترو لومینسانس پودری

یک راه افزایش بازدهی قطعات الکترو لومینسانس پودری، استفاده از نانوساختارهای فلزی در پیکره آن ها می باشد. با توجه به این که قطعات الکترو لومینسانس را می توان به صورت یک خازن تخت در نظر گرفت که داخل آن (صرف نظر از اثر لبه ها) میدان یکنواختی تولید می شود، با قرار دادن نانوذرات فلزی کروی درون این قطعات، انتظار می رود میدان درون قطعه قوی تر و در نتیجه شدت نور بیشتری حاصل گردد. با توجه به مباحث مطرح شده در فصل چهارم و شبیه سازی های انجام شده و نیز امکانات و بودجه موجود، تعدادی از موارد لایه-نشانی شده توسط نانوذرات و نانوسیم های فلزی ساخته شد و از نظر ولتاژ راه اندازی و شدت نور گسیلی مورد

مطالعه قرار گرفت. نانوساختارهای مورد استفاده در ساختار قطعات ACPEL عبارتند از نانوسیم‌های ایندیمی با قطر حدود ۱۰۰ نانومتر و نانوذرات مسی با قطر متوسط ۲۵nm. از طرف دیگر جهت مقایسه سایز، ذرات میکرونی با سایز (۱۰-۵ میکرون) و نانویی از پودر مس نیز مورد استفاده قرار گرفته است.

مراحل ساخت این گونه قطعات نیز مانند مراحل ساخت قطعات پیشین می‌باشد با این تفاوت که در قطعات ساخته شده با استفاده از نانوساختارها، به جای یک الکتروُد ITO از چسب نقره استفاده شده است. پس از قرار دادن چسب نقره به صورت یکنواخت روی زیرلایه شیشه‌ای، لایه بسیار نازکی از نانوپودر یا میکروپودر مس روی چسب قرار گرفته و تا خشک شدن کامل چسب نقره برای مدتی به حال خود واگذاشته شده است. با این کار یک الکتروُد نقره به همراه لایه‌ای نازک از نانوساختارهای فلزی تهیه شده است. در حالت کلی، قطعه‌ای که از چسب نقره به عنوان یک الکتروُد و از ITO به عنوان الکتروُد دیگر استفاده نموده، نسبت به قطعه‌ای مشابه با دو الکتروُد ITO از شدت نور کمتری برخوردار است که این امر به عدم شفافیت لایه چسب نقره برمی‌گردد. همچنین طول عمر عملکرد این قطعات بسیار کوتاه می‌باشد که این چالش نیز به غیریکنواختی چسب نقره استفاده شده مربوط می‌شود. در این بخش چهار قطعه بدون استفاده از ذرات فلزی، با استفاده از میکروپودر مس (با سایز ۱۰-۵ میکرون)، نانوپودر مس (با سایز متوسط ۲۵ نانومتر) و نانوسیم ایندیم (با قطر متوسط ۱۰۰ نانومتر) تهیه شده است. برای مقایسه بهتر شرایط مشترکی برای الکتروُد‌ها (یک الکتروُد چسب نقره و دیگری ITO) در نظر گرفته شده است. شکل (۵-۷) مقایسه دو قطعه ACPEL ساخته شده پودری است که در ساختار آن‌ها از نانوسیم‌های ایندیم و نانوذرات مس استفاده شده است. شدت نور گسیلی و ولتاژ آستانه قطعات ساخته شده در جدول ۵-۱ با یکدیگر مقایسه شده‌اند. در نمونه‌ای که از نانوسیم‌های ایندیمی جهت تقویت میدان الکتریکی استفاده شده است (شکل ۵-۷ سمت چپ)، نانوسیم‌های ایندیم به صورت آرایه دو بعدی منظم در بخش میانی قطعه قرار داده شده‌اند و همان گونه که در سمت چپ شکل ۵-۷ مشاهده می‌شود، در مقطعی از قطعه الکترو‌لومینسانس که از نانوسیم ایندیم استفاده شده شدت نور گسیلی بیشتری مشاهده می‌گردد که این امر ناشی از تقویت میدان الکتریکی در نوک نانوسیم‌های فلزی است.

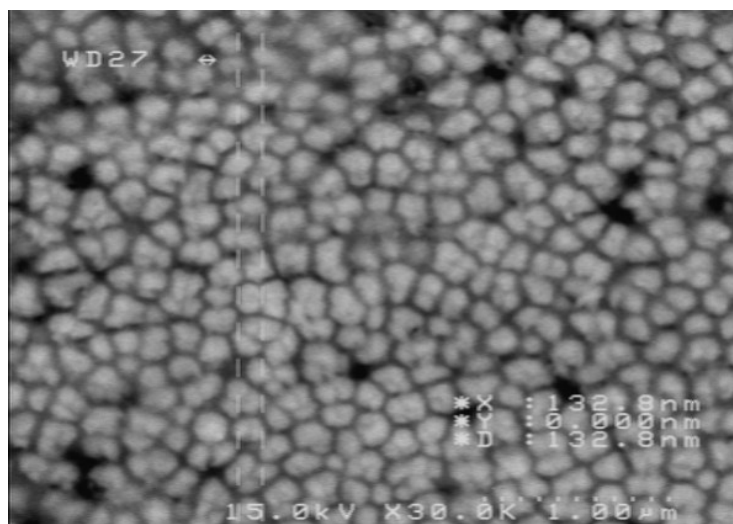


شکل ۵-۴ تصاویری از دو قطعه الکترو لومینسانس پودری که در ساختار آن‌ها از نانوسیم‌های ایندیم (سمت چپ) و نانوذرات مس (سمت راست) استفاده شده است.

جدول ۵-۱ ولتاژ آستانه و شدت لومینسانس در ولتاژ ۱۵۰V مربوط به قطعات ACPEL با و بدون حضور میکروساختار و نانوساختارهای فلزی.

ماده استفاده شده در قطعه ACPEL	ولتاژ آستانه (V)	شدت لومینسانس (Lux) در ولتاژ ۱۵۰
نانوپودر مس (سایز متوسط ۲۵nm) با تراکم کم	۵۵	۲۶
نانو پودر مس (سایز متوسط ۲۵nm) با تراکم زیاد	۷۵	۱۵
نانوسیم ایندیم (قطر ۱۰۰nm)	۴۵	-
میکروپودر مس (سایز متوسط ۳ میکرون)	۶۰	۱۵
قطعه بدون استفاده از نانوساختارها	۷۵	۱۴/۹

همان گونه که قبلاً اشاره شد، نانوسیم‌های ایندیمی به صورت آرایه‌ای دو بعدی در قطعات ساخته شده به کار رفته‌اند. این نانوسیم‌ها نیز در پروژه دیگری در همین آزمایشگاه سنتز شده‌اند که تصویر SEM مقطع خوشه نانوسیم‌های ایندیمی در شکل ۵-۸ مشاهده می‌گردد.



شکل ۵-۸ تصویر SEM از نانوسیم‌های سنتز شده به روش تزریق فشار داغ.

قطعه الکترولومینسانس پودری AC که از نانوپودر مس به عنوان عامل تقویت کننده میدان استفاده نموده است، دارای شدت نور نسبتاً یکنواختی در سراسر سطح خود می‌باشد. این امر نیز به پخش نسبتاً یکنواخت ذرات مس روی چسب نقره اشاره می‌کند.

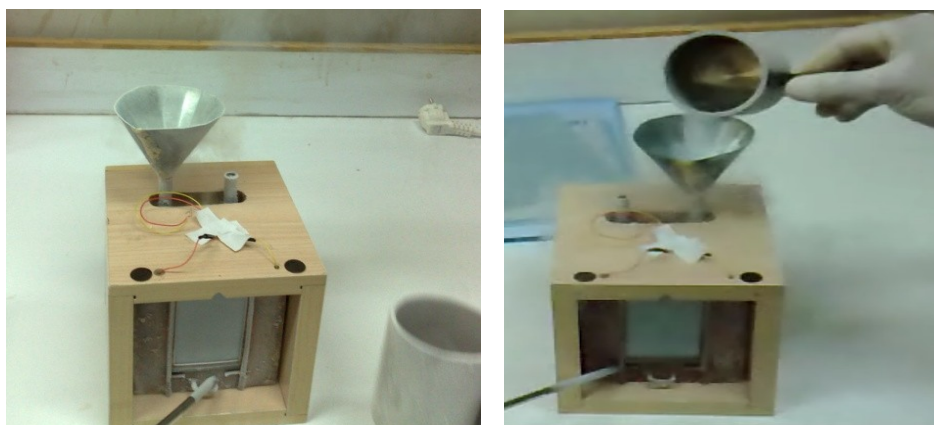
علاوه بر استفاده از نانوساختارهای فلزی در پیکره قطعات ACPEL، کاهش سایز ذرات پودر ZnS نیز راهی است که برای افزایش شدت لومینسانس مفید می‌نماید. در راستای رسیدن به این هدف از یک دستگاه آسیاب سیاره‌ای با قندانی پلی‌اتیلن و گلوله‌های آلومینا استفاده شده است که قادر به ایجاد سه نوع حرکت دورانی، انتقالی، و ارتعاشی می‌باشد. برای رساندن سایز ذرات پودر فسفر ZnS از میکرون به نانو، دستگاه در شرایط ۲۰۰ دور بر دقیقه تنظیم شده و برای مدت ۱۲۰ دقیقه مشغول به کار بوده است. متأسفانه به دلیل عدم امکان حذف رطوبت محیط و کاهش دما و از طرفی حساس بودن پودر لومینسانس مورد نظر به رطوبت، حین انجام عملیات آسیاب کاری یک فرآیند شیمیایی رخ داده و پودر فسفر خاصیت لومینسانس خود را از دست داد. بدین ترتیب امکان تهیه قطعه مناسبی فراهم نشد. از این رو برای رسیدن به سایز مطلوب ذرات فسفر، آسیاب کاری در دمای ازت مایع و به دور از رطوبت هوا یا در جریان اتمسفر گاز آرگون توصیه می‌شود.

۴-۵ تغییرات شدت نور گسیلی قطعه ACPEL بر حسب ولتاژ عملکرد در دماهای مختلف

جهت مطالعه دمایی قطعه مورد نظر سیستم ساده‌ای مطابق شکل ۵-۹ و ۵-۱۰ طراحی و ساخته شد و شدت لومینسانس حاصل از لامپ‌های DUREL در دماهای مختلف از ۱۴۰- تا ۸۰ درجه سانتی‌گراد و تحت ولتاژهای اعمالی (۰-۳۰۰V) بررسی شده‌اند. لازم به ذکر است جهت رسیدن به دمای ۱۴۰- درجه از ات مایع استفاده کرده‌ایم.

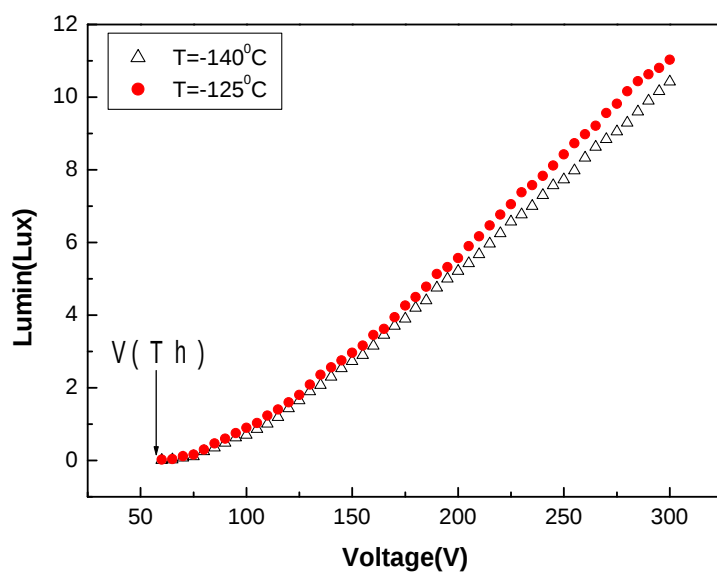


شکل ۵-۹ سیستم انتقال حرارت برای بررسی تأثیر دما بر عملکرد قطعه ACPEL.

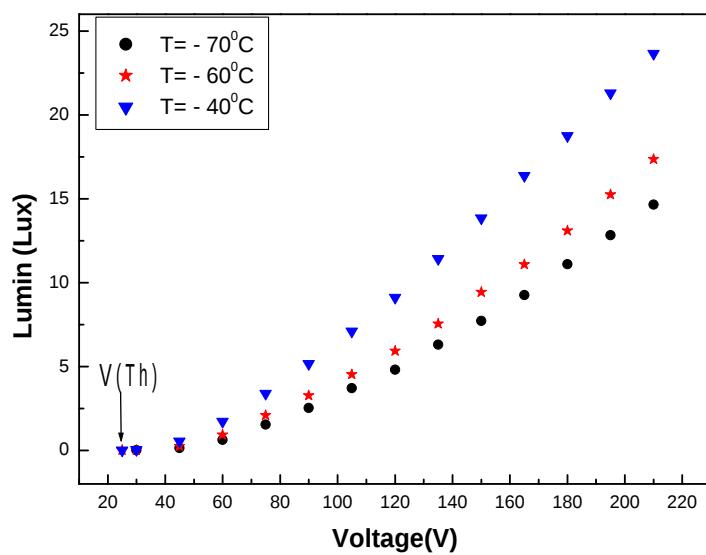


شکل ۵-۱۰ سیستم انتقال برودت برای بررسی تأثیر دما (دمای نیتروژن مایع) بر عملکرد قطعه ACPEL.

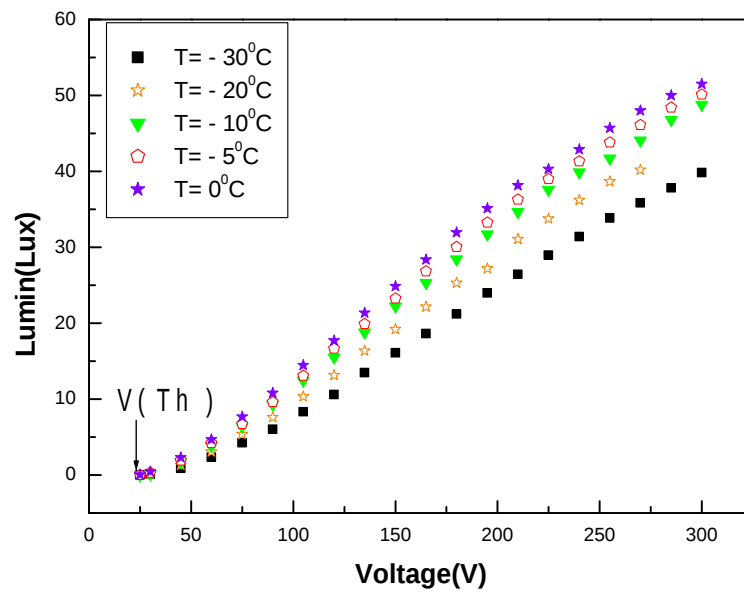
پس از تثبیت دمای سیستم در ولتاژهای مختلف، شدت نور قطعه اندازه‌گیری شد و این کار برای دماهای متفاوت تکرار گردید. نمودارهای (۵-۱۱) رفتار دمایی قطعه را در ولتاژهای مختلف نشان می‌دهد.



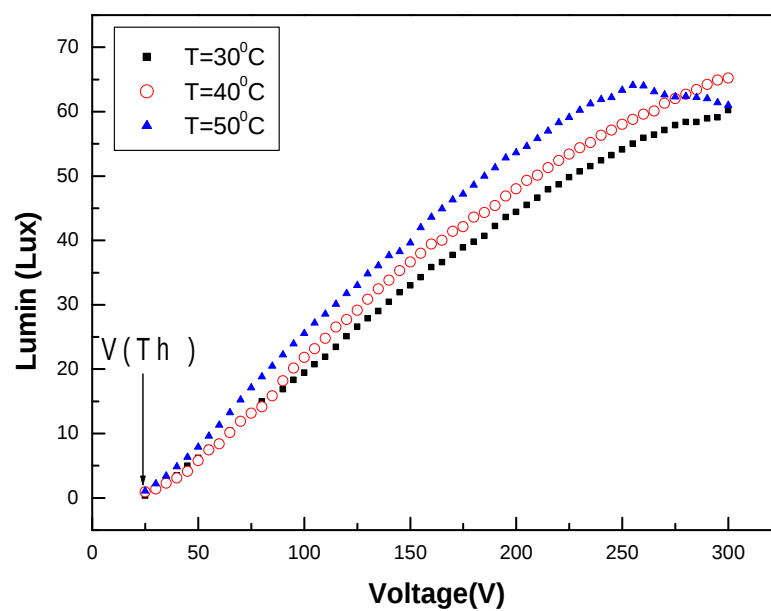
(الف)



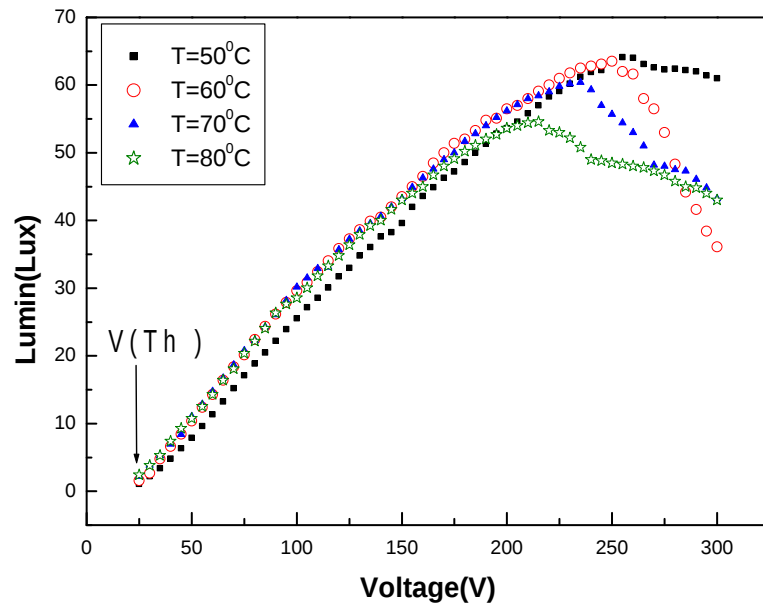
(ب)



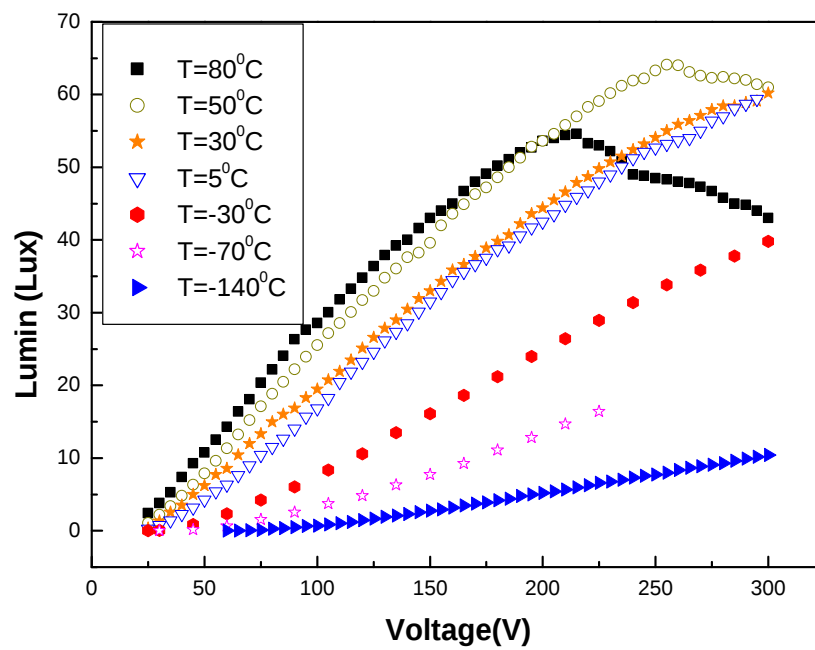
(ب)



(ت)



(ب)



(ج)

شکل ۵-۱۱ تغییرات شدت لومینسانس لامپ‌های DUREL برحسب ولتاژ عملکرد در دماهای متفاوت.

با توجه به منحنی‌های به دست آمده، نکات زیر را می‌توان استنتاج نمود:

- ۱- حداکثر ولتاژ راه‌انداز ۶۰ ولت بوده که با افزایش دما مقدار آن تا ۲۳ ولت کاهش می‌یابد.
- ۲- میزان گسیل نور از قطعه تا ۵۰ درجه سانتی‌گراد برای ولتاژ تا ۳۰۰ ولت به حالت اشباع نمی‌رسد، در صورتی که در دمای ۵۰ درجه شدت نور گسیلی قطعه با نزدیک شدن به ولتاژ ۳۰۰ ولت به حالت اشباع رسیده و با افزایش دما شدت نور، علی‌رغم افزایش ولتاژ عملکرد، کاهش می‌یابد.
- ۳- بازده اپتیکی قطعه در دمای ۵۰ درجه سانتی‌گراد به ماکزیمم مقدار خود رسیده است.
- ۴- ولتاژ متناظر با ماکزیمم شدت نور گسیلی نیز تابعی از دما بوده و با افزایش دما کاهش می‌یابد.

دلایل فیزیکی فرآیندهای فوق عبارتند از:

- ۱- کاهش ولتاژ راه‌انداز قطعه با افزایش دما، به کاهش گاف انرژی ماده فعال در اثر افزایش دما باز می‌گردد که پدیده شناخته شده‌ای در مواد نیم‌رساناست و بدیهی است با کاسته شدن از گاف انرژی، ولتاژ راه‌انداز قطعه نیز کاهش می‌یابد. به عبارت دیگر حداقل انرژی لازم برای گذار الکترون-ها از نوار ظرفیت به نوار رسانش کاهش می‌یابد.
- ۲- به نظر می‌رسد که دو مکانیزم برای تولید نور در قطعه ACPEL در رقابت با یکدیگرند. مکانیزم اول که به گذار الکترون‌ها از نوار ظرفیت به نوار رسانش و باز ترکیب نوری الکترون‌ها و حفره‌ها مربوط می‌شود، همان‌گونه که در بالا اشاره شد، با افزایش دما به نفع گسیل نوری قطعه ACPEL عمل می‌کند و به عبارت دیگر در این وضعیت بدیهی است که با افزایش ولتاژ عملکرد شدت نور گسیلی قطعه افزایش می‌یابد. در حالی که مکانیزم دیگری نیز در عملکرد قطعه EL دخیل است و آن حضور فونون‌های شبکه کریستالی ماده فعال می‌باشد که با افزایش دما تعداد آن‌ها بیشتر شده و به دلیل اندرکنش با الکترون‌ها باعث فرآیندهای باز ترکیبی غیرنوری می‌گردد. به عبارت دیگر در

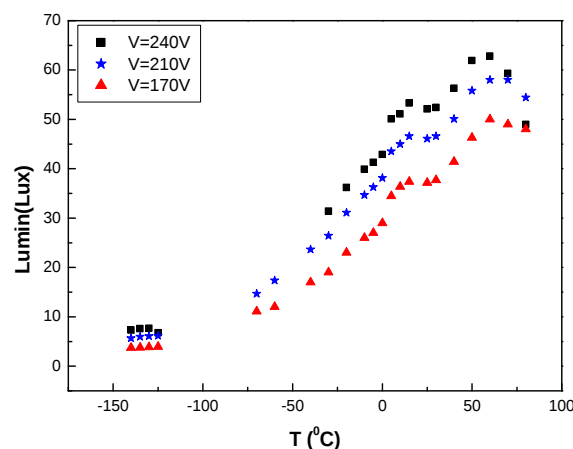
مکانیزم اخیر افزایش دما سبب کاهش شدت نور می گردد. رقابت این دو مکانیزم سبب می گردد که شدت نور گسیلی به حالت اشباع برسد.

۳- رقابت دو مکانیزم اشاره شده در بند قبل، تعیین کننده دمایی است که در آن گسیل اپتیکی به ماکزیمم مقدار خود رسیده و پس از آن کاهش می یابد، که این دما در لامپ های Durel حدود ۵۰ درجه سانتی گراد می باشد و در دماهای بالاتر از ۵۰ درجه به دلیل غلبه مکانیزم پراکندگی فونونی با افت نور گسیلی مواجه می گردد.

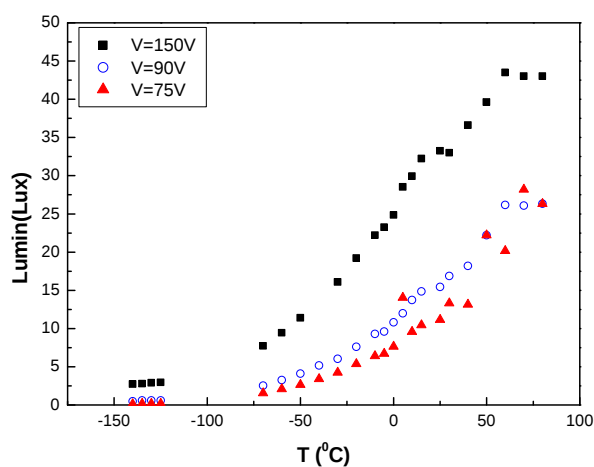
۴- مکانیزم پراکندگی فونونی با افزایش دما، علاوه بر کاهش شدت نور گسیلی، ولتاژ متناظر با بهینه شدت نور گسیلی را نیز کاهش می دهد. زیرا افزایش تعداد فونون ها در دماهای بالاتر سرعت غلبه بر بازترکیب نوری را نیز افزایش می دهد.

۵-۵ تغییرات شدت نور گسیلی قطعه ACPEL بر حسب دما در ولتاژهای متفاوت

در ادامه مطالعات خود به بررسی تغییرات شدت نور گسیلی قطعات ACPEL بر حسب دما می پردازیم. برای انجام این کار از سیستم ساخته شده که در بخش قبل توضیح داده شد استفاده می کنیم. در دماهای مختلف بر حسب ولتاژ عملکرد، شدت نور را اندازه گیری کرده و نتایج را در نمودارهای ۵-۱۲ رسم نموده ایم.



(الف)



(ب)

شکل ۵- ۱۴ نمودار شدت لومینسانس لامپهای DUREL برحسب دما در چندین ولتاژ خاص.

مقایسه شدت نور در ولتاژهای متفاوت نتایج ذیل را به همراه دارد:

۱- شدت نور در دمای تقریبی ۵۰ درجه سانتی گراد به حالت اشباع می‌رسد که این وضعیت مستقل از ولتاژ عملکرد قطعه است.

۲- در هر دمایی با افزایش ولتاژ عملکرد، شدت نور گسیلی افزایش یافته است.

۳- شیب افزایش شدت نور گسیلی در دماهای پایین برای ولتاژهای بالا به صورت خطی با شیب تند، ولی در ولتاژهای پایین به صورت خطی با شیب کند است.

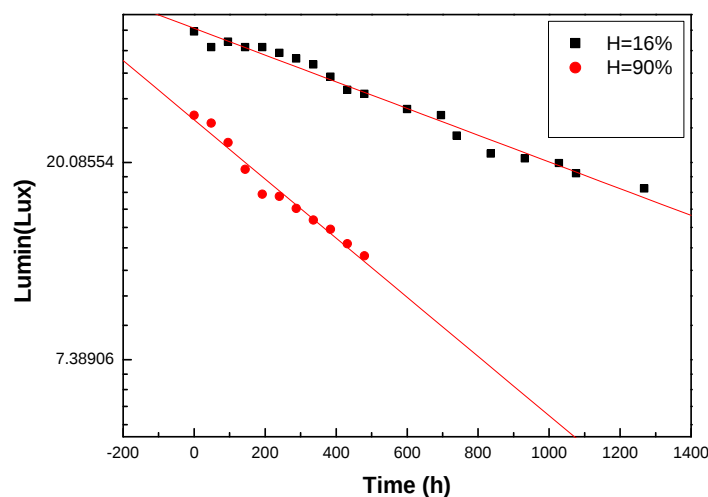
۴- میزان شدت نور گسیلی در ولتاژهای پایین با افزایش دما به حالت اشباع می‌رسد؛ در صورتی که در ولتاژهای بالا با افزایش دما کاهش می‌یابد.

توضیح فیزیکی پدیده‌های فوق عبارت است از:

- ۱- رقابت دو عامل اصلی، یکی در جهت افزایش شدت نور به دلیل ولتاژ و دیگری در جهت کاهش شدت نور به دلیل افزایش دما، با رسیدن به دمای حدود ۵۰ درجه سانتی‌گراد به طور مطلق به نفع عامل دوم خاتمه می‌یابد. به همین دلیل در هر ولتاژی شدت نور گسیلی به وضعیت اشباع خود می‌رسد.
 - ۲- با غالب شدن عامل بازترکیب نوری و افزایش تعداد الکترون‌های نوار رسانش، به دلیل افزایش ولتاژ، بدیهی است که افزایش شدت نور تابع افزایش ولتاژ خواهد بود.
 - ۳- با توجه به اینکه در ولتاژهای بالا و در دماهای پایین شدت نور گسیلی در حدود ۱۰ لوکس یا بالاتر است، در صورتی که برای ولتاژهای پایین میزان شدت نور نزدیک به صفر است، مقایسه شیب تغییرات باید با شدت نور یکسان انجام شود. به عبارت دیگر اگر مقایسه در شدت کمتر از ۱۰ لوکس صورت گیرد، شیب افزایش شدت نور برای ولتاژهای پایین نیز به صورت خطی با شیب کند است و همچنین برای ولتاژهای بالا به صورت خطی با شیب کند است؛ اگر مقایسه را در شدت نور کمتر از ۱۰ لوکس انجام دهیم.
 - ۴- با افزایش ولتاژ، میدان داخل قطعه تقویت شده و الکترون‌هایی که از نوار ظرفیت به نوار رسانش می‌روند، دارای انرژی جنبشی بیشتری نسبت به وضعیتی هستند که ولتاژ عملکرد پایین بوده است. این انرژی جنبشی اضافی در اثر برخوردها و پراکندگی‌ها سبب غلبه بازترکیب‌های غیرنوری به بازترکیب‌های نوری می‌گردد؛ به نحوی که شدت نور گسیلی کاهش می‌یابد. در حالی که در ولتاژهای پایین به دلیل انرژی جنبشی کم الکترون‌ها در نوار رسانش دو مکانیزم توضیح داده شده در بالا با یکدیگر به تعادل می‌رسند و در نتیجه شدت نور گسیلی به حالت اشباع می‌رسد.
- نتیجه حاصل از بند چهارم را می‌توان بدین صورت خلاصه نمود که دمای کار قطعه را کمتر از ۵۰ درجه سانتی‌گراد نگاه داریم و در این صورت با افزایش ولتاژ شدت نور افزایش پیدا خواهد کرد. ولی در صورتی که دمای محیط کار قطعه به بیش از ۵۰ درجه برسد، میزان اتلاف انرژی افزایش پیدا خواهد کرد؛ در نتیجه راندمان قطعه بر حسب Lux/Watt با افزایش ولتاژ کاهش می‌یابد.

۵-۶ رطوبت و طول عمر قطعه الکترولومینسانس

طول عمر عملکرد یک قطعه الکترولومینسانس، طبق تعریف، مدت زمان مورد نیاز برای رسیدن لومینسانس به نیمی از مقدار اولیه خود می باشد. در این بخش با طراحی سیستمی کاملاً ساده شرایط رطوبتی با میزان رطوبت ۹۰٪ ایجاد شده و طول عمر لامپ های DUREL تحت این شرایط در دمای ۵۲ درجه و تحت ولتاژ اعمالی ۱۱۰ V ولت مورد بررسی قرار گرفته است. در همین دما لامپ مشابهی تحت شرایط رطوبتی ۱۶٪ ارزیابی و طول عمر آن محاسبه شده است. نمودارهای حاصل از سنجش های فوق از بستگی شدید طول عمر لامپ به شرایط رطوبتی محیط حکایت دارند؛ همان گونه که انتظار می رود با افزایش رطوبت محیط در اثر یونیزه شدن مولکول های آب در میدان الکتریکی و هیدروژنه شدن فسفر، طول عمر قطعه کاهش می یابد.

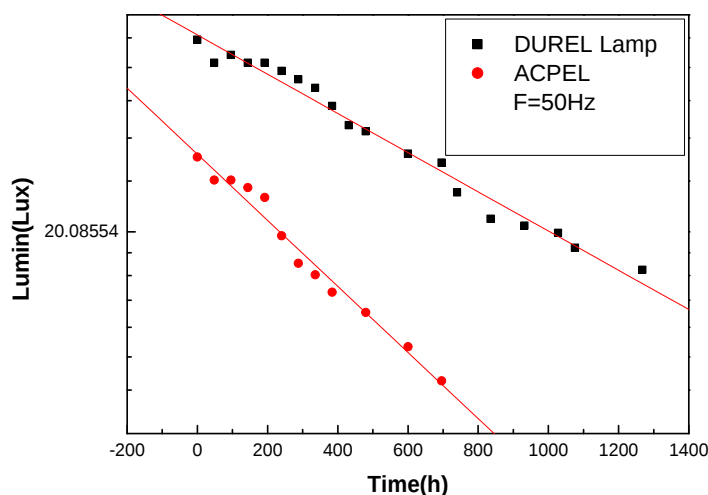


شکل ۵-۱۳ نمودارهای طول عمر عملکرد لامپ های DUREL در شرایط رطوبتی RH ۱۶٪ و RH ۹۰٪ و دمای ۵۲°C.

تقعر منحنی های فوق و شیب افت لومینسانس در هر کدام از نمودارها، رسیدن به این نتیجه که طول عمر زیاد و مطلوب برای این قطعات مستلزم استفاده از آن ها در محیط های خشک می باشد را محرز می نمایند.

۵-۷ مقایسه طول عمر عملکرد لامپ DUREL و قطعه ACPEL ساخته شده

در این بخش از کار، به بررسی طول عمر قطعه ACPEL ساخته شده در این پروژه و لامپ DUREL در فرکانس ۵۰ Hz و ولتاژ ۱۱۰ V پرداخته‌ایم. مقایسه نمودارهای حاصل، طول عمر را برای قطعه ACPEL حدود نصف طول عمر لامپ DUREL نشان می‌دهد.



شکل ۵-۱۴ نمودار طول عمر قطعه ACPEL و لامپ Durel در فرکانس ۵۰ Hz.

۵-۸ نتیجه‌گیری

با توجه به مباحث انجام شده در بخش‌های قبل و نتایج تجربی سنجش‌های انجام شده روی قطعات ACPEL، نتیجه‌گیری کلی کارهای تجربی انجام شده را به صورت زیر خلاصه می‌کنیم:

- ۱- قطعات الکترولومینسانس پودری با موفقیت سنتز شدند و نور گسیلی قطعات ساخته شده در ولتاژ ۲۲۰ ولت و فرکانس ۵۰ هرتز در مقایسه با نمونه DUREL از شرکت ROGERS آمریکا دارای شدتی بیش از ۵۰٪ است.

- ۲- نمونه‌های ساخته شده در ولتاژ و فرکانس برق شهر شدت خوبی را نشان می‌دهند ولی طول عمر آن‌ها در این شرایط محدود است و جهت افزایش طول عمر فرکانس کار را تا حدود ۱۰۰۰ Hz باید افزایش داد.
- ۳- امکان تولید نیمه‌صنعتی این قطعات با توجه به آسانی روش ساخت و هزینه پایین تولید قطعات و نیز گستره وسیع کاربری آن‌ها در صنایع مختلف وجود دارد.
- ۴- با توجه به شرایط محیطی مختلف از نظر دما و رطوبت مطالعات انجام شده نشان می‌دهد که دمای عملکرد قطعه با ولتاژ آن مرتبط بوده و در شرایط معمولی (ولتاژ ۲۲۰ ولت و فرکانس ۵۰ هرتز) حداکثر دمای کارکرد قطعه 70°C می‌باشد.
- ۵- با توجه به حساس بودن پودر لومینسانس به رطوبت و بخار آب در محیط‌های مرطوب و شرجی عمر قطعات در مقایسه با محیط‌های خشک کوتاه‌تر است.
- ۶- جهت افزایش عمر این قطعات استفاده از لایه‌های محافظ در مقابل رطوبت و همچنین کاربری در محیط‌هایی با دمای پایین‌تر از 50°C توصیه می‌شود.
- ۷- استفاده از نانوذرات یا نانوسیم‌های فلزی در افزایش چشم‌گیر شدت نور گسیلی و کاهش ولتاژ کار بسیار موثر است و در این خصوص می‌توان به ساخت قطعات الکترولومینسانسی که با کمک باتری خورشیدی فعال می‌شوند امیدوار بود.

مراجع:

- [١] Philippe F. Smet, Iwan Moreels, Zeger Hens and Dirk Poelman; "Luminescence in Sulfides: A Rich History and a Bright Future"; Materials **2010**, 3, 2834-2883; doi:10.3390/ma3042834.
- [٢] Thornton, W.A. "Electroluminescence in zinc sulfide". Phys. Rev. **1956**, 102, 38-46.
- [٣] Piper, W.W.; Williams, F.E. "Theory of Electroluminescence". Phys. Rev. **1955**, 98, 1809-1813.
- [٤] Kitai, "Luminescent Materials and Applications"© John Wiley & Sons, **2008**, Ltd ISBN: 978-0-470-05818-3.
- [٥] Vecht, A.; Werring, N.J.; Smith, P.J.F. "High-efficiency DC electroluminescence in ZnS:Mn, Cu". J. Phys. D-Appl. Phys. **1968**, 1, 134.
- [٦] Arterton, B., J.W. Brightwell, S. Mason, B. Ray, and I.V.F. Viney. "Impact of Phase Concentrations on Structure and Electroluminescence of ZnS:Cu." Journal of Crystal Growth. 117, **1992**, 1008-1011.
- [٧] Zalm, P. Philips Res. **1956**, Rep. 11: 353.
- [٨] Nicoll, F.H. and Kazan, B. Proc. **1955**, IRE 43: 1012.
- [٩] Bowtell, J.N. and Bate, H.C. Proc. **1956**, IRE 44: 697.
- [١٠] Kazankin, O.N., Pekerman, F.M. and Petoshina, L.M. **1959**, Opt. Spectrosc. 7: 458.
- [١١] Vecht, A. and Ellis, R. Nature. **1966**, 210: 1251.
- [١٢] Vecht, A.J. Vac. Sci. Technol. **1973**, 10(5): 789.
- [١٣] Mayo, J., Hutchinson, P., Hayes, R. and Ellis, R. SID Int. Symp. Digest, **1984**, p. 22.
- [١٤] Kitai, A.H. "Solid State Luminescence", London: Chapman & Hall, **1993**, p. 189.
- [١٥] Chen, F.; Kitai, A.H.; Xiang, Y.W. "Temperature-Dependent Degradation of AC Powder EL"; J. Electrochem. Soc. **2009**, 156, H585-H587.

- [۱۶] Warkentin, M.; Bridges, F.; Carter, S.A.; Anderson, M. "Electroluminescence materials Zn S : Cu,Cl and ZnS : Cu,Mn,Cl studied by EXAFS spectroscopy". Phys. Rev. B **2007**, 75, 075301.
- [۱۷] Bredol, M.; Dieckhoff, H.S. "Materials for Powder-Based AC-Electroluminescence". Materials **2010**, 3, 1353-1374.
- [۱۸] Ono, Y. "Electroluminescent Displays", Series on Information Display, Singapore: World Scientific Publishing Co. **1995**, Pte. Ltd, p. 11.
- [۱۹] Fisher, A.G. J. Electrochem **1963**, Soc. 110(July): 733–48.
- [۲۰] Ono., Y., Shiraga, N., Kadokura, H. and Yamada, K. Electron. Inform. Commun. Eng.,Tech. Rep. **1990**, 89(378).
- [۲۱] Poelman, D.; Vercaemst, R.; Vanmeirhaeghe, R.L.; Laflere, W.H.; Cardon, F. "Effect of Moisture on Performance of SrS:Ce Thin-Film Electroluminescent Devices". Jpn. J. Appl. Phys. Part 1 **1993**, 32, 3477-3480.
- [۲۲] Vecht, A. and Chadha, S.S. "VLSI and Computer Peripherals. VLSI and Microelectronic Applications in Intelligent Peripherals and their Interconnection Networks", CompEuro Proceedings, **1989**, pp. 2–24.
- [۲۳] Dorenbos, P. "Energy of the first $4f(7) \rightarrow 4f(6)5d$ transition of Eu^{2+} in inorganic compounds". J. Lumines. **2003**, 104, 239-260.
- [۲۴] Poort, S.H.M.; Meyerink, A.; Blasse, G. "Lifetime measurements in Eu^{2+} -doped host lattices". J. Phys. Chem. Solids **1997**, 58, 1451-1456.
- [۲۵] Nien, Y.T., Chen, I.G., Hwang, C.S. and Chu, W.Y. J. Electroceram, **17**, **2006**, 299–303.
- [۲۶] F. J. Rizzo and D. J. Shippy, "An Advanced Boundary Integral Equation Method for Three-Dimensional Thermoelasticity". Int. J. Appl. Mech., Vol. 11, **1977**, pp.1753–1790.
- [۲۷] D.aBeaglehole and M. De Crescenzi, M. L. Theye and G.Vuye; Phys.Rev.B 19, **1979**, 6303–6314.
- [۲۸] تحلیل اجزاء محدود، تألیف جی. ای. اکین. ترجمه دکتر مسعود مفید و دکتر ابوالحسن وفايي، انتشارات دانشگاه صنعتی شریف.
- [۲۹] D.Beaglehole and M.De Crescenzi, M.L. Thrye and G. Vuye; Phys.Rev.B19, **1979**, 6303-6314.

پیوست

۱- کواهی ثبت اختراع

۲- مقاله پذیرفته شده در کنفرانس بین المللی علوم و فناوری نانو شیراز

۳- مقاله ارسالی به کنفرانس بین المللی نانو تکنولوژی مجارستان

The role of the nano particles size on the electronluminescent devices driving voltage

Z. Azadviri, H.Haratizadeh

Department of physics, Shahrood university of technology, 3619995161, Shahrood, Iran.

Azadvaryzahra@yahoo.com

The development of AC powder electroluminescent (ACPEL) devices containing phosphor powders by metal nano particles is reported in this paper. In the synthesis of these devices ZnS powder which is activated by a proper dopant like Cu, Cl, and Al, is used; these dopants are colour transformers. Performance of ACPEL devices have been modified by using metal nano particles (Cu in average size of 25nm) and Indium nano wires (100nm in diameter). The structure contains a single layer of ZnS:Cu, Al (Cl) powder phosphor which is embeded in a ITO matrix with one surface exposed. A layer of conductive nanostructures directly contacts the phosphor layer. A highly intensified electric field can be induced in the phosphor region by the metal nanostructures if a spesific voltage is applied to the device [1]. The Schematic diagram of the fabricatad device is shown in Fig.1.

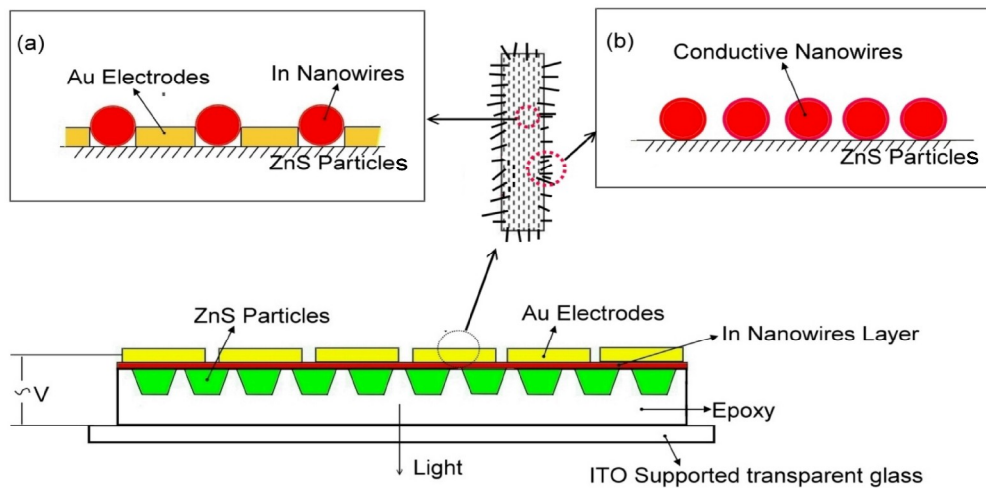


Figure 1. Proposed nanostructured contact powder EL device.

In this paper, light emission intensity has been investigated by variation of the applied voltage and temperature. Reasonable efficiency, high stability, easy and economical fabrication method makes these devices a good choice for mass production. The brightest EL is offered by ZnS-based electroluminophors, which are widely used in electron-beam tubes, optical integrators, EL display panels, light sources, optical amplifiers, backlights, propagating signs and other devices [2].

In the first part of our experiment, we developed an ACPEL device. A glass substrate coated with an ITO layer, including a BaTiO₃ insulating layer as a dielectric (Dupont Luxprint®) was deposited on the ITO substrate by the trundling method, ZnS:Cu (approximately 10 microns in diameter) and Cu nano particles that sputtered on the insulating layer by a scalp (Mesh#400), Indium nano wires, a homemade voltage source (0-300V and 50Hz) and a LX-1108 Lutron Luxmeter was incorporated in the experiment. Several devices were fabricated by this method, show a strong and uniform optical emission intensity (130 Lux) with blue and green colours which is 50% stronger than the DREL lamps (95 Lux) at 50Hz and 220V driving voltage (Fig.2).

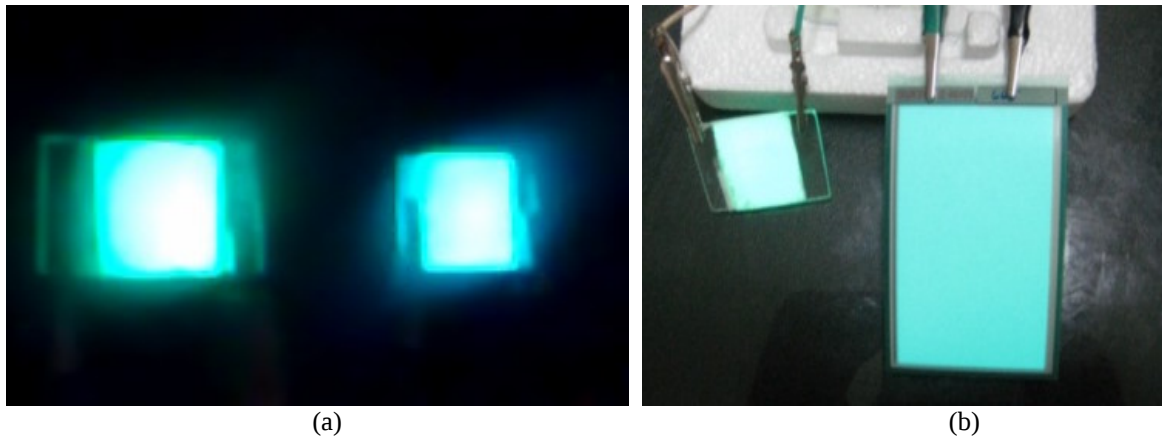


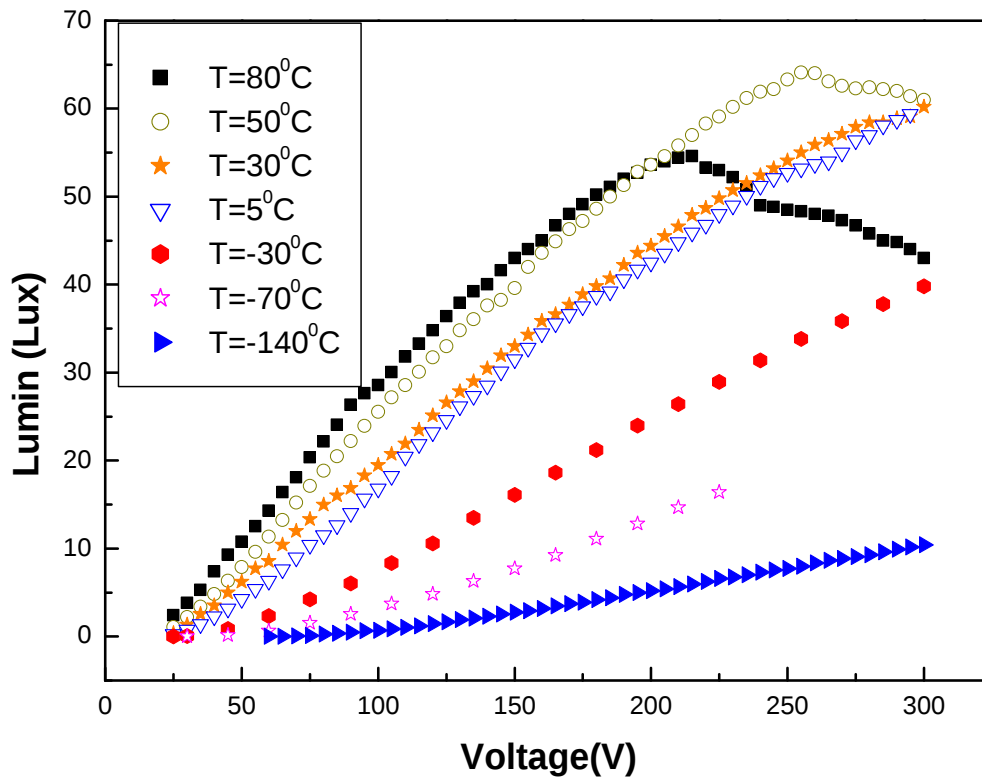
Figure2.(a) fabricated devices with blue and green colours.

(b) A modified ACPEL device (left side) Compared to a mass produced DREL lamp (right side).

The conductive nanostructures can induce a highly intensified electric field and hence generate more electron injection and finally cause avalanching phenomena in the phosphor. Therefore, low average fields that are easy to produce can generate luminescent. NCPEL (Nano Contact Powder Electroluminescent) devices have the potential for a lower operating voltage with simultaneous long lifetime and high luminance. Using smaller metal nanostructures and thinner layer of them causes lower threshold voltage (V_{th}) and luminescent with higher intensity

and uniform state. For example V_{th} is 60V and 55V for metal particles in 1micron and 25nm size and is 55V and 75V for thin and thick layer (25nm in diameter) respectively.

In the second part of our this paper, we studied a premade ACPEL device (DREL lamp from ROGERS Co.) by relating the ambience temperature to emission intensity of device. First, a DREL lamp was placed at different temperatures from liquid Nitrogen temperature up to 80°C. Fig.3 shows the variation of optical emission intensity v.s the applied voltage at different temperatures. It can be seen that threshold voltage decreases by increasing temperature which is attributed to the band gap reduction due to the increasing the temperature. EL originates from electrons absorbing energy from the electric field (at very low temperature) but they obtain a part of the excitation energy from the ambience at higher temperatures. The curves show that when the EL lamp is activated in elevated temperatures around 50°C, the optical intensity is saturated at a specific voltage due to the domination of non radiative recombination processes. Increasing temperature caused reduction in maximum luminescent and its voltage, because the phonon diffraction decreases luminescent rapidly.



F.g.3. Changes of intensity versus voltage in various temperature's diagrams.

References:

- [1] F. Chen, "PhD Thesis", McMaster-Materials Science and Engineering.
- [2] M. F. Bulanyi, A. V. Kovalenko, and B. A. Polezhaev., Received November 22, 2001; in final form, April 12, 2002.

Abstract

Electroluminescence (EL) is a non-thermal emission of visible light from a crystal (or a system of microcrystals) as a result of current flow or the application of an electric field. Theoretically, the EL of inorganic materials is classified into the two groups: injection EL and high field EL. The high-field EL can be further grouped into different types in terms of the phosphors (powders vs. thin film) and of the driving voltage (DC vs. AC). Due to the requirements for various applications, injection EL, (high intensity lighting-emitting diodes (LEDs), for example,) have a wide application in LCD backlighting and are entering the lighting market. Powder EL has long been used in nightlights and illumination panels since the middle of the last century. Reasonable efficiency, high stability, easy and economical fabrication method makes these devices a good choice for mass production. By using metal nanoparticles (Cu) and nanowires (Indium), a novel ACPEL device has been developed in this thesis. The novel structure contains a single layer of ZnS:Cu,Al(Cl) powder phosphor which is embedded in a ITO matrix with one surface exposed. A layer of conductive nanostructures directly contacts the phosphor layer. A highly intensified electric field can be induced in the phosphor region by the metal nanostructures if a specific voltage is applied to the device. In the first part of our experiment, we developed an ACPEL device. A glass substrate coated with an ITO layer, including a BaTiO₃ insulating layer as a dielectric (Dupont Luxprint®) was deposited on the ITO substrate by the trundling method, ZnS:Cu (approximately 10 microns in diameter) and Cu nanoparticles that sputtered on the insulating layer by a scalp (Mesh#400), Indium nanowires, a homemade voltage source (0-300V and 50Hz) and a LX-1108 Lutron Luxmeter was incorporated in the experiment. Several devices were fabricated by this method, show a strong and uniform optical emission intensity (130 Lux) with blue and green colours which is 50% stronger than the DREL lamps (95 Lux) at 50Hz and 220V driving voltage. Simulations of electric field by using software package (FlexPDE) show that the localized electric field can be at higher than the average field depending on the dimensions of the nanoparticles and nanowires. NCPEL (Nano Contact Powder Electroluminescent) devices have the potential for a lower operating voltage with simultaneous long lifetime and high luminance. Using smaller metal nanostructures and thinner layer of them causes lower threshold voltage (V_{th}) and luminescent with higher intensity and uniform state. In the second part of our this paper, we studied a premade ACPEL device (DREL lamp from

ROGERS Co.) by relating the ambience temperature to emission intensity of device. First, a DREL lamp was placed at different temperatures from liquid Nitrogen temperature up to 80°C. In order to investigate the effect of circumstances on the lifetimes, the DUREL lamps are studied in 90% and 16% humidity.



Shahrood University of Technology

Physics Department

Master of Science Thesis

In

Solid State Physics

**The Role of The Nano Particles Size on The
Electroluminescent Device Driving Voltage**

By:

Zahra Azadvari

Supervisor:

Dr. Hamid Haratizade

Adviser:

Mr. Masood Bezi Javan

Jan-2011

This document was created with Win2PDF available at <http://www.daneprairie.com>.
The unregistered version of Win2PDF is for evaluation or non-commercial use only.