

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ



دانشکده : فیزیک

گروه : فیزیک ماده چگال

بررسی خواص ترابرد در لایه های نازک منگنایت

دانشجو: نفیسه بیاری

استاد راهنما :

دکتر محمد ابراهیم قاضی

استاد مشاور :

دکتر مرتضی ایزدی فرد

پایان نامه ارشد جهت اخذ درجه کارشناسی ارشد

دی سال ۱۳۸۷

دانشجو تأیید می نماید که مطالب مندرج در این پایان نامه نتیجه تحقیقات خودش می باشد و در صورت استفاده از نتایج دیگران مرجع آن را ذکر نموده است.

کلیه حقوق مادی مترتب از نتایج مطالعات ، آزمایشات و نوآوری ناشی از تحقیق موضوع این پایان نامه متعلق به دانشگاه صنعتی شاهرود می باشد .

۲۲ دی ماه سال ۱۳۸۷

چکیده :

مطالعه خواص الکتریکی و مغناطیسی منگنایت ها بعد از کشف پدیده CMR مورد توجه زیادی قرار گرفته است. در این پروژه به بررسی مطالعه مکانیزم ترابرد الکتریکی در لایه های نازک منگنایت می پردازیم و بدین منظور لایه های نازکی از $La_{0.67}Ca_{0.33}MnO_3$ با ضخامت های ۴/۵، ۷، ۱۲ و ۳۷ نانومتر مورد بررسی قرار گرفت. رفتار دمایی مقاومت را در بازه دمایی بالای T_C و زیر آن را با مدل های تئوری ارائه شده مورد برازش قرار دادیم و برای هر ضخامت از روی بهترین مدلی که با داده های تجربی منطبق می شود، چگالی حالات، طول جایگزیدگی، انرژی فعال سازی، مقاومت باقی مانده و... را محاسبه نمودیم و با در نظر گرفتن اثرات کرنش لایه و زیر لایه به تفسیر این رفتار پرداختیم.

کلمات کلیدی : منگنایت، لایه نازک، خواص ترابرد، ضخامت لایه

Biari N., Ghazi M. E., Izadifard, M. Studying the electrical transport mechanism of $\text{La}_{0.67}\text{Ca}_{0.33}\text{MnO}_3$ thin film Department of physic, Shahrood University of Technology, *3 Feb 2009*

فهرست

عنوان	صفحه
فصل اول مقدمه ای بر مگنایت.....	۱
۱-۱ مگنایت ها.....	۲
۲-۱ تاریخچه مگنایت ها.....	۵
۳-۱ خواص مگنایت ها.....	۷
۴-۱ ساختار الکترونی.....	۹
۵-۱ مکانیزم ها.....	۱۰
۱-۵-۱ مکانیزم تبادل دو گانه.....	۱۱
۲-۵-۱ مکانیزم یان - تلر.....	۱۲
۳-۵-۱ نظم بار.....	۱۳
۶-۱ دیاگرام فاز.....	۱۴
فصل دوم بررسی خواص ترابرد الکتریکی و مغناطیسی $La_{0.7}Ca_{0.3}MnO_3$	۱۶
۱-۲ ساختار LCMO.....	۱۷
۲-۲ دیاگرام فاز.....	۱۷
۳-۲ بررسی ترابرد الکتریکی $La_{0.7}Ca_{0.3}MnO_3$ در حالت حجمی.....	۱۹
۴-۲ بررسی ترابرد الکتریکی $La_{0.7}Ca_{0.3}MnO_3$ در حالت لایه نازک.....	۲۳
۴-۲-۱ مقایسه بین مقاومت الکتریکی در حالت حجمی و لایه نازک.....	۲۸
۵-۲ بررسی خواص مغناطیسی $La_{0.7}Ca_{0.3}MnO_3$ در حالت حجمی و لایه نازک.....	۲۹
۵-۲-۱ مقایسه بین مغناطیدگی در حالت حجمی و لایه نازک.....	۳۱
۶-۲ بررسی اثر ضخامت فیلم روی خواص ترابرد.....	۳۱
۷-۲ نتیجه گیری.....	۳۳
فصل سوم بررسی روابط تئوری ترابرد الکتریکی در ناحیه های فرومغناطیس و پارامغناطیس.....	۳۵

.....مقدمه	۱-۳	۳۶
.....ناحیه ی فرو مغناطیس ($T < T_c$)	۲-۳	۳۶
.....ناحیه میانی فرومغناطیس فلزی- پارا مغناطیس عایق	۳-۳	۴۴
.....ناحیه پارا مغناطیس ($T > T_c$)	۴-۳	۴۵
.....قانون آرنیوس	۱-۴-۳	۴۵
.....مدل جهش پلارون های کوچک در نزدیک ترین همسایه ها (پلارون های هولتین)	۲-۴-۳	۴۷
.....مدل جهش با دامنه متغیر (VRH)	۳-۴-۳	۴۸
فصل چهارم بررسی ترابرد الکتریکی نمونه $La_{0.67}Ca_{0.33}MnO_3$ با ضخامت های		
.....(۳۷، ۱۲، ۷، ۴/۵ nm)		۵۲
.....مقدمه	۱-۴	۵۳
..... $La_{0.67}Ca_{0.33}MnO_3$ نمونه	۲-۴ بررسی	۵۳
.....الکتریکی	ترابرد	۵۳
.....بررسی روابط حاکم بر ترابرد الکتریکی در ناحیه فرومغناطیس فلزی ($T < T_c$)	۳-۴	۵۴
.....بررسی روابط حاکم بر ترابرد الکتریکی در ناحیه پارا مغناطیس عایق ($T > T_c$)	۴-۴	۷۵
.....بررسی روابط حاکم بر ترابرد الکتریکی در ناحیه دمای میانی (مخلوط فازی فرو مغناطیس فلزی	۵-۴	
.....پارا مغناطیس عایق)	—	۹۶
.....نتیجه گیری	۶-۴	۹۹

.....مراجع

١٠١

شکل ها

فصل اول

شکل ۱-۱ نمایشی از سلول واحد ساختار یک پروسکایت.....
۲

شکل ۲-۱ نمایشی از ساختار پروسکایتی با گروه فضایی pnma..... 3

شکل ۳-۱ ساختارهای پروسکایتی [a] لوزی رخ و [b] راست گوشه.....
۴

شکل ۴-۱ نمایش تک یون ۳d در یون های Mn^{+2} , Mn^{+3} , Mn^{+4} در ساختار منگنیت.....
۱۰

شکل ۵-۱ شکافتگی ترازهای ۳d با تبهگنی پنج گانه به ترازهای پایین تر t_{2g} و بالاتر e_g
۱۱

شکل ۶-۱ مکانیزم تبادل دو گانه (شامل دو اتم منگنز و یک اتم اکسیژن).....
۱۱

شکل ۷-۱ نمایشی از مدل تبادل دو گانه، θ زاویه بین گشتاور های مغناطیسی.....
۱۲

شکل ۸-۱ شکافتگی تراز های ۳d در اثر میدان کریستالی و یان-تیلر.....
۱۳

شکل ۹-۱ دیاگرام پهنای باند برحسب غلظت حفره در حالت پایه $R_x A_{1-x} MnO_3$
۱۴

شکل ۱۰-۱ نمایشی از دیاگرام فاز.....
۱۵

فصل دوم

شکل ۱-۲ نمایشی از ساختار $Ln_{1-x} Ca_x MnO_3$
۱۷

شکل ۲-۲ نمایش فازهای مختلف $Ln_{1-x} Ca_x MnO_3$
۱۸

شکل ۳-۲ دیاگرام فاز مغناطیسی $Ln_{1-x} Ca_x MnO_3$
۱۹

شکل ۲-۴ مقاومت الکتریکی بر حسب دما در یک نمونه تک بلور $La_{0.7}Ca_{0.3}MnO_3$
۲۰

شکل ۲-۵ مقاومت مغناطیسی بر حسب دما در یک نمونه تک بلور $La_{0.7}Ca_{0.3}MnO_3$
۲۰

شکل ۲-۶ مقاومت ویژه بر حسب دما در یک نمونه بس بلور $La_{0.7}Ca_{0.3}MnO_3$ با ابعاد دانه مختلف
۲۱

شکل ۲-۷ مقاومت مغناطیسی بر حسب دما و میدان مغناطیسی در یک نمونه بس بلور

..... $La_{0.7}Ca_{0.3}MnO_3$ با ابعاد دانه مختلف
۲۲

شکل ۲-۸ نمایشی از دستگاه PLD
۲۴

شکل ۲-۹ تغییر ساختار کریستالی در اثر کرنش کششی
۲۴

شکل ۲-۱۰ نمایشی از تغییر سلول شبکه در یک فیلم تنش یافت (a) تحت کرنش کششی (b) تحت کرنش تراکمی
۲۵

شکل ۲-۱۱ انطباق مقاومت در ترکیب $La_{0.7}Ca_{0.3}MnO_3$ (PCSO) و برازش آن با رابطه

..... $\rho(T) = \rho_0 + AT^\alpha$ با $\alpha = 2.53$
۲۶

شکل ۲-۱۲ منحنی مقاومت بر حسب دما در محدوده ۲۰-۳۰۰ K
۲۷

شکل ۲-۱۳ مقاومت بر حسب دما در میدان های مغناطیسی ۱-۰ T
۲۷

شکل ۲-۱۴ مقاومت بر حسب دما تک بلور و لایه نازک
۲۸

شکل ۲-۱۵ وابستگی دمایی مغناطیدگی ترکیب $La_{0.7}Ca_{0.3}MnO_3$ در حالت حجمی
۲۹

شکل ۲-۱۶ مغناطیدگی بر حسب دما ترکیب $La_{0.7}Ca_{0.3}MnO_3$ در حالت لایه نازک روی

.....MgO.STO، LAO زیر لایه های
۳۰

..... شکل ۱۷-۲ مغناطیدگی بر حسب دما در میدان های مغناطیسی ۰-۶۰ T
۳۰

..... شکل ۱۸-۲ مغناطیدگی بر حسب دما (a) حالت حجمی و (b) لایه نازک (c) حالت حجمی و لایه نازک
در حضور میدان مغناطیسی $H = 6 \text{ KOe}$
۳۱

..... شکل ۱۹-۲ مقاومت بر حسب دما در ضخامتهای ۲ nm و ۳/۵ و ۶/۲ و ۸/۴ و ۱۶/۵
۳۲

..... شکل ۲۰-۲ دماهای T_C ، T_{MI} بر حسب ضخامت در زیر لایه های LAO, NGO, STO
۳۲

فصل سوم

..... شکل ۱-۳ مقاومت بر حسب مجذور دما در فیلم های LCMO, LSMO با غلظت ۰,۳۳٪
۳۷

..... شکل ۲-۳ منحنی f بر حسب دما ترکیب LCMO
۴۵

فصل چهارم

..... شکل ۱-۴ نمودار تجربی مقاومت الکتریکی بر حسب دما مربوط به نمونه $La_{0.67}Ca_{0.33}MnO_3$ در
ضخامت های از بالا به پایین ۴/۵ و ۶/۵ و ۸/۹ و ۱۲ و ۳۷ نانومتری روی زیر لایه $SrLaAlO_4$
۵۴

..... شکل ۲-۴ منحنی مقاومت ویژه بر حسب مجذور دما نمونه $La_{0.67}Ca_{0.33}MnO_3$ با ضخامت ۴/۵ nm
در ناحیه فرومغناطیس. خط پر نشانگر نتیجه برازش رابطه (۴-۱) با داده های تجربی می باشد
۵۶

..... شکل ۳-۴ منحنی مقاومت ویژه بر حسب دما نمونه $La_{0.67}Ca_{0.33}MnO_3$ با ضخامت ۴/۵ nm در
ناحیه فرومغناطیس. خط پر نشانگر بهترین نتیجه برازش داده های تجربی با رابطه (۴-۲) می باشد
۵۷

..... شکل ۴-۴ منحنی مقاومت ویژه بر حسب $T^{4/5}$ نمونه $La_{0.67}Ca_{0.33}MnO_3$ با ضخامت ۴/۵ nm

در ناحیه فرومغناطیس. خط پر نتیجه حاصل از برازش داده های تجربی با رابطه (۳-۴) می باشد.....
۵۸

شکل ۴-۵- منحنی مقاومت ویژه بر حسب دما نمونه $La_{0.67}Ca_{0.33}MnO_3$ با ضخامت ۴/۵ nm در ناحیه فرومغناطیس. خط پر نتیجه حاصل از برازش داده های تجربی با رابطه (۴-۴) می باشد.....
۵۹

شکل ۴-۶- منحنی مقاومت ویژه بر حسب دما نمونه $La_{0.67}Ca_{0.33}MnO_3$ با ضخامت ۷ nm در ناحیه فرومغناطیس. خط پر نشانگر نتیجه برازش داده های تجربی با رابطه (۱-۴) می باشد.....
۶۰

شکل ۴-۷- منحنی مقاومت ویژه بر حسب دما نمونه $La_{0.67}Ca_{0.33}MnO_3$ با ضخامت ۷ nm در ناحیه فرومغناطیس. خط پر نشانگر نتیجه برازش داده های تجربی با رابطه (۲-۴) می باشد.....
۶۱

شکل ۴-۸- منحنی مقاومت ویژه بر حسب $T^{4/5}$ نمونه $La_{0.67}Ca_{0.33}MnO_3$ با ضخامت ۷ nm در ناحیه فرومغناطیس. خط پر نشانگر نتیجه برازش داده های تجربی با رابطه (۳-۴) می باشد.....
۶۲

شکل ۴-۹- منحنی مقاومت ویژه بر حسب دما نمونه $La_{0.67}Ca_{0.33}MnO_3$ با ضخامت ۷ nm در ناحیه فرومغناطیس. خط پر نشانگر نتیجه برازش داده های تجربی با رابطه (۴-۴) می باشد.....
۶۳

شکل ۴-۱۰- منحنی مقاومت ویژه بر حسب مجذور دما نمونه $La_{0.67}Ca_{0.33}MnO_3$ با ضخامت ۱۲nm در ناحیه فرومغناطیس. خط پر نشانگر نتیجه برازش داده های تجربی با رابطه (۱-۴) می باشد.....
۶۴

شکل ۴-۱۱- منحنی مقاومت ویژه بر حسب دما نمونه $La_{0.67}Ca_{0.33}MnO_3$ با ضخامت ۱۲nm در ناحیه فرومغناطیس. خط پر نشانگر نتیجه برازش داده های تجربی با رابطه (۲-۴) می باشد.....
۶۵

شکل ۴-۱۲- منحنی مقاومت ویژه بر حسب $T^{4/5}$ نمونه $La_{0.67}Ca_{0.33}MnO_3$ با ضخامت ۱۲nm در ناحیه فرومغناطیس. خط پر نشانگر نتیجه برازش داده های تجربی با رابطه (۳-۴) می باشد.....
۶۶

شکل ۴-۱۳ منحنی مقاومت ویژه بر حسب دما نمونه $La_{0.67}Ca_{0.33}MnO_3$ با ضخامت ۱۲nm در ناحیه فرومغناطیس. خط پر نشانگر نتیجه برازش داده های تجربی با رابطه (۴-۴) می باشد
۶۷

شکل ۴-۱۴ منحنی مقاومت ویژه بر حسب مجذور دما نمونه $La_{0.67}Ca_{0.33}MnO_3$ با ضخامت ۳۷nm در ناحیه فرومغناطیس. خط پر نشانگر نتیجه برازش داده های تجربی با رابطه (۱-۴) می باشد
۶۸

شکل ۴-۱۵ منحنی مقاومت ویژه بر حسب دما نمونه $La_{0.67}Ca_{0.33}MnO_3$ با ضخامت ۳۷nm در ناحیه فرومغناطیس. خط پر نشانگر نتیجه برازش داده های تجربی با رابطه (۲-۴) می باشد
۶۹

شکل ۴-۱۶ منحنی مقاومت ویژه بر حسب $T^{4/5}$ نمونه $La_{0.67}Ca_{0.33}MnO_3$ با ضخامت ۳۷nm در ناحیه فرومغناطیس. خط پر نشانگر نتیجه برازش داده های تجربی با رابطه (۳-۴) می باشد
۷۰

شکل ۴-۱۷ منحنی مقاومت ویژه بر حسب دما نمونه $La_{0.67}Ca_{0.33}MnO_3$ با ضخامت ۳۷nm در ناحیه فرومغناطیس. خط پر نشانگر نتیجه برازش داده های تجربی با رابطه (۴-۴) می باشد
۷۱

شکل ۴-۱۸ منحنی تغییرات $Ln(\rho)$ بر حسب $T^{-0.25}$ نمونه $La_{0.67}Ca_{0.33}MnO_3$ با ضخامت ۴/۵nm در ناحیه پارامغناطیس خط پر نشانگر نتیجه برازش داده های تجربی با رابطه (۸-۴) می باشد
۷۷

شکل ۴-۱۹ منحنی تغییرات $Ln\left(\frac{\rho}{T}\right)$ بر حسب $1000/T$ نمونه $La_{0.67}Ca_{0.33}MnO_3$ با ضخامت ۴/۵nm در ناحیه پارامغناطیس خط پر نشانگر نتیجه برازش داده های تجربی با رابطه (۶-۴) می باشد
۷۸

شکل ۴-۲۰ منحنی $Ln\left(\frac{\rho}{T^{\frac{3}{2}}}\right)$ بر حسب $1000/T$ نمونه $La_{0.67}Ca_{0.33}MnO_3$ با ضخامت ۴/۵nm در ناحیه پارامغناطیس خط پر نشانگر نتیجه برازش داده های تجربی با رابطه (۷-۴) می باشد
۷۹

شکل ۴-۲۱ منحنی تغییرات $Ln(\rho)$ بر حسب $1000/T$ نمونه $La_{0.67}Ca_{0.33}MnO_3$ با ضخامت ۴/۵nm در ناحیه پارامغناطیس خط پر نشانگر نتیجه برازش داده های تجربی با رابطه (۵-۴) می باشد
۸۱

شکل ۴-۲۲ منحنی تغییرات $Ln(\rho)$ بر حسب $T^{-0.25}$ نمونه $La_{0.67}Ca_{0.33}MnO_3$ با ضخامت ۷nm

در ناحیه پارامغناطیس خط پر نشانگر نتیجه برازش داده های تجربی با رابطه (۴-۸) می باشد.....
۸۲

شکل ۴-۲۳ منحنی تغییرات $\ln\left(\frac{\rho}{T}\right)$ بر حسب $1000/T$ نمونه $La_{0.67}Ca_{0.33}MnO_3$ با ضخامت ۷nm در ناحیه پارامغناطیس خط پر نشانگر نتیجه برازش داده های تجربی با رابطه (۴-۶) می باشد.....
۸۳

شکل ۴-۲۴ منحنی $\ln\left(\frac{\rho}{T^{\frac{3}{2}}}\right)$ بر حسب $1000/T$ نمونه $La_{0.67}Ca_{0.33}MnO_3$ با ضخامت ۷nm در ناحیه پارامغناطیس خط پر نشانگر نتیجه برازش داده های تجربی با رابطه (۴-۷) می باشد.....
۸۴

شکل ۴-۲۵ منحنی تغییرات $\ln(\rho)$ بر حسب $1000/T$ نمونه $La_{0.67}Ca_{0.33}MnO_3$ با ضخامت ۷nm در ناحیه پارامغناطیس خط پر نشانگر نتیجه برازش داده های تجربی با رابطه (۴-۵) می باشد.....
۸۵

شکل ۴-۲۶ منحنی تغییرات $\ln(\rho)$ بر حسب $T^{-0.25}$ نمونه $La_{0.67}Ca_{0.33}MnO_3$ با ضخامت ۱۲nm در ناحیه پارامغناطیس خط پر نشانگر نتیجه برازش داده های تجربی با رابطه (۴-۸) می باشد.....
۸۶

شکل ۴-۲۷ منحنی تغییرات $\ln\left(\frac{\rho}{T}\right)$ بر حسب $1000/T$ نمونه $La_{0.67}Ca_{0.33}MnO_3$ با ضخامت ۱۲nm در ناحیه پارامغناطیس خط پر نشانگر نتیجه برازش داده های تجربی با رابطه (۴-۶) می باشد.....
۸۷

شکل ۴-۲۸ منحنی $\ln\left(\frac{\rho}{T^{\frac{3}{2}}}\right)$ بر حسب $1000/T$ نمونه $La_{0.67}Ca_{0.33}MnO_3$ با ضخامت ۱۲nm در ناحیه پارامغناطیس خط پر نشانگر نتیجه برازش داده های تجربی با رابطه (۴-۷) می باشد.....
۸۸

شکل ۴-۲۹ منحنی تغییرات $\ln(\rho)$ بر حسب $1000/T$ نمونه $La_{0.67}Ca_{0.33}MnO_3$ با ضخامت ۱۲nm در ناحیه پارامغناطیس خط پر نشانگر نتیجه برازش داده های تجربی با رابطه (۴-۵) می باشد.....
۸۹

شکل ۴-۳۰ منحنی تغییرات $\ln(\rho)$ بر حسب $T^{-0.25}$ نمونه $La_{0.67}Ca_{0.33}MnO_3$ با ضخامت ۳۷nm

در ناحیه پارامغناطیس خط پر نشانگر نتیجه برازش داده های تجربی با رابطه (۸-۴) می باشد
۹۰

شکل ۳۱-۴ منحنی تغییرات $\ln\left(\frac{\rho}{T}\right)$ بر حسب $1000/T$ نمونه $La_{0.67}Ca_{0.33}MnO_3$ با ضخامت ۳۷nm

در ناحیه پارامغناطیس خط پر نشانگر نتیجه برازش داده های تجربی با رابطه (۶-۴) می باشد
۹۱

شکل ۳۲-۴ منحنی $\ln\left(\frac{\rho}{T^{\frac{3}{2}}}\right)$ بر حسب $1000/T$ نمونه $La_{0.67}Ca_{0.33}MnO_3$ با ضخامت ۳۷nm

در ناحیه پارامغناطیس خط پر نشانگر نتیجه برازش داده های تجربی با رابطه (۷-۴) می باشد ۹۲

شکل ۳۳-۴ منحنی تغییرات $\ln(\rho)$ بر حسب $1000/T$ نمونه $La_{0.67}Ca_{0.33}MnO_3$ با ضخامت ۳۷nm

در ناحیه پارامغناطیس خط پر نشانگر نتیجه برازش داده های تجربی با رابطه (۵-۴) می باشد
۹۳

شکل ۳۴-۴ منحنی تغییرات طول جایگزیدگی E بر حسب ضخامت L نمونه $La_{0.67}Ca_{0.33}MnO_3$

در ضخامت های لایه ۳۷ و ۱۲ و ۷ و ۴ و ۵ nm
۹۴

شکل ۳۵-۴ منحنی تغییرات انرژی فعال سازی E_a بر حسب ضخامت T_{MI} نمونه $La_{0.67}Ca_{0.33}MnO_3$

در ضخامت های لایه ۳۷ و ۱۲ و ۷ و ۴ و ۵ nm
۹۵

شکل ۳۶-۴ منحنی مقاومت ویژه بر حسب دما نمونه $La_{0.67}Ca_{0.33}MnO_3$ با ضخامت ۱۲ nm در

ناحیه میانی. خط پر نشانگر نتیجه برازش داده های تجربی با رابطه (۹-۴) می باشد
۹۷

شکل ۳۷-۴ منحنی مقاومت ویژه بر حسب دما نمونه $La_{0.67}Ca_{0.33}MnO_3$ با ضخامت ۳۷ nm در

ناحیه میانی خط پر نشانگر نتیجه برازش داده های تجربی با رابطه (۹-۴) می باشد
۹۸

جداول

فصل دوم

جدول ۱-۲ مقایسه ای بین دماهای گذار در ترکیب $La_{0.7}Ca_{0.3}MnO_3$ در حالت حجمی ولایه نازک.....
۲۸

جدول ۲-۲ مقایسه ای از پارامترهای وابسته به ضخامت، نعدادی ترکیبات مانند LCMO

..... LSMO, LBMو با غلظت $x=0/3$
۳۳

فصل سوم

جدول ۱-۳ مقدار γ و چگالی حالتها ی ترکیب LCMO با غلظت های $0/2$ و $0/33$ و $X=0/33$
۳۹

جدول ۲-۳ ضرایب B , A , از جمله های $(\hbar\omega_\alpha/2K_B T)^2 / \sinh^2$, به ترتیب برای نمونه های

..... NSMO, LCMO
۴۴

فصل چهارم

جدول ۱-۴ بهترین نتایج به دست آمده از برازش نتایج تجربی با رابطه (۱-۴) نمونه $La_{0.67}Ca_{0.33}MnO_3$ در

..... ضخامت لایه $4/5$ nm
۵۶

جدول ۲-۴ نتایج به دست آمده از برازش نتایج تجربی با رابطه (۲-۴) نمونه $La_{0.67}Ca_{0.33}MnO_3$ با ضخامت

..... لایه $4/5$ nm
۵۷

جدول ۳-۴ نتایج به دست آمده از برازش داده های تجربی با رابطه (۳-۴) نمونه $La_{0.67}Ca_{0.33}MnO_3$ با

..... ضخامت لایه $4/5$ nm
۵۸

جدول ۴-۴ نتایج به دست آمده از برازش داده های تجربی رابطه (۴-۴) نمونه $La_{0.67}Ca_{0.33}MnO_3$ با

.....ضخامت لایه ۴/۵ nm	۵۹
جدول ۵-۴ نتایج به دست آمده از برازش نتایج تجربی با رابطه (۱-۴) نمونه $La_{0.67}Ca_{0.33}MnO_3$ با	
.....ضخامت لایه ۷ nm	۶۰
جدول ۶-۴ نتایج به دست آمده از برازش نتایج تجربی با رابطه (۲-۴) نمونه $La_{0.67}Ca_{0.33}MnO_3$ با	
.....ضخامت لایه ۷ nm	۶۱
جدول ۷-۴ نتایج به دست آمده از برازش نتایج تجربی با رابطه (۳-۴) نمونه $La_{0.67}Ca_{0.33}MnO_3$ با	
.....ضخامت لایه ۷ nm	۶۲
جدول ۸-۴ نتایج به دست آمده از برازش نتایج تجربی با رابطه (۴-۴) نمونه $La_{0.67}Ca_{0.33}MnO_3$ با	
.....ضخامت لایه ۷ nm	۶۳
جدول ۹-۴ نتایج به دست آمده از برازش نتایج تجربی با رابطه (۱-۴) نمونه $La_{0.67}Ca_{0.33}MnO_3$ با	
.....ضخامت لایه ۱۲ nm	۶۴
جدول ۱۰-۴ نتایج به دست آمده از برازش نتایج تجربی با رابطه (۲-۴) نمونه $La_{0.67}Ca_{0.33}MnO_3$ با	
.....ضخامت لایه ۱۲ nm	۶۵
جدول ۱۱-۴ نتایج به دست آمده از برازش نتایج تجربی با رابطه (۳-۴) نمونه $La_{0.67}Ca_{0.33}MnO_3$ با	
.....ضخامت لایه ۱۲ nm	۶۶
جدول ۱۲-۴ نتایج به دست آمده از برازش نتایج تجربی با رابطه (۴-۴) نمونه با	
.....ضخامت لایه ۱۲nm	۶۷
جدول ۱۳-۴ نتایج به دست آمده از برازش نتایج تجربی با رابطه (۱-۴) نمونه $La_{0.67}Ca_{0.33}MnO_3$	

..... ضخامت ۳۷nm برای	۶۸
جدول ۴-۱۴ نتایج به دست آمده از برازش نتایج تجربی با رابطه (۴-۲) نمونه $La_{0.67}Ca_{0.33}MnO_3$ با	
..... ضخامت ۳۷nm	۶۹
جدول ۴-۱۵ نتایج به دست آمده از برازش نتایج تجربی با رابطه (۴-۳) نمونه $La_{0.67}Ca_{0.33}MnO_3$ با	
..... ضخامت ۳۷nm	۷۰
جدول ۴-۱۶ نتایج به دست آمده از برازش نتایج تجربی با رابطه (۴-۴) نمونه $La_{0.67}Ca_{0.33}MnO_3$ با	
..... ضخامت ۳۷nm	۷۱
جدول ۴-۱۷ نتایج بدست آمده از برازش داده های تجربی با رابطه (۴-۴) در دمای پایین نمونه $La_{0.67}Ca_{0.33}MnO_3$	
..... در ضخامت های ۳۷، ۱۲، ۷، ۴/۵ nm	۷۳
..... جدول ۴-۱۸ ضرایب فیلم های نمونه های LCMO رشد یافته با روش MOCVD	۷۴
جدول ۴-۱۹ نتایج حاصل از برازش نمونه $La_{0.67}Ca_{0.33}MnO_3$ با ضخامت های ۷، ۴/۵ nm	
..... ۱۲، ۳۷،	۷۴
جدول ۴-۲۰ نتایج به دست آمده از برازش با رابطه (۴-۸) نمونه $La_{0.67}Ca_{0.33}MnO_3$ با	
..... ضخامت ۴/۵nm	۷۷
جدول ۴-۲۱ نتایج به دست آمده از برازش با رابطه (۴-۶) نمونه $La_{0.67}Ca_{0.33}MnO_3$ با ضخامت	
..... ۴/۵nm	۷۸
جدول ۴-۲۲ نتایج به دست آمده از برازش با رابطه (۴-۷) نمونه $La_{0.67}Ca_{0.33}MnO_3$ با ضخامت	
..... ۴/۵nm	۸۰

جدول ۴-۲۳ به دست آمده از برازش بارابطه (۴-۵) نمونه $La_{0.67}Ca_{0.33}MnO_3$ با ضخامت۴/۵nm	۸۱ .
جدول ۴-۲۴ به دست آمده از برازش بارابطه (۴-۸) نمونه $La_{0.67}Ca_{0.33}MnO_3$ با ضخامت۷nm	۸۲ .
جدول ۴-۲۵ به دست آمده از برازش بارابطه (۴-۶) نمونه $La_{0.67}Ca_{0.33}MnO_3$ با ضخامت۷nm	۸۳ .
جدول ۴-۲۶ به دست آمده از برازش بارابطه (۴-۷) نمونه $La_{0.67}Ca_{0.33}MnO_3$ با ضخامت۷nm	۸۴ .
جدول ۴-۲۷ به دست آمده از برازش بارابطه (۴-۵) نمونه $La_{0.67}Ca_{0.33}MnO_3$ با ضخامت۷nm	۸۵ .
جدول ۴-۲۸ به دست آمده از برازش بارابطه (۴-۸) نمونه $La_{0.67}Ca_{0.33}MnO_3$ با ضخامت۱۲nm	۸۶ .
جدول ۴-۲۹ به دست آمده از برازش بارابطه (۴-۶) نمونه $La_{0.67}Ca_{0.33}MnO_3$ با ضخامت۱۲nm	۸۷ .
جدول ۴-۳۰ به دست آمده از برازش بارابطه (۴-۷) نمونه $La_{0.67}Ca_{0.33}MnO_3$ با ضخامت۱۲nm	۸۸ .
جدول ۴-۳۱ به دست آمده از برازش بارابطه (۴-۵) نمونه $La_{0.67}Ca_{0.33}MnO_3$ با ضخامت۱۲nm	۸۹ .
جدول ۴-۳۲ به دست آمده از برازش بارابطه (۴-۸) نمونه $La_{0.67}Ca_{0.33}MnO_3$ با ضخامت۳۷nm	۹۰ .

جدول ۴-۳۳ نتایج به دست آمده از برازش بارابطه (۴-۶) نمونه $La_{0.67}Ca_{0.33}MnO_3$ با ضخامت

.....۳۷nm

۹۱

جدول ۴-۳۴ نتایج به دست آمده از برازش بارابطه (۴-۷) نمونه $La_{0.67}Ca_{0.33}MnO_3$ با ضخامت

.....۳۷nm

۹۲

جدول ۴-۳۵ نتایج به دست آمده از برازش بارابطه (۴-۵) نمونه $La_{0.67}Ca_{0.33}MnO_3$ با ضخامت

.....۳۷nm

۹۳

جدول ۴-۳۶ نتایج حاصل از برازش رابطه (۴-۷) با داده های تجربی نمونه $La_{0.67}Ca_{0.33}MnO_3$ در

.....ضخامت های ۳۷، ۱۲، ۷، ۴/۵ nm

۹۴

جدول ۴-۳۷ نتایج به دست آمده از برازش رابطه (۴-۹) نمونه $La_{0.67}Ca_{0.33}MnO_3$ با ضخامت

.....۱۲nm

۹۷

جدول ۴-۳۸ نتایج به دست آمده از برازش رابطه (۴-۹) نمونه $La_{0.67}Ca_{0.33}MnO_3$ با ضخامت

.....۳۷nm

۹۸

فصل اول

مقدمه ای بر مگنایت ها

- مگنایت ها

- تاریخچه مگنایت ها

- خواص مگنایت ها

- ساختار الکترونی

- مکانیزم ها

تبادل دو گانه

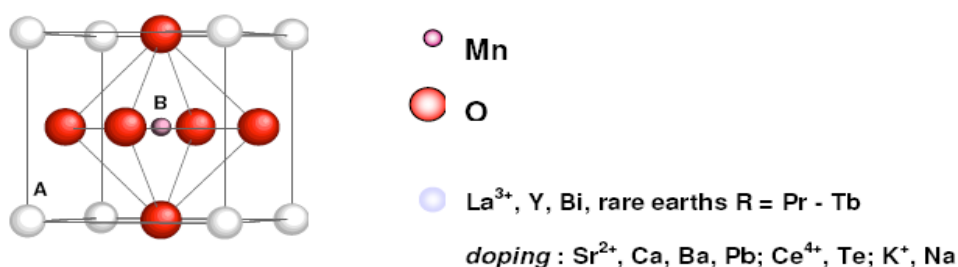
یان تلر

نظم بار

- دیاگرام فازی

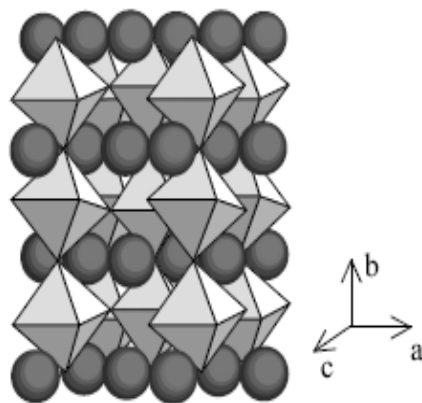
۱-۱- منگنیت ها

به ترکیبات دارای فرمول عمومی $RE_xAE_{1-x}MnO_3$ منگنیت گفته می شود. که در آن RE یک عنصر از لانتانیدهای سه ظرفیتی مانند Sm, Y, Eu, Nd و La و AE یک عنصر از قلیاییهای خاکی دو ظرفیتی مانند Ba, Sr و Ca است. ساختار منگنیت ها نزدیک به ساختار پروسکایت های مکعبی است [۱]. این ساختار به صورت یک شبکه سه بعدی از اشتراک هشت وجهی MnO_6 با یون های Mn در میانه هشت وجهی ایجاد می شود که در شکل (۱-۱) نشان داده شده است [۲].



شکل ۱-۱- نمایشی از سلول واحد ساختار پروسکایت [۲ و ۳]

یون های سه ظرفیتی RE و یون های دو ظرفیتی AE جایگاه A (RE_xAE_{1-x}) را اشغال می کنند. یون های Mn کوچکتر در حالت ظرفیت آمیخته $Mn^{+3}-Mn^{+4}$ در مرکز هشت وجهی اکسیژن جایگزیده شده اند [4]. ترکیب پایه بیشتر منگنیت هایی که مورد علاقه اند و مورد مطالعه قرار گرفته اند با جانشینی بخشی از La ها با Ca یا Sr به عنوان نمونه های دارای کاربرد، ایجاد که در شکل (۲-۱) نشان داده شده است [۵].



شکل ۱-۲ نمایشی از ساختار پروسکایتی با گروه فضایی *pnma* [۴]

ساختار پروسکایتی از ساختار مکعبی با تغییر شبکه بدست می آید. ساختارهای راست گوشه^۱ و لوزی^۲ یا اعوجاج های دیگر شبکه از کج شدن یا چرخش (اعوجاج یان-تالر^۳) هشت وجهی اکسیژن اطراف یون های Mn به دلایل الکترونی (ناشی از اثر یان-تالر یون های Mn^{+3}) و ساختاری (ناشی از عدم تطابق شعاع یونی) ظاهر می شود. این ساختارها در شکل (۱-۳) نشان داده شده است [۴].

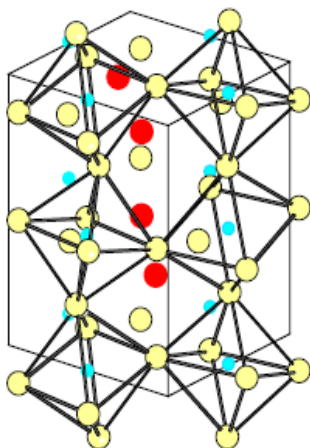
برای نشان دادن میزان انحراف شبکه نسبت به حالت مکعبی مقارن فاکتور تولرانس^۴ گولداسمیت^۵ برای هر شبکه پروسکایتی بفرم ABO_3 معرفی شده که به صورت زیر تعریف می شود:

$$t = \frac{r(A) + r(O)}{\sqrt{2}[r(B) + r(O)]} \quad (1-1)$$

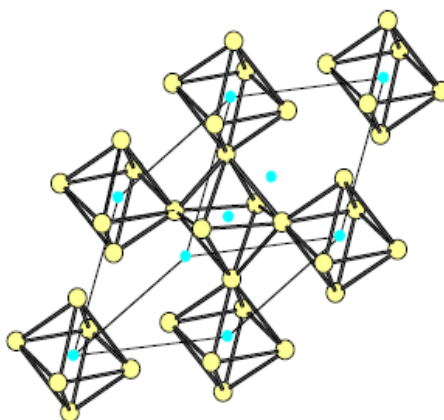
که B نشان دهنده یون واقع در مرکز هشت وجهی اکسیژن و $r(A)$ و $r(B)$ متوسط شعاع یونی عناصر واقع در جایگاههای A و B است. $t=1$ مشخصه ساختار مکعبی و شبکه های شبه

1 - Orthorhombic
2 - Rhombohedral
3 - Jahn-Teller
4 - Tolerance factor
5 - Goldschmidt

[b]



[a]



شکل ۱-۳ ساختارهای پروسکایتی [a] لوزی رخ و [b] راست گوشه [۶].

پروسکایتی اعوجاج یافته تقریباً در رنج $0.98 < t < 1.02$ قرار دارند. بیشتر منگنیت ها دارای فاکتور تولرانس $t < 1$ هستند یعنی یون های واقع در جایگاه A در شبکه مکعبی کوچک هستند [۷].

پروسکایت ها مواد ایده آلی برای مطالعه فیزیک سیستم های الکتریکی با همبستگی شدید می باشند [۱]. با توجه به ترکیب و مقدار آرایش (x) تغییراتی در خواص الکتریکی و مغناطیسی شامل فرومغناطیس، آنتی فرو مغناطیس، و نظم بار و اوربیتال مشاهده می شود.

ترکیب پایه منگنیت به فرم $kMnO_3$ می باشد که k در آن یک عنصر سه ظرفیتی مثل La می باشد اگر بخشی از عنصر سه ظرفیتی توسط عنصر دو ظرفیتی مثل Ca جانشین شود، یعنی تزریق حفره در سیستم، یون های Mn^{+3} و Mn^{+4} در نمونه ایجاد می شوند و این ترکیبات رفتارهای مختلفی را با تغییر دما نشان می دهند. منگنیت های با ظرفیت آمیخته، گذارهای فازی مختلفی مثل گذار عایق - فلز، درجات آزادی اسپین، بار و اوربیتال و گذار بی نظمی - نظم را نشان می دهند. با تغییر مقدار x می توان در صد Mn^{+3} و Mn^{+4} را کنترل کرد.

به عنوان مثال ترکیب های LaMnO_3 و CaMnO_3 در حالت پایه آنتی فرومغناطیس (AF)^۱ هستند. وقتی مقداری آلایش در سیستم وارد می کنیم حالت پایه سیستم فرو مغناطیس (FM)^۲ می شود و گذار پارامغناطیس^۳ - فرو مغناطیس در آنها با افت تیزی در مقاومت الکتریکی همراه می شود که این پدیده در سال ۱۹۵۰ شناخته شد.

گرایش به مطالعه این سیستم ها با مشاهده دو پدیده زیر بیشتر شد: (۱) مقاومت مغناطیسی (MR)^۴، که به رابطه بین مقاومت الکتریکی و مغناطیدگی مربوط می شود و مقدار آن خیلی بزرگ است (۲) برهم کنش اساسی که برای رابطه بین مقاومت الکتریکی و مغناطیدگی تعریف شده بود، برهم کنش تبادل دو گانه بین Mn^{+3} و Mn^{+4} ، توصیف کافی برای مقاومت مغناطیسی نبود [۸] MR بزرگ مشاهده شده، CMR^۵ نامیده می شود. همچنین توجه زیادی به نوع دیگری از حالتها، نظم بار (CO)^۶، که برای بعضی از آلایش ها مشاهده می شود صورت گرفت. در واقع درک این اثرات توسط برهم کنش های الکترون - فونون صورت می پذیرد. منشا میکروسکوپی برهم کنش e-ph^۷ اثر یان - تیلر می باشد که برای یون های d^4 در یک هشت وجهی رخ می دهد [۹].

۲-۱ تاریخچه منگنایت ها

مطالعه بر روی خواص منگنایت ها در سال ۱۹۵۰ شروع شد و جانکر^۸ و فون سانتن^۹ رابطه بین دمای کوری و M_s ^{۱۰} و مقاومت الکتریکی و رابطه بین دمای کوری و ساختار کریستالی را کشف

-
- 1 - Antiferromagnetic
 - 2 - Ferromagnetic
 - 3 - Paramagnetic
 - 4 - Magnetoresistance(MR)
 - 5 - Colossal magnetoresistance(CMR)
 - 6 - Charge ordering
 - 7 - Electron-phonon
 - 8 - Jonker
 - 9 - Van Santen
 - 10- Saturation magnetization

کردند و نشان دادند که نمونه های با ثابت های شبکه یکسان دماهای کوری مختلفی دارند. دمای کوری وابستگی زیادی به زاویه بین Mn-O-Mn دارد که این زاویه نیز با فاکتور تولرانس در ارتباط می باشد.

در سال ۱۹۵۵ ولان^۱ و کوهر^۲ پراش نوترونی سری از ترکیبات $La_xCa_{1-x}MnO_3$ را مطالعه کردند و اولین ساختار مغناطیسی بر اساس نمودار فازی در منگنیت ها بنا نهادند که شامل فاز آنتی فرو مغناطیسی علاوه بر فاز فرو مغناطیسی بود.

در سال ۱۹۵۶ جانکر رابطه ساختار کریستالی با خواص مغناطیسی را از نقطه نظر یک برهم کنش مغناطیسی جدید که توسط زنر^۳ پیشنهاد شده بود (تبادل دو گانه^۴) پیدا کرد و همچنین ساختار نمونه هایی را که به ساختار پروسکایت مکعبی نزدیک می باشند، یعنی دارای فاکتور تولرانس نزدیک به یک می باشند، را یافت.

در طول دهه ۱۹۷۰ پیشرفت کمی در فهم منگنیت ها انجام شد [10]. در سال ۱۹۷۹ مفهوم یان - تلردرک شد. در سال ۱۹۸۹ کاستر^۵ فعالیتش را در زمینه اثر MR بزرگ در منگنیت های حجمی آغاز نمود و در سال ۱۹۹۳ هلمهولتز^۶ اثر MR بزرگ در منگنیت های لایه نازک مورد بررسی قرار داد. در سال ۱۹۹۴ پدیده CMR کشف شد که باکشف این پدیده مطالعات روی خواص ترابرد آغاز گردید. در سال ۱۹۹۵ پی برده شد که برهم کنش الکترون - فونون اهمیت زیادی در منگنیت ها دارد. در سال ۱۹۹۹ رفتار نا همگنی ذاتی و جدایی فاز توسط موری^۷ و همکارانش کشف شد. اما با این اوصاف درک دقیق از فیزیک منگنیت ها هنوز کامل نیست.

1 - Wollan

2 - Koehler

3 - Zener

4 - Double-exchange

5 - Kusters

6 - Helmholtz

7 - Mori

۳-۱ خواص منگنایت ها

منگنایت های با فرم $RE_xAE_{1-x}MnO_3$ بعد از کشف پدیده CMR مورد توجه زیادی قرار گرفته اند. در توصیف این خصوصیت از منگنایت ها ابتدا تعریفی از مقاومت مغناطیسی بیان می کنیم. MR به تغییرات نسبی مقاومت الکتریکی یک ماده با اعمال میدان مغناطیسی خارجی اطلاق می شود که به صورت زیر تعریف می گردد:

$$MR_0 = \frac{\rho(H) - \rho(0)}{\rho(0)} \times 100 \quad (2-1)$$

که $\rho(0)$ و $\rho(H)$ به ترتیب مقاومت ویژه الکتریکی در غیاب و در حضور میدان مغناطیسی است. با کاهش یا افزایش مقاومت به ترتیب MR منفی یا مثبت می شود. فلزات غیر مغناطیسی مانند Au ، MR کوچکی نشان می دهند در فلزات مغناطیسی مانند Fe ، MR بزرگتر است. همچنین در فرو مغناطیس های نیمه فلزی MR با B^2 (B = میدان مغناطیسی اعمال شده) تغییر می کند. در واقع هر چه ماده بر اثر اعمال میدان مغناطیسی اسپین های آن منظم تر شوند یعنی به علت جایگزیدگی بارها بی نظمی کاهش می یابد مقاومت الکتریکی آن کاهش یابد [11]. MR انواع مختلفی چون CMR ، TMR^۱ ، GMR^۲ دارد.

GMR، مقاومت مغناطیسی بزرگ

GMR در نمونه های چند لایه ای Fe/Cr/Fe ، و همچنین در سیستم های دانه ای غیر همگن^۳ (خوشه ها^۴ و آلیاژها) رشد داده شده به وسیله روشانی پرتو مولکولی، مشاهده شده است.

1 - Tunnel magnetoresistance
2- Giant magnetoresistance
3 - Inhomogeneous granular
4 - Clusters

وقتی جهت نسبی گشتاور مغناطیسی دانه ها پاد موازی است رسانایی الکتریکی مینیمم می شود ولی اگر با اعمال میدان مغناطیسی جهت آنها موازی شود رسانندگی الکتریکی افزایش می یابد و در نتیجه مقاومت مغناطیسی بزرگی حاصل می شود. به عبارت دیگر در چند لایه ای های مغناطیسی پراکندگی وابسته به اسپین در درون سطح مسئول پدیده GMR است یعنی اگر مغناطیدگی لایه ها هم جهت باشد پراکندگی اسپین اتفاق نمی افتد و در نتیجه مقاومت الکتریکی کاهش می یابد. گرون برگ و همکارانش در سال ۱۹۸۶ MR بزرگی در چند لایه ای های لایه نازک که شامل ۲ لایه از Fe و یک لایه از Cr که بین آنها ساندویچ شده، مشاهده کردند [11]. بایبیچ و همکارانش ایتی در مقاومت الکتریکی (تقریباً "۵۰٪) در چند لایه ای ها در اثر اعمال میدان مغناطیسی خارجی مشاهده کردند و این پدیده را GMR نامیدند. GMR در سیستم های دانه ای و چند لایه ای اغلب همسانگرد است. تمام سیستم های GMR حداقل از دو نوع فلز مختلف که یکی از آنها مغناطیسی است ساخته می شوند پس هنگامی که مغناطیدگی از لایه ها موازی باشد به علت پراکندگی کم مقاومت الکتریکی کمتر از لایه ها با مغناطیدگی پاد موازی است. استفاده از این اثر در فناوری و صنایع ادوات الکترونیکی سبب تولید قطعات وحسگر های جدید با حساسیت بالا شد و همچنین در دیسک های ذخیره سازی کامپیوتر کاربرد دارد [۱۱].

TMR، مقاومت مغناطیسی تونلی

همانند GMR در چند لایه ای ها و در سیستم های دانه ای مشاهده می شود. تونل زنی بین لایه های عایق یا نیمه رسانا را اثر TMR می گویند.

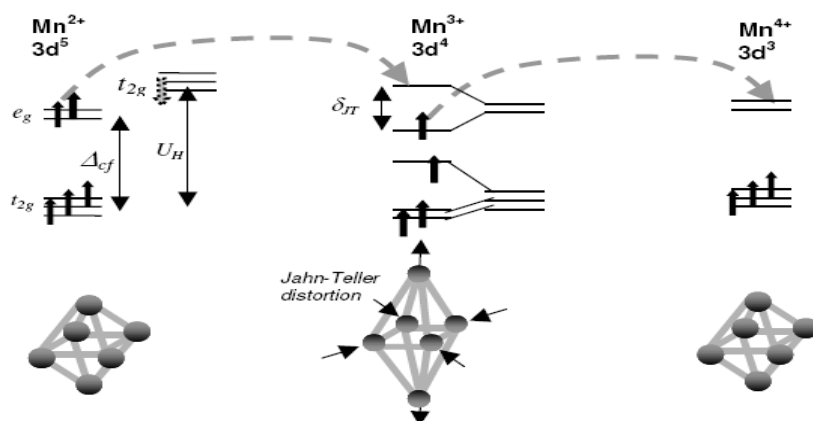
CMR، مقاومت مغناطیسی فوق العاده بزرگ

چهارا و همکارانش مقاومت مغناطیسی بزرگی در منگنیت های آلاییده (حجمی و نیز لایه های نازک) در یک میدان مغناطیسی چندین تسلا (۶T) مشاهده کردند [۱۱]. مقاومت مغناطیسی مشاهده شده در منگنیت ها خیلی بزرگتر از GMR است و از این رو لفظ Colossal برای توصیف این اثر استفاده می شود. تفاوت CMR با GMR این است که CMR در میدان های مغناطیسی بالاتری اتفاق می افتد و در دمای کوری بیشترین مقدار را دارا است. در حالی که GMR در دمای پایین تری رخ می دهد. مشاهده CMR در اکسید های منگنز پروسکایتی توجه زیادی را به این سیستم ها (با بستگی قوی الکترونی) جلب کرد. آرایش عناصر دو ظرفیتی در منگنیت $LaMnO_3$ منجر به حالت فرومغناطیسی می شود و در این ناحیه مقاومت الکتریکی کاهشی چشمگیر در حضور میدان مغناطیسی خارجی نزدیک نقطه بحرانی نشان می دهد که این اثر CMR نامیده می شود. این حالت فرومغناطیسی و مقاومت مغناطیسی خیلی بزرگ ابتدا توسط مدل تبادل دوگانه زمر توجیه شد.

۴-۱ ساختار الکترونی

ساختار الکترونی منگنیت ها پیچیده تر از آنچه که برای نمایش تک یون بیان می شود، می باشد. حالت های ظرفیتی $Mn^{+2}, Mn^{+3}, Mn^{+4}$ از Mn در منگنیت ها یافت شده است که به ترتیب دارای تعداد الکترون های ۵، ۴، ۳ در تراز 3d می باشند. همه الکترون های 3d مطابق قاعده هوند، اسپین هایشان موازی می باشد. انرژی جفت شدگی هوند U_H برای Mn (حدودا ۲eV) بزرگ می باشد [۱۲]. سه تراز پایین تر t_{2g} ، نتیجه ای از شکافتگی میدان کریستالی در محیط هشت وجهی اکسیژن می باشد که تشکیل یک گشتاور مغناطیسی به اندازه $3 \mu_B$ را می دهد. همچنین الکترون های t_{2g} با اسپین بالا در منگنیت ها جایگزیده شده اند. الکترون های باقی مانده (یکی در Mn^{+3} و دو تا در Mn^{+2}) تراز e_g را اشغال می کنند که بسته به مورد جایگزیده یا غیرجایگزیده

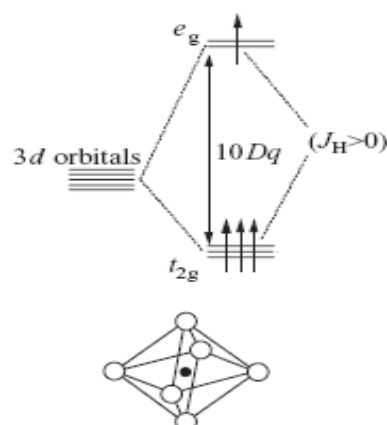
می شوند. در شکل (۴-۱) یون 3d در ساختار منگنات با حالت‌های ظرفیتی $Mn^{2+}, Mn^{3+}, Mn^{4+}$ نشان داده شده است.



شکل ۴-۱ نمایش تک یون 3d در یون های $Mn^{2+}, Mn^{3+}, Mn^{4+}$ در ساختار منگنات [۴].

۵-۱ مکانیزم ها

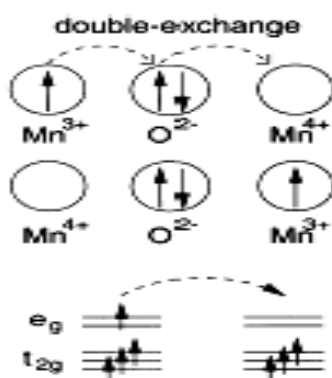
ابتدا ساختار یون 3d منزوی را مورد بررسی قرار می دهیم. برای الکترون های 3d با $l=2$ ۵ حالت تبهگنی اوربیتالی وجود دارد. در یک کریستال قسمتی از تبهگنی توسط میدان کریستالی از بین می رود [۱]. ۵ اوربیتال d توسط میدان کریستالی مکعبی به ۳ اوربیتال t_{2g} و ۲ اوربیتال e_g شکافته می شود که در هشت وجهی MnO_6 شکافتگی بین پایین ترین تراز t_{2g} و بالاترین تراز e_g برابر ۱/۵ eV است. در شکل (۵-۱) شکافتگی ترازهای 3d با تبهگنی پنج گانه به ترازهای پایین تر t_{2g} و بالاتر e_g در یک محیط با تقارن مکعبی نشان داده شده است.



شکل ۱-۵- شکافتگی ترازهای ۳d با تبهگنی پنج گانه به ترازهای پایین تر t_{2g} و بالاتر e_g [۱۳].

۱-۵-۱ مکانیزم تبادل دو گانه

اولین بار زمر در سال ۱۹۵۱ مدل تبادل دو گانه را برای توجیه فاز فرومغناطیسی در مگناطیت ها ارائه کرد. در این مدل، زمر انتقال الکترون را دو مرحله ای را فرض کرد. مرحله اول : انتقال الکترون از Mn^{+3} به اوربیتال 2p اکسیژن همسایه و دومین مرحله : انتقال الکترون از اوربیتال 2p اکسیژن به یون Mn^{+4} همسایه می باشد [۱۴]. یون های اکسیژن نقش پل ارتباطی بین یون های مگنیز را بازی می کنند و وجود یون های اکسیژن باعث به وجود آمدن نوعی تبادل غیر مستقیم شد که زمر آن را تبادل دو گانه نامید. این مکانیزم در شکل (۱-۶) نشان داده شده است.

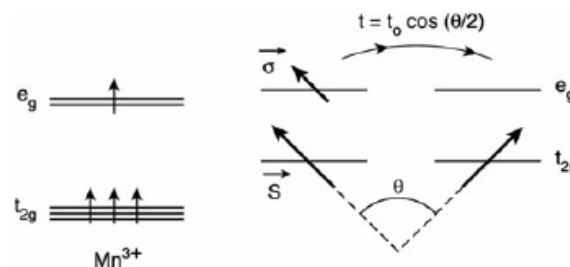


شکل ۱-۶- مکانیزم تبادل دو گانه (شامل دو اتم مگنیز و یک اتم اکسیژن) [۱۳].

حالت‌های اولیه و نهایی این فرایند، تبه‌گن هستند و دو گشتاور مغناطیسی Mn به طور فرومغناطیسی با هم جفت می‌شوند. بر اساس مدل شبه کلاسیکی، انتقال الکترون بین یون‌های Mn با زاویه بین گشتاورهای مغناطیسی θ برابر است با:

$$t = t_0 \cos(\theta/2) \quad (3-1)$$

که احتمال انتقال از ۱ برای $\theta=0$ به صفر برای $\theta=180^\circ$ تغییر می‌کند [4]. این رابطه توسط اندرسون^۱ و هاسگاو^۲ برای دامنه جهش الکترون‌ها در بین دو یون منگنز مجاور بدست آمده است که مقاومت مغناطیسی خیلی بزرگ که در فرومغناطیس‌های تبادل دو گانه قابل مشاهده است را توضیح دهد. در واقع این مدل فاز فرومغناطیسی و مکانیسم رسانش الکتریکی را توجیه می‌کند [۱۵]. در شکل (۷-۱) زاویه بین اسپین‌های واقع در ترازهای یون‌های Mn^{+3}, Mn^{+4} نشان داده شده است.



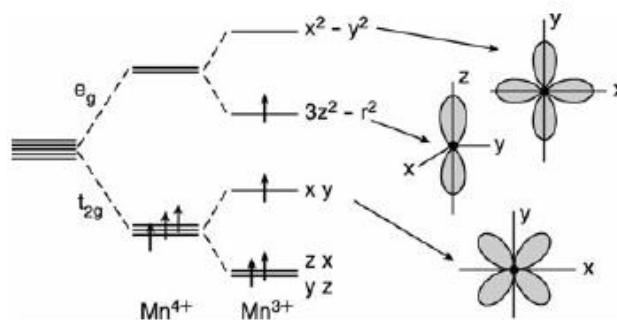
شکل ۷-۱- نمایشی از مدل تبادل دو گانه، θ زاویه بین گشتاورهای مغناطیسی [۵].

۱-۵-۲ مکانیزم یان - تلر

نقش اثر یان - تلر در منگنیت‌ها ابتدا در سال ۱۹۹۵ آشکار شد. اثر یان - تلر قوی یون Mn^{+3} ، مکانیزم میکروسکوپی دیگری در منگنیت‌ها می‌باشد که منبعی از جفت شدگی الکترون -

1- Anderson
2 - Hasegawa

فونون است. تبهگنی تراز های e_g با تغییرات هشت وجهی اکسیژن اطراف یون های Mn ، شکافته می شود. مقدار این شکافتگی $\Delta JT = 1-1.5eV$ است و باعث کاهش انرژی الکترون برای اشغال اوربیتال e_g در Mn^{+3} می شود. این تغییر در شبکه مکعبی با کشیده شدن موقعیت اکسیژن راستای محور z که با اوربیتال های $3z^2-r^2$ جفت می شود و یا با کشیدگی موقعیت های اکسیژن در راستای محور های x و y که با اوربیتال x^2-y^2 جفت می شود، ایجاد می گردد. در واقع از بین رفتن تبهگنی به علت بر هم کنش اوربیتال - شبکه، اثر یان - تِلر نامیده می شود [۱۶]. در شکل (۸-۱) شکافتگی تراز ها در اثر میدان کریستالی و یان-تِلر و نمایشی از اوربیتال های e_g و t_{2g} نشان داده شده است.



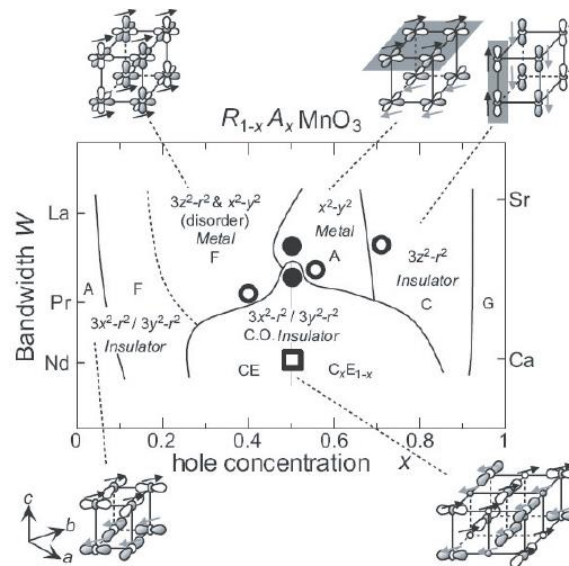
شکل ۸-۱ شکافتگی تراز های d در اثر میدان کریستالی و یان-تِلر [۱۷].

۳-۵-۱ نظم بار

در منگنیت ها به ازای بعضی آرایش ها پدیده نظم بار مشاهده می شود که توسط والان و کوهرلر کشف شد [6]. در حالت نظم بار، حامل های بار الکتریکی در موقعیت های خاصی در شبکه بلور جایگزیده می شوند. در اثر اعمال میدان مغناطیسی با شدت کافی به تدریج نظم بار از بین می رود. هنگامی که حالت نظم بار در میدان مغناطیسی شروع به انحلال می نماید مقاومت ویژه جسم نیز تغییر می کند که این حالت می تواند ناشی از تحرک μ و یا چگالی حامل های آزاد n و یا هر دو باشد. حساسیت حالت نظم بار به یک میدان مغناطیسی اعمال شده بستگی به

اندازه میانگین شعاع یونی کاتیون آلایش $\langle r_a \rangle$ (به عبارت دیگر زاویه Mn-O-Mn) دارد. در منگنیت های با $\langle r_a \rangle$ کوچکتر، حتی تحت اعمال میدان مغناطیسی بالا حالت نظم بار از بین نمی رود.

علاوه بر نظم بار، نظم اوربیتالی و اسپینی هم در منگنیت ها مشاهده می شود که توسط مایزونو و همکارانش بررسی شد. شکل ۹-۱ نمودار پهنای نوار تک الکترونی را بر حسب غلظت حفره نشان می دهد که حالات مختلف نظم اوربیتال و اسپین در آن مشخص شده است [۶].

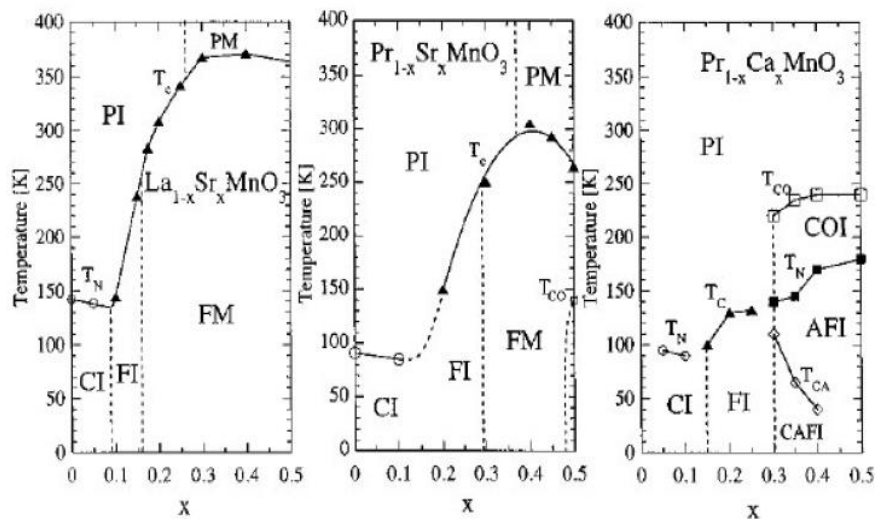


شکل ۹-۱ دیاگرام پهنای باند بر حسب غلظت حفره در حالت پایه $R_xA_{1-x}MnO_3$ [۶].

۱-۶ دیاگرام فاز

در شکل ۱۰-۱ دیاگرام فازی برای بعضی از ترکیبات نشان داده شده است که بر حسب غلظت حفره فاز های مختلفی وجود دارد. نزدیک $x \sim 0.5$ حالت پایه به عایق آنتی فرو مغناطیسی تغییر می کند و نظم بار مشاهده می شود. ساختار های آنتی فرو مغناطیسی مختلفی با تغییر مقدار آلایش x ایجاد می شود: نوع A، CE، C و G. در دماهای بالا یک فاز پارامغناطیس (PM) و تقریباً

همیشه عایق پیدا می شود. در بین این فاز های اصلی (FMM ,AFI-CO ,PM) نواحی با مشخصه های پیچیده وجود دارد[4].

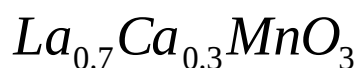


شکل ۱-۱۰ نمایشی از دیاگرام فاز [۴].

در این شکل ها نمودار های فازي ترکیبات LaSrMnO_3 ، PrSrMnO_3 و PrCaMnO_3 نشان داده شده است.

فصل دوم

بررسی خواص ترابرد الکتریکی و مغناطیسی



- ساختار LCMO

- بررسی دیاگرام فازی LCMO

- بررسی ترابرد الکتریکی $La_{0.7}Ca_{0.3}MnO_3$ در حالت حجمی و لایه نازک

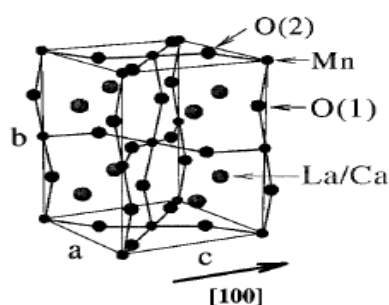
- بررسی ترابرد مغناطیسی $La_{0.7}Ca_{0.3}MnO_3$ در حالت حجمی و لایه نازک

- بررسی اثر ضخامت فیلم روی خواص ترابرد

- نتیجه گیری

۱-۲ ساختار LCMO

شیفر^۱ و همکارانش خواص الکتریکی و مغناطیسی ترکیب LCMO را در سال ۱۹۹۵ مورد بررسی قرار دادند [۱۸]. در شکل (۱-۲) ساختار این ترکیب LCMO در جهت [۱۰۰] نشان داده شده است.



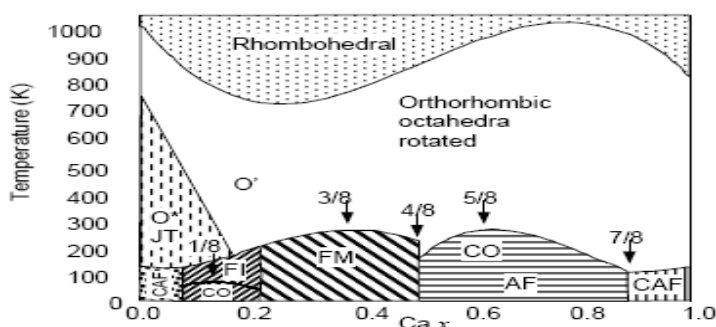
شکل ۱-۲ نمایشی از ساختار $Ln_{1-x}Ca_xMnO_3$ [۱۹].

۲-۲ دیاگرام فاز

چنگ^۲ و هوانگ^۳ نمودار فازی کامل این ترکیب را بدست آوردند. در شکل ۲-۲ این نمودار فازی نمایش داده شده است [۲۰].

در شکل (۲-۲) فاز های مختلف ترکیب LCMO در بازه $0 < x < 1/8$ نشان داده شده است که $x = N/8$ ($N=1, 3, 5, 7$) می باشد. در دمای بالا پارامغناطیسی و عایق الکتریکی است.

1 - Schiffer
2 - Cheong
3 - Hwang



شکل ۲-۲- نمایش فازهای مختلف $Ln_{1-x}Ca_xMnO_3$ [۲۱].

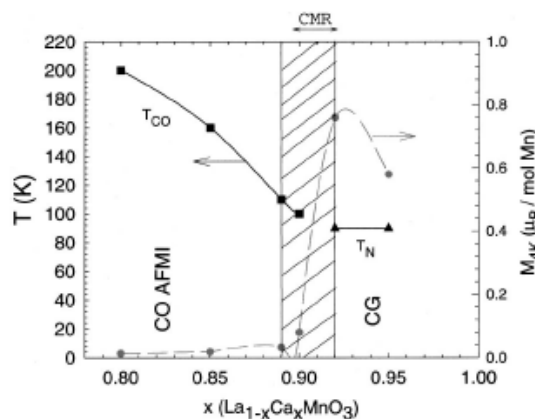
اختصارات بکار رفته در شکل بشرح زیر می باشد :

FMM سیستم در فاز فرو مغناطیسی و فلز است. COI سیستم عایق الکتریکی و دارای نظم بار است.

AFI سیستم در فاز آنتی فرو مغناطیسی و عایق الکتریکی است. FI سیستم در فاز فرو مغناطیسی و عایق الکتریکی است.

CAFI سیستم در حالت آنتی فرو مغناطیسی و عایق الکتریکی و یون های منگنز چرخیده اند. گذار های فازی در دماهای پایین و گذارهای ساختاری در دماهای بالا رخ می دهند. R بیان کننده این است که سیستم دارای ساختار بلوری به صورت لوزی وجه می باشد. O' ساختار بلوری سیستم به صورت راست گوشه که ناشی از اثر یان - تلر می باشد. O ساختار بلوری سیستم به صورت راست گوشه که ناشی از چرخش هشت وجهی MnO_6 است. دمای گذار T_C ، گذاری که از حالت فرو مغناطیس به پارا مغناطیس صورت می گیرد، در $x=3/8$ در دمای ۲۷۲K و دمای T_{CO} ، دمایی که نظم بار صورت می گیرد، در $x=5/8$ در دمای ۲۵۶ K مشاهده شده است. حساسیت قوی به میدان مغناطیسی در محدوده $0.5 < x < 0.17$ و دمای اطراف نقطه گذار F- P (دمای کوری T_C) که اغلب نزدیک به دمای T_P (دمایی که پیک مقاومت یا گذار MI در آن اتفاق

می افتد) می باشد، صورت می گیرد. در واقع CMR در این محدوده رخ می دهد. در شکل ۳-۲ این ناحیه در ترکیب $Ln_{1-x}Ca_xMnO_3$ نشان داده شده است.



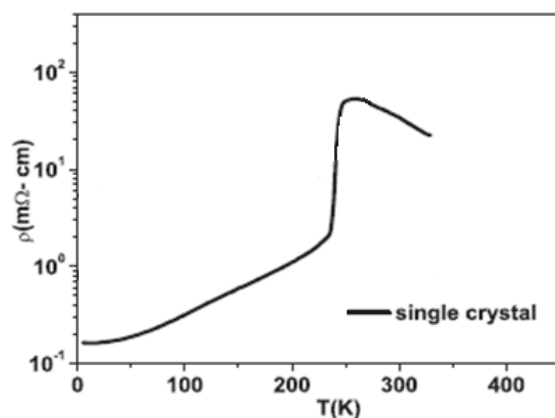
شکل ۳-۲ دیاگرام فاز مغناطیسی $Ln_{1-x}Ca_xMnO_3$ [۲۲].

۳-۲ بررسی ترابرد الکتریکی $La_{0.7}Ca_{0.3}MnO_3$ در حالت حجمی

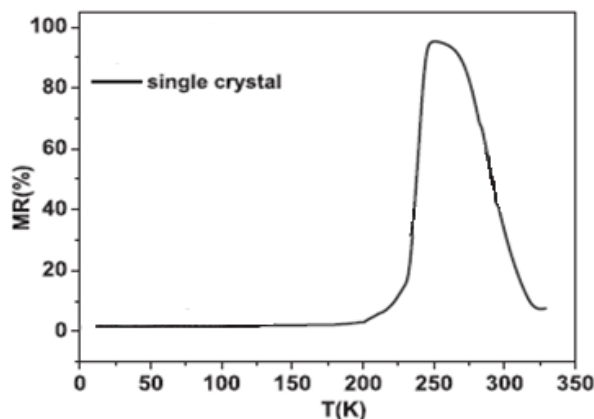
ساختارهای بلوری حجمی می توانند به دو صورت تک بلور و بس بلور رشد یابند. ترکیب $La_{0.7}Ca_{0.3}MnO_3$ هم از این خاصیت مستثنا نیست و به دو صورت تک بلور و بس بلور وجود دارد. برای بررسی خواص الکتریکی این ترکیب رفتار مقاومت الکتریکی در نمونه های تک بلور و بس بلور را مورد بررسی قرار می دهیم.

در نمونه های تک بلور رابطه ای برای محدوده های دمایی پایین به صورت $\rho(T) - \rho_0 \sim T^2$ پیشنهاد شده است [۲۳]. که در آن ρ_0 مقاومت باقی مانده می باشد. برای اسپین الکترون های اکثریت (اگر تعداد Mn^{+3} نسبت به Mn^{+4} بیشتر باشد Mn^{+3} اسپین الکترون های اکثریت است و بر عکس) وابستگی دمایی مقاومت الکتریکی ناشی از پراکندگی الکترون - الکترون می باشد که به صورت T^2 ظاهر می شود. اما جمله T^2 حدوداً ۶۰ بار بزرگتر از آنچه برای این نوع پراکندگی انتظار می رود می باشد. بنابراین منبع دیگری که ناشی از پراکندگی تک مگنونی که فرایند چرخش اسپین را در گیر می کند باید موجود باشد. پراکندگی دو مگنونی رفتار $T^{9/2}$ را در

مقاومت الکتریکی نتیجه می دهد. فرایند تک مگنون هنگامی ممکن می شود که قطبش اسپین به طور قوی با افزایش دما از واحد کاهش یابد. برخی آزمایش ها وابستگی مقاومت الکتریکی تک بلور ها را به صورت جمله T^3 که ناشی از فرایند پراکندگی تک مگنون غیر عادی است بیان کردند [۲۴]. در شکل های ۲-۴ و ۲-۵ مقاومت الکتریکی و مقاومت مغناطیسی ترکیب $La_{0.7}Ca_{0.3}MnO_3$ بر حسب دما رسم شده است.



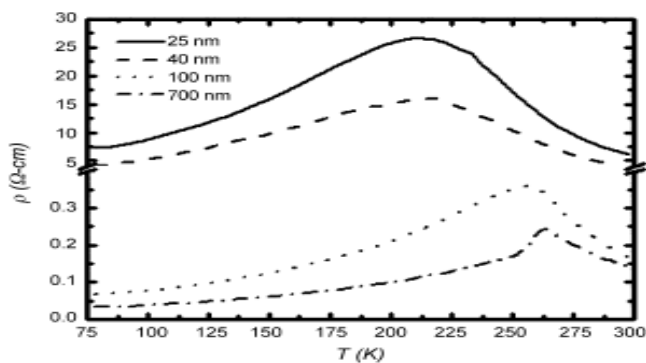
شکل ۲-۴ مقاومت الکتریکی بر حسب دما در یک نمونه تک بلور $La_{0.7}Ca_{0.3}MnO_3$ [۲۵].



شکل ۲-۵ مقاومت مغناطیسی بر حسب دما در یک نمونه تک بلور $La_{0.7}Ca_{0.3}MnO_3$ [۲۵].

در تک بلور ها MR در دماهای پایین قابل چشم پوشی است و با افزایش دما MR (منفی) افزایش می یابد. در نمونه های بس بلور، ماهیش و همکارانش در سال ۱۹۹۶ در مورد اثر ابعاد ذره روی خواص مغناطیسی و ترابرد بس بلور حجمی $La_{0.7}Ca_{0.3}MnO_3$ مطالعه کردند. آنها نمونه

هایی با ابعاد دانه مختلف $3/5 \mu m$ تا $25 nm$ تهیه کردند و مشاهده کردند که مقاومت الکتریکی نمونه های با غلظت های Mn^{+4} مشابه (زیرا فاکتور مهم در خواص ترابرد و مغناطیسی است) با کاهش ابعاد دانه افزایش و T_c با کاهش ابعاد دانه پهن می شود [۲۶]. علت این پهن شدگی ناشی را به بی نظمی و کرنش های محلی در ناحیه مرز دانه ای نسبت دادند. در نمونه های بس بلور افت تیزی در مقاومت الکتریکی در میدان های پایین و در پایین ترین دماها اتفاق می افتد و با افزایش دما کاهش می یابد. مقاومت مغناطیسی میدان پایین LFM^۱ مشاهده شده در منگنیت های بس بلور به علت وجود مرز های دانه ای بی نظم شده (GBs)^۲ است. در واقع اثر LFM^۱ به علت تونل زنی اسپین قطبیده (SPT)^۳ یا پراکندگی وابسته به اسپین (SDS)^۴ به صورتی که الکترون های رسانش از GBs ها عبور می کنند، می باشد. در شکل ۲-۶ مقاومت بر حسب دما ترکیب بس بلور $La_{0.7}Ca_{0.3}MnO_3$ رسم شده است.

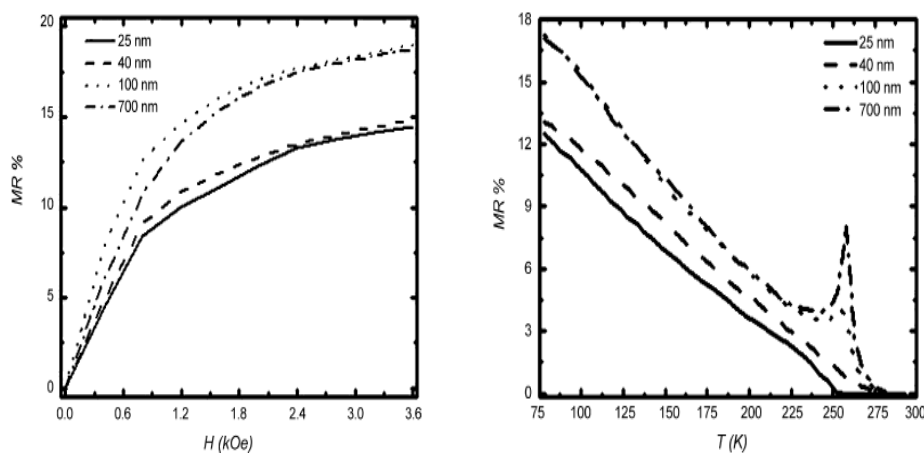


شکل ۲-۶ مقاومت ویژه بر حسب دما در یک نمونه بس بلور $La_{0.7}Ca_{0.3}MnO_3$ با ابعاد دانه مختلف [۲۶].

وابستگی دمایی مقاومت توسط روش چهار میله ای در محدوده ۷۷ تا ۳۰۰ درجه کلون اندازه گیری شده است. گذار عایق-فلز در ابعاد دانه بزرگتر در $T_p \sim 266 K$ مشاهده شده است که با کاهش ابعاد دانه T_p به ترتیب در دماهای ۲۵۸ K، ۲۱۹ K، ۲۱۳ K مشاهده می شود. برای نمونه های

-
- 1 - Low Field Magnetoresistance
 - 2 - Disordered grain boundaries
 - 3 - Spin polarized tunneling
 - 4 - Spin dependent scattering

با دانه بزرگتر T_P نزدیک به T_C است [۲۶]. مقاومت الکتریکی در دمای بالا T_C در چارچوب جهش با رنج متغیر مات^۱ با پلارون های کوچک تحلیل شده که وابستگی دمایی از نوع $\rho = \rho_0 \exp\left(\frac{T_0}{T}\right)^{\frac{1}{4}}$ را پیش بینی می کند که در آن معیاری از طول جایگزیدگی پولارون های مغناطیسی است [۲۷]. در شکل ۲-۷ مقاومت مغناطیسی بر حسب دما و میدان مغناطیسی در یک نمونه بس بلور $La_{0.7}Ca_{0.3}MnO_3$ با در ابعاد دانه مختلف رسم شده است.



شکل ۲-۷ مقاومت مغناطیسی بر حسب دما و میدان مغناطیسی در یک نمونه بس بلور $La_{0.7}Ca_{0.3}MnO_3$ با ابعاد دانه مختلف [۲۸].

وابستگی دمایی MR در بازه دمایی ۷۷K-۳۰۰ در $H_{dc} = 2 \text{ Koe}$ در نمودار نشان داده شده است. با افزایش ابعاد دانه MR افزایش می یابد. در ضخامت های ۱۰۰ و ۷۰۰ نانومتر LFMR افزایش می یابد. LFMR دمای پایین با افزایش ابعاد دانه کاهش می یابد پیک در نمودار MR مرتبط با افت مقاومت الکتریکی است.

۴-۲ بررسی ترابرد الکتریکی $La_{0.7}Ca_{0.3}MnO_3$ در حالت لایه نازک

لایه نشانی لایه های اکسید در اواسط دهه ۱۹۸۰ انجام گرفت. هنگامی که تکنولوژی های رشد به روش کندوکاش و لیزرهای پالسی برای ایجاد نیمه رسانا ها توسعه یافت، و کاربرد آن در تهیه لایه های منگنیت توسط چاهارا و همکارانشان انجام شد [۲۹]. لایه نشانی با دماهای زیر لایه بین ۵۸۰K تا ۹۰۰، فشار پایه اکسیژن از بالا تا ۰/۵-۰/۱ mbar و سرعت های رشد پایین تا

$0.1 \text{ A}^0\text{S}^{-1}$ انجام گرفت [۳۰]. در تهیه لایه های نازک از روش های لایه نشانی مختلفی استفاده

می شود از جمله : لیزر پالسی (PLD)^۱، لایه نشانی پرتو مولکولی (MBE)^۲، کندوکاش^۳، لایه نشانی محلول شیمیایی (CSD)^۴، لایه نشانی در فاز بخار (MOCVD)^۵ که سه روش اول فیزیکی و دو روش آخر شیمیایی می باشد. روش های فیزیکی فیلم های خوبی با شرایط لایه نشانی مناسب را می دهد ولی برای بدست آوردن سطحی بزرگ و یکنواخت مناسب نمی باشند. روش های شیمیایی مشکل و پر خطر می باشند و می توان به کمک آن ها فیلم هایی با مساحت بزرگتر را ایجاد کرد [۳۱].

لایه نشانی روی زیر لایه های مختلفی مانند $LaAlO_3$ (LAO)، $(SrTiO_3)$ (STO)، $NdGaO_3$ (NGO)، $(SrLaAlO_4)$ (SLAO) و MgO صورت می گیرد. اثر کرنش^۶ زیر لایه فاکتور مهمی در نمونه های لایه های نازک است.

¹ - Pulsed laser deposition

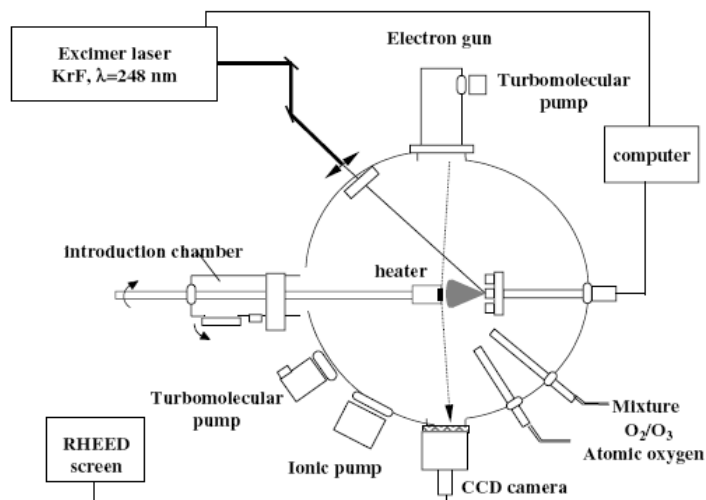
² - Molecular beam epitaxy

³ - Sputter

⁴ - Chemical solution deposition

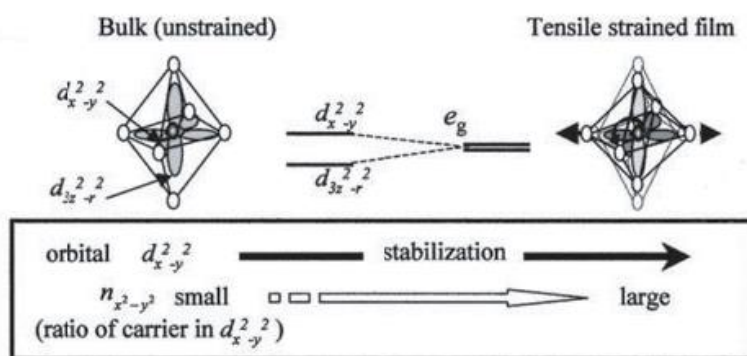
⁵ - Metallorganic chemical vapour deposition

⁶ - Strain



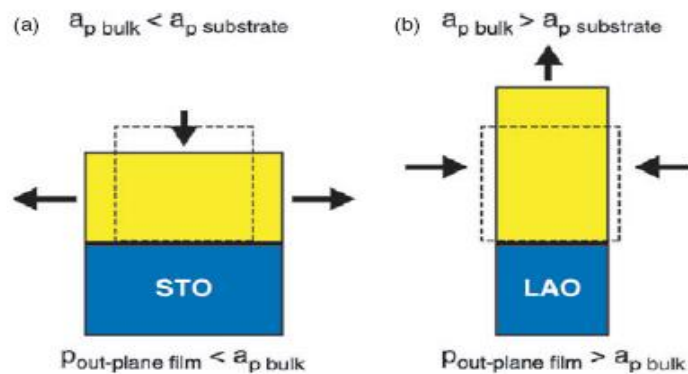
شکل ۲-۸ نمایشی از دستگاه PLD [۳۲].

تغییرات کوچک در سلول واحد پروسکایتی (افزایش پهنای باند Mn-O و کاهش زاویه Mn-O-Mn) خواص لایه های نازک را از مواد حجمی متمایز می کند. شکل ۲-۹ تغییر ساختار کریستالی در اثر کرنش کششی را نشان می دهد.



شکل ۲-۹ تغییر ساختار کریستالی در اثر کرنش کششی [۳۳].

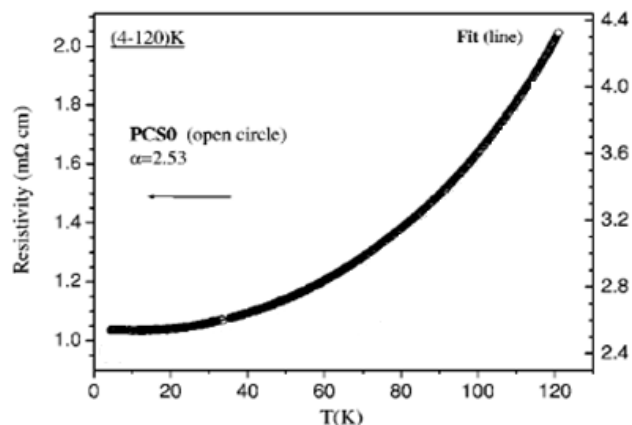
خواص فیزیکی لایه های نازک متأثر از کرنش ناشی از عدم انطباق شبکه بین لایه و زیر لایه تک بلور می باشد. عدم انطباق به صورت $S = (a_{\text{پایه}} - a_{\text{حجم}}) / a_{\text{پایه}}$ تعریف می شود مقادیر مثبت آن متناظر با کرنش کششی و مقادیر منفی متناظر با کرنش تراکمی است [۳۴]. در شکل ۲-۱۰ این دو نوع کرنش نشان داده شده است.



شکل-۲-۱۰ نمایشی از تغییر سلول شبکه در یک فیلم تنش یافت (a) تحت کرنش کششی (b) تحت کرنش تراکمی [۳۵].

چین و همکارانش اثر زیر لایه های مختلف و همچنین ضخامت فیلم را روی MR مطالعه کردند. MR در ترکیب LCMO با ضخامت تقریبی ۱۰۰۰ نانومتر که ثابت شبکه آن با زیر لایه LaAlO_3 انطباق دارد ماکزیمم می باشد. شرایط در منگنایت های لایه نازک نسبت به مواد حجمی پیچیده تر است. تعدادی از محققان رفتار دمایی مقاومت الکتریکی در لایه نازک را به صورت T^2 بیان و بعضی دیگر وابستگی دمایی در فیلم های LCMO و LSMO را به حرکت پلارون نسبت می دهند. وابستگی مقاومت الکتریکی در این ترکیبات در دماهای بالا و میانی و پایین از روابط زیر پیروی می کند.

در محدوده دمای پایین قانون $\rho(T) = \rho_0 + AT^\alpha$ حاکم که در آن ρ_0 مقاومت باقی مانده ای که معیاری از بی نظمی است و AT^α ناشی از فرایند های پراکندگی مختلف می باشد. در سیستم LCMO رفتار مقاومت الکتریکی زیر دمای T_c به صورت $T^{2.5}$ بیان می شود. که این وابستگی پراکندگی ناشی از چرخش اسپین می باشد که تک مگنون ها را درگیر می کند [۳۶]. در شکل ۲-۱۱ نمودار مقاومت الکتریکی ترکیب $\text{La}_{0.7}\text{Ca}_{0.3}\text{MnO}_3$ با نام PCSO که با روش PLD ساخته شده در محدوده دمایی (۴-۱۲۰K) رسم شده است.



شکل ۱۱-۲ انطباق مقاومت در ترکیب $La_{0.7}Ca_{0.3}MnO_3$ (PCSO) و برازش آن با رابطه $\rho(T) = \rho_0 + AT^\alpha$ با $\alpha=2.53$ [۳۷].

انحراف از قانون توان دوم ناشی از فرایند های پراکندگی مختلف است که وابستگی $\rho(T)$ را در این حالت به صورت $\rho(T) = \rho_0 + AT^\alpha + S$ بیان شده که در آن جمله S ناشی از پراکندگی های مختلف است. چنانچه پراکندگی از تک مگنون های غیر عادی باشد (T^3)، اگر ناشی از دو مگنون ها باشد ($T^{9/2}$)، امواج اسپینی ($T^{7/2}$)، فونون های اکوستیکی و فونون های اپتیکی (T^5).

در دماهای بالای $T > T_p$ مقاومت الکتریکی به صورت $\rho_{PI} = \rho_\infty \exp\left(\frac{E_g}{K_B T}\right)$ مشخص می شود

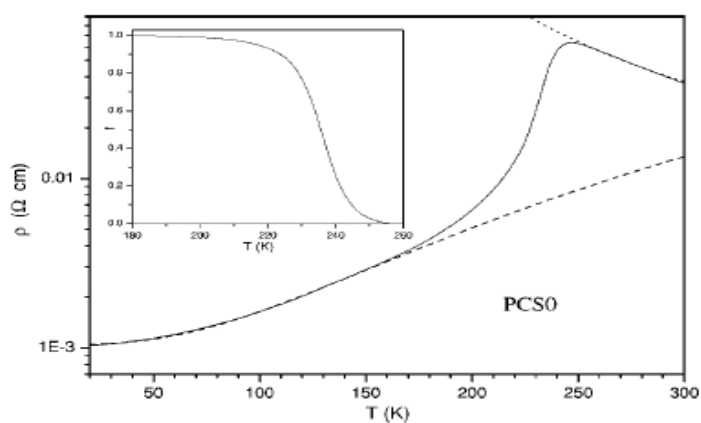
که $E_g = E_p / 2$ ، انرژی پلارون مقید است و برای فیلم LCMO از انطباق منحنی تجربی با رابطه ی فوق مقدار $E_g = 82/15$ meV بدست آمده است. در نمونه PCSO بهترین انطباق با ρ

توسط مکانیزم تزریق پلارون صورت می گیرد. در نواحی دمای میانی $\rho(T)$ به صورت :

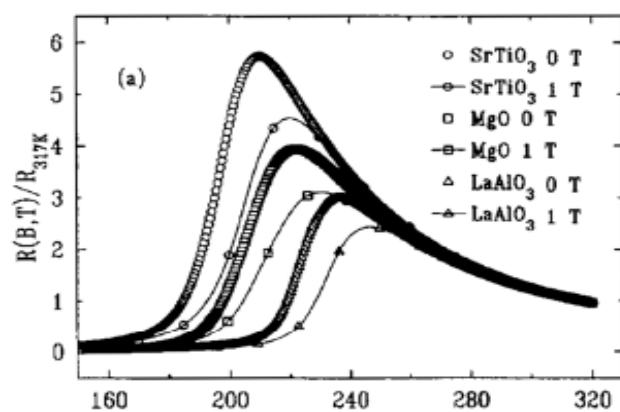
$$\rho(T) = \rho_{FM} f + \rho_{PI} (1 - f) \quad (1-2)$$

بیان شده که f نشان دهنده کسر حجمی از نواحی فلزی فرو مغناطیسی در سیستم و $(1-f)$ کسر حجمی از نواحی پارامغناطیس می باشد [۳۸]. در شکل ۱۲-۲ مقاومت الکتریکی بر حسب دما تا

۳۰۰ K برای نمونه $La_{0.7}Ca_{0.3}MnO_3$ با ضخامت $3000 \text{ \AA}$ رسم شده است.



شکل ۲-۱۲ منحنی مقاومت بر حسب دما در محدوده ۲۰۰-۳۰۰ K [۳۸].

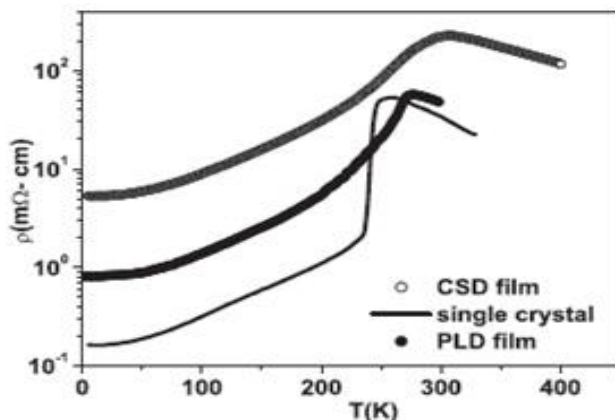


شکل ۲-۱۳ مقاومت بر حسب دما در میدان های مغناطیسی ۰-۱ T [۳۹].

در شکل ۲-۱۳ مقایسه ای بین مقاومت الکتریکی بر حسب دما در ترکیب $La_{0.7}Ca_{0.3}MnO_3$ با ضخامت ۲۰۰ nm روی زیر لایه های مختلف در ($H=0,1T$) نشان داده شده است. که نشان می دهد مقاومت الکتریکی در حضور میدان مغناطیسی کاهش می یابد [۳۹].

۲-۴-۱ مقایسه بین مقاومت الکتریکی در حالت حجمی و لایه نازک

در شکل ۲-۱۳ وابستگی دمایی مقاومت نمونه های بس بلور ولایه نازک جهت مقایسه نشان داده شده است [25].



شکل ۲-۱۴ مقاومت بر حسب دما تک بلور ولایه نازک [25].

در جدول ۲-۱ بعضی از پارامترهای بدست آمده در حالت تک بلور و لایه نازک آورده شده است [۴۰].

جدول ۲-۱ مقایسه ای بین دماهای گذاردن ترکیب $La_{0.7}Ca_{0.3}MnO_3$ در حالت حجمی و لایه نازک [۴۰].

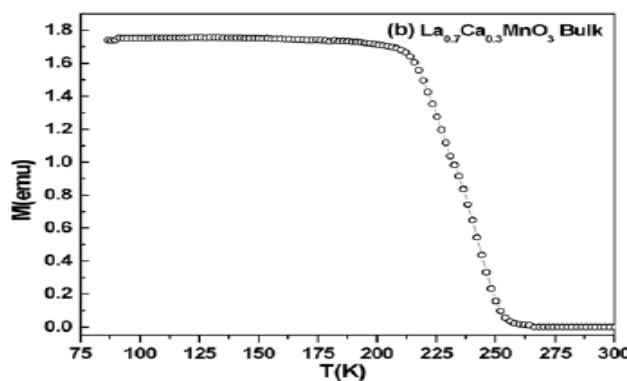
Sample	T_p (K)	$\rho_{4.2K}$ (m Ω cm)	ρ_p (m Ω cm)
LCMO			
CSD film	307	5.3	225
PLD film	277	0.82	57
Single crystal	259	0.16	53

از شکل فوق و شکل های ۲-۴ و ۲-۶ ملاحظه می شود در حالتی که نمونه مورد نظر به صورت لایه نازک وجود دارد مقاومت الکتریکی نسبت به حالت حجمی افزایش یافته است که در حالتی که با روش شیمیایی لایه نشانی صورت گرفته این افزایش چشمگیر می باشد.

۵-۲ بررسی خواص مغناطیسی $La_{0.7}Ca_{0.3}MnO_3$ در حالت حجمی و لایه

نازک

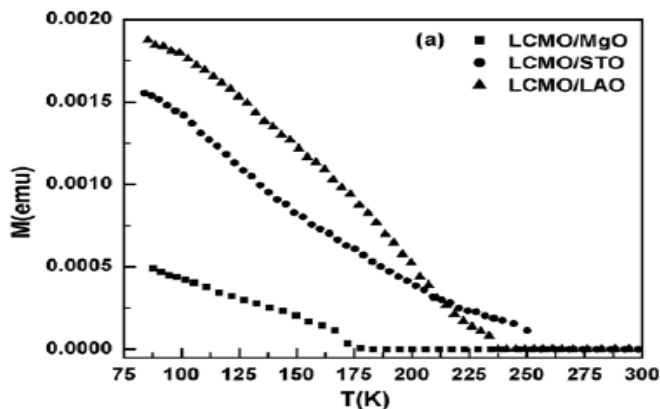
گذار فاز فرومغناطیس - پارامغناطیس با اندازه گیری مغناطیدگی M مطالعه می شود. دمای گذار یا دمای کوری از اندازه گیری ماکزیمم مقدار dM/dT بدست می آید. شکل ۱۵-۲ مغناطیدگی ترکیب $La_{0.7}Ca_{0.3}MnO_3$ را در حالت حجمی نشان می دهد.



شکل ۱۵-۲ وابستگی دمایی مغناطیدگی ترکیب $La_{0.7}Ca_{0.3}MnO_3$ در حالت حجمی [۳۴].

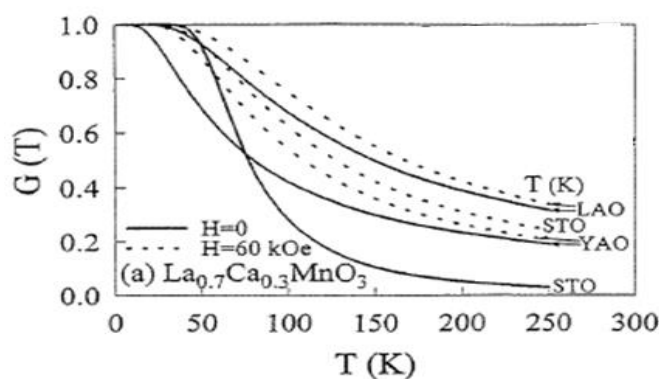
دمای کوری T_c این ترکیب ۲۴۵K می باشد. با لایه نشانی این ترکیب روی زیر لایه های مختلف مغناطیدگی تغییر می کند و به طبع آن دمای کوری جابه جا می شود.

در شکل ۱۶-۲ رفتار مغناطیدگی در لایه های نازک ترکیب $La_{0.7}Ca_{0.3}MnO_3$ روی زیر لایه های MgO ، STO ، LAO نشان داده شده است. دمای کوری با زیر لایه های STO ، LAO به ترتیب در ۲۱۸، ۲۴۴، ۱۸۶ K مشاهده شده است. T_c مشاهده شده با زیر لایه STO نزدیک به $LCMO$ حجمی است و در مورد LAO ، MgO دمای کوری کوچکتر از $LCMO$ حجمی می باشد.



شکل ۱۶-۲ مغناطیدگی بر حسب دما ترکیب $La_{0.7}Ca_{0.3}MnO_3$ در حالت لایه نازک روی زیر لایه های MgO ، STO ، LAO [۳۴].

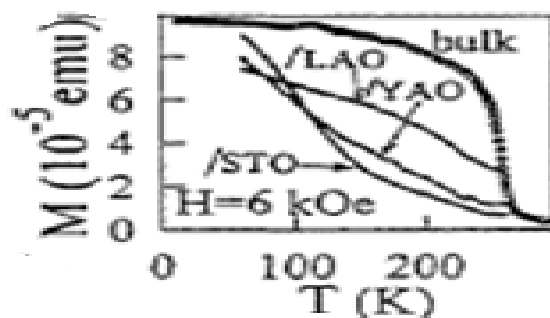
فاکتور اصلی که در این کاهش موثر است بی نظمی ساختاری ناشی از واهلش کرنش شبکه (به علت اختلاف بین پارامترهای شبکه زیر لایه و فیلم، واهلش شبکه رخ می دهد که باعث تولید نقص هایی می شود) می باشد [34]. در شکل ۱۷-۲ مغناطیدگی در زیر لایه های مختلف و در حضور میدان مغناطیسی با هم مقایسه شده است.



شکل ۱۷-۲ مغناطیدگی بر حسب دما در میدان های مغناطیسی ۰-۶۰ T [۴۱].

۲-۵-۱ مقایسه بین مغناطیدگی در حالت حجمی و لایه نازک

منحنی مغناطیدگی بر حسب دمای حالات حجمی و لایه نازک در حضور میدان مغناطیسی در شکل زیر نشان داده شده است.



۲-۵-۱ مغناطیدگی بر حسب دما حالت حجمی و لایه نازک در حضور میدان مغناطیسی $H = 6 \text{ Koe}$.

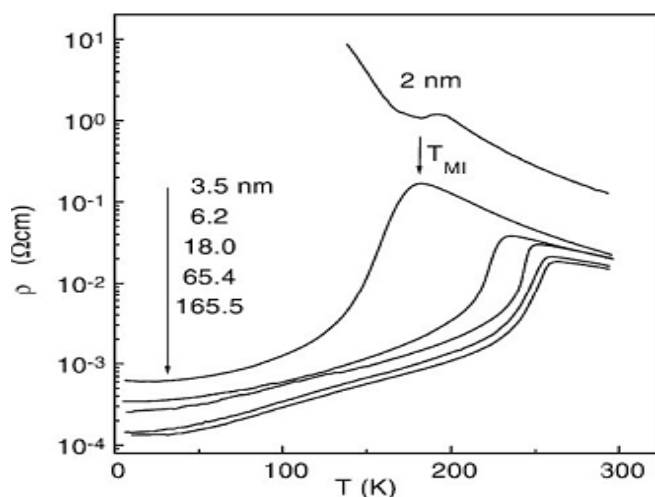
از شکل های ۲-۱۵، ۲-۱۶ و ۲-۱۸، مشاهده می شود که در حالتی که ترکیب به صورت لایه نازک می باشد دمای گذار کاهشی نسبت به حالت حجمی یافته است. علت این امر را می توان بخاطر وجود کرنش حاصل از زیر لایه دانست که در ادامه بیان می شود که با توجه به نوع کرنش دمای گذار به چه صورت تغییر می کند.

۲-۶ بررسی اثر ضخامت فیلم روی خواص ترابرد

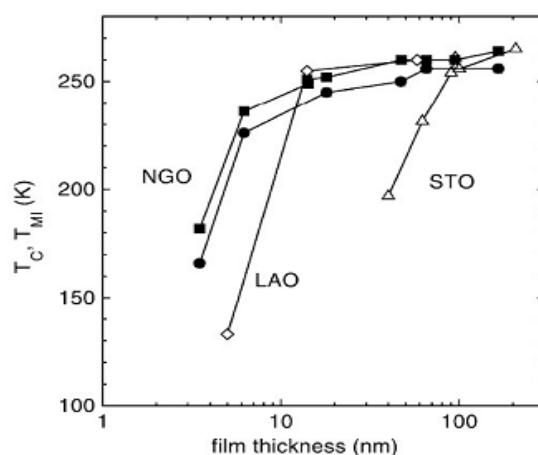
مطالعات زیادی بر روی خواص وابسته به ضخامت لایه های 2 nm تا 200 nm انجام شده است [۴۲].

برای ضخامت لایه $200 - 150 \text{ nm}$ $d >$ لایه ها شبیه مواد حجمی رفتار می کنند مادامی که کرنش لایه با تشکیل نقص ها در سطح نزدیک زیر لایه کاهش یابد. ابعاد متناهی (ضخامت)، کرنش دو بعدی و مقدار اکسیژن به عنوان پارامتر های حاکم روی رفتارهای مرتبط با ضخامت شناخته شده اند. عموماً لایه ها کاهش T_C و T_{MI} را با کاهش ضخامت نشان می دهند [۴۳]. در شکل های (۲-۱۹) و (۲-۲۰) این کاهش را می توان ملاحظه کرد. مشخصه فلزی در زیر یک

ضخامت بحرانی از دست می رود. این منجر به طرح وجود یک لایه مرده در سطوح لایه های منگنیت ها که دارای نظم مغناطیسی کم و رسانندگی الکتریکی پایینی می باشد، شد. به هر حال هر سه پارامتر مورد توجه بالا ممکن روی خواص لایه های خیلی نازک اثر بگذارد. لایه های با کرنش کم و با ضخامت ۱۰ سلول واحد ($d=4\text{nm}$) ترکیب $La_{0.7}Ca_{0.3}MnO_3$ ($A=Ca, Sr$) رسانای فلزی هستند از این رو از بین رفتن مشخصه فلزی و متوقف شدن T_C برای لایه های نازک تر ممکن است در نتیجه لایه های مرده در سطوح منگنیت ها باشد. در شکل ۲-۱۹ و ۲-۲۰ افزایش دمای عایق - فلز و دمای گذار با افزایش ضخامت لایه را نشان می دهد.



شکل ۲-۱۹ وابستگی دمایی مقاومت در ضخامت های ۲ و ۳/۵ و ۶/۲ و ۸ و ۴/۶۵ و ۵/۱۶۵ [۴۴].



شکل ۲-۲۰ تغییرات دماهای T_{MI} و T_C بر حسب ضخامت برای زیر لایه های LAO, NGO, STO [۴۵].

در جدول ۲-۲ پارامترهای وابسته به ضخامت لایه نمونه های LCMO, LBMO, LSMO با غلظت ۰/۳ نشان داده شده است.

جدول ۲-۲ مقایسه ای از پارامترهای وابسته به ضخامت، نعدادی ترکیبات مانند LCMO, LBMO, LSMO با غلظت $x=0/3$ [۴۵].

sample	thickness (nm)	T_{MI} (K)	T_C (K)	MR (%)	M_s (emu g ⁻¹)
A	165.5	264	256	-0.3	86
B	94.5	260		-0.23	
C	65.4	260	256		80
D	47.3	258	250		83
E	18.0	252	245	-0.96	92
G	14.0	248		-1.53	
H	6.2	236	226	-3.1	82
I	3.5	182	166	-6.73	86
J	2.0	none			

۲-۷ نتیجه گیری

در لایه نشانی لایه های نازک، کرنش بین لایه و زیر لایه اثر قوی روی T_{MI} و T_C دارد. مشاهده شده که هر دو دمای گذار با ضخامت فیلم تغییر می کنند و در بیشتر موارد این تغییرات بر حسب کرنش های تولید شده توسط زیر لایه توصیف، که با افزایش ضخامت واهلش می یابد.

اثرات کرنش مشاهده شده به طور کیفی با مدل تبادل دو گانه تفسیر می شود، مادامی که عنصر ماتریس انتقال t با کرنش ناشی از لایه نشانی تغییر می کند. بنابراین کرنش های کششی / تراکمی افزایش / کاهش را در T_{IM} با افزایش / کاهش انتقال الکترون به علت کشیدگی / منقبض شدن طول پیوند Mn-O تولید می کنند. کرنش تراکمی باعث کاهش مقاومت الکتریکی و افزایش T_C می شود که در مورد ترکیب مورد بررسی صدق می کند اما همیشه کرنش تراکمی باعث افزایش T_C نمی شود. کرنش کششی باعث کاهش T_C در لایه های نازک منگنیت می شود اما در موارد استثنایی باعث افزایش T_C هم می شود.

در مورد ترکیب $La_{0.7}Ca_{0.3}MnO_3$ که در روی زیر لایه های LAO، STO، MgO با روش PLD لایه نشانی شده است، کرنش شبکه که ناشی از عدم انطباق لایه و زیر لایه می باشد روی خواص ترابرد (T_c, T_{MI}, MR) از لایه های نازک ($< 100\text{nm}$) اثر می گذارد، برای لایه های نازک ($> 100\text{nm}$) کرنش شبکه کاهش می یابد و تولید انواع مختلف نقص ها مانند جا به جا شدگی ها می کند.

فصل سوم

بررسی روابط تئوری ترابرد الکتریکی

در ناحیه های فرو مغناطیس و پارا مغناطیس

- ناحیه ی فرو مغناطیس دمای پایین ($T < T_c$)

- ناحیه پارا مغناطیس دمای بالا ($T > T_c$)

۳-۱ مقدمه

منگنیت های پروسکایتی آلائیده بدلیل کاربرد آنها مورد توجه زیادی قرار گرفته اند. وقتی آنها گذار فرومغناطیس - پارا مغناطیس همراه با گذار عایق - فلز را نشان می دهند، مکانیزم تبادل دو گانه نقش اصلی در توصیف این گذار مغناطیسی ایفا می کند. علاقه به منگنیت های پروسکایتی با ساخت آنها به صورت لایه نازک توسعه یافت [46]. تعدادی از لایه ها گذار عایق - فلز را در دما های پایین تر بروز و MR بزرگ نزدیک به این گذار نشان می دهند. $\Delta R/R(H)$ بزرگتر از $10^6\%$ برای میدان های به بزرگی چندین تسلا رخ می دهد [47]. پایین تر از دمای گذار مواد رفتار فلزی و خاصیت فرومغناطیسی دارند و در دماهای بالاتر آنها عایق می باشند. با توجه به بیشتر مدل های تئوری ارائه شده، خواص ترابرد و مغناطیسی این ترکیبات توسط بر هم کنش های مغناطیسی و تبادل الکترون بین یون های Mn تعیین می شود. این گذار بستگی به میدان مغناطیسی اعمال شده دارد که منجر به CMR بزرگ نزدیک دمای گذار می شود. در فاز دمای بالا مقاومت دارای شیب منفی $\langle \frac{\partial \rho}{\partial T} < 0$ و در دمای پایین شیب مقاومت مثبت $\frac{\partial \rho}{\partial T} > 0$ می باشد.

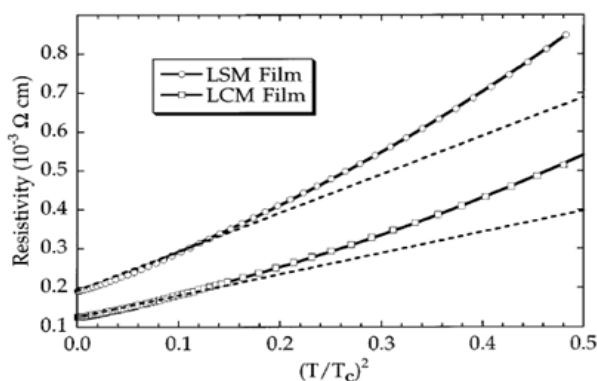
۳-۲ ناحیه ی فرو مغناطیس ($T < T_c$)

رفتار دمایی مقاومت الکتریکی در فاز فرو مغناطیسی منگنیت های لایه نازک که با کیفیت بالا رشد داده شده اند توسط رابطه:

$$\rho(T) = \rho_0 + \rho_2 T^2 + S \quad (1-3)$$

بیان شده است [37]. بانرجی رابطه $\rho_0 + \rho_2 T^2$ را پیشنهاد کرد که تا حدود 120K معتبر می باشد و جمله T^2 را به پراکندگی الکترون - الکترون نسبت داده است [37]. که ضرورتا وابسته به میدان نیست ضریب این جمله در میدان مغناطیسی به علت جلوگیری از نوسانات اسپینی

کاهش می یابد. با وجود این وابستگی به میدان ρ_2 در منگنیت ها بسیار کوچک است. بنابراین تئوری بر اساس نوسانات اسپینی نمی تواند بطور کامل وابستگی T^2 مشاهده شده را توضیح دهد. در شکل ۱-۳ انطباق داده های تجربی با معادله $\rho_0 + \rho_2 T^2$ نشان داده شده است که در آن خطوط نقطه چین نتایج برازش داده ها با معادله فوق می باشد.



شکل ۱-۳ مقاومت بر حسب مجذور دما در فیلم های LSMO, LCMO با غلظت ۰.۳۳٪ [49].

کادوواکی^۱ و همکارانش رابطه ی تجربی بین ρ_2 و γ ضریب ظرفیت گرمایی الکترونی را برای موادی که از پراکندگی الکترون - الکترون پیروی می کنند، نتیجه گیری کردند که ρ_2/γ^2 دارای مقدار مستقل از ماده و تقریباً برابر با 1×10^{-5} می باشد [۵۰].

مقدار ρ_2 با رابطه ی زیر تعریف می شود [۵۱]:

$$\rho_2 = \frac{9\pi^3 N^2 J^2 h^5}{8e^2 E_F^4 K_F} \left(\frac{k_B}{m \times D} \right)^2 I(\varepsilon), \quad I(\varepsilon) = \int_{\varepsilon}^{\infty} \frac{x^2}{\sinh^2 x} dx \quad (2-3)$$

NJ انرژی جفت شدگی الکترون - مگنون که بزرگتر یا مساوی با $\mu = W - E_F$ است که $2W$ پهنای نوار می باشد. $I(\varepsilon)$ تعریف شده در رابطه بالا دارای حد پایین $\varepsilon = Dq_{\min}^2 / 2k_B T$ می باشد که $Dq_{\min}^2$ مینیمم انرژی مگنون است که نوارهای اسپین بالا و پایین را به هم متصل می کند.

1 - Kadowaki

در بازه دمایی بین ۶۰ K تا ۱۲۰ K مقدار $I(\varepsilon) \sim 1/2$ می باشد برای موادی که در آنها وابستگی T^2 مشاهده می شود. D ثابت سختی موج اسپین است که توسط پراکندگی نوترون تعیین می شود. در عمل ضریب جمله T^2 حدوداً ۶۰ - ۷۰ بار از آنچه برای پراکندگی الکترون - الکترون انتظار می رود، بزرگتر است. در نتیجه بیان کردند که منبع دیگری برای رفتار T^2 ، پراکندگی تک موج اسپینی می باشد. مکانیزم تبادل دوگانه مقاومتی متناسب با T^2 را پیش بینی می کند. ذرات اصلی در مکانیزم های برهم کنش تبادل دو گانه، الکترون های رسانش و اسپین های جایگزیده می باشند. اسپین های الکترون های رسانش با اسپین های جایگزیده توسط قاعده هوند جفت می شوند. بنابراین هامیلتونی دارای شکل زیر می باشد [52]:

$$H = -t \sum_{i,j,\sigma} c_{i,\sigma}^+ c_{j\sigma} + \frac{J}{2} \sum_i S_i \cdot \sigma_i \quad (3-3)$$

c_j عملگر نابودی حفره، i و j نزدیک ترین همسایه ها، S_i و $\frac{\sigma_i}{2}$ به ترتیب نشان دهنده اسپین از Mn^{+3} و اسپین حفره رسانش می باشد. کوبو^۱ و همکارانش از روش هریس و لانگ^۲ و با استفاده از هامیلتونین فوق رابطه ی زیر را برای مقاومت بدست آوردند:

$$\rho \approx \frac{3\hbar (ak_F)^6 (s + \langle S_z \rangle)^2}{8\pi^2 k_F (2s+1)^2} \left(\frac{k_B T}{Dk_F^2} \right)^2 \quad (3-4)$$

D ثابت سختی موج اسپین، k_B ثابت بولتزمن می باشد و $\langle S_z \rangle$ متوسط اسپین (پایین) حفره ها می باشد. در جدول ۱-۳ بعضی از کمیات استخراج شده از مطالعه ترکیب LCMO باغلظت های $X = 0.2/3$ و $0.33/3$ آورده شده است [53].

1 -Kubo

2 -Harris and Lange

جدول ۱-۳ مقدار γ و چگالی حالت‌های ترکیب LCMO باغلظت‌های $0.2/0.3$ و $0.33/0.33$ [53].

$\text{La}_{1-x}\text{Ca}_x\text{MnO}_3$	$\rho_2 (\times 10^{-1} \mu\Omega\text{-cm/K}^2)$	γ (mJ/mol K ²)	$N(\varepsilon_F)$ ($\times 10^{28}/\text{eV m}^3$)	ε_F (eV)	m^*/m	$2W$ (eV)
$x = 0.2$	5.39	7.17	1.06	0.49	1.7	1.64
$x = 0.3$	3.84	5.2	1.15	0.68	1.6	5.18
$x = 0.33$	2.86	4.7	1.14	0.75	1.58	5.70
$\text{Nd}_{0.67}\text{Sr}_{0.33}\text{MnO}_3$ thin film [10]	0.39	25	6.4	0.13	8.8	0.55

جمله مستقل از دمای ρ_0 در رابطه (۱-۳) را به پراکندگی از ناخالصی‌ها، نقص‌ها، مرزهای دانه‌ای و دیواره‌های حوزه نسبت می‌دهند. ρ_0 عموماً متناسب با $m^*/n\tau_0$ است که τ_0 زمان واهلش در دمای صفر، n غلظت حاملها و m^* جرم موثر حاملها در دماهای پایین می‌باشد. مقدار این جمله در لایه‌های نازک کوچکتر از بس بلورها می‌باشد [۵۴].

رابطه (۱-۳) می‌تواند شامل ترم‌های: $T^{3/2}$ که ناشی از بی‌نظمی استاتیکی است، T^3 که ناشی از پراکندگی از تک‌مگنون‌های^۱ غیر عادی [55]، ترم $T^{7/2}$ که ناشی از پراکندگی از موج‌های اسپینی^۲ [۵۴]، $T^{9/2}$ ناشی از دو مگنون‌ها [52]، T^5 ناشی از فونون‌های آکوستیکی^۳ [۵۶] و همچنین شامل جمله $B/\sinh^2(\hbar\omega_s/2K_B T)$ که ناشی از حرکت مرتبط با پلارون کوچک می‌باشد.

وانگ^۴ و همکارانش فرض کردند که حالت‌های الکترونی با اسپین اقلیت، جایگزیده هستند و وابستگی $\Delta\rho \approx T^{3/2}$ را بیان کردند [۵۶]. فوروکاوا^۵ پیش‌بینی کرد که فرایند پراکندگی تک

1 - Magnon
2 - Spin-wave
3 - Acoustic
4 - Wang
5 - Furukawa

مگنونی غیر عادی (AMS) ^۱ دارای وابستگی $(T/D_S)^3 \sim$ می باشد که D_S ضریب سختی موج - اسپین در سیستم نیمه فلزی است و با کاهش D_S ($D_S \alpha W$) مولفه T^3 غالب می شود این پراکندگی توسط تئوری آشفته‌گی در جفت شدگی هوند بین اسپین های یون و الکترون، محاسبه می شود. در ادامه روابط تئوری که جملات $T^{3/2}$ و T^3 را ایجاد می کنند را مورد بحث و بررسی قرار می دهیم. هامیلتونی اکسید های منگنز از رابطه زیر پیروی می کند [57]:

$$\hat{H} = -t \sum_{i \neq j, \sigma} c_{i, \sigma}^+ c_{j, \sigma} - \frac{J_H}{S} \sum_{i, \sigma, \sigma'} c_{i, \sigma}^+ \sigma_{\sigma, \sigma'} c_{i, \sigma'} S_i \quad (3-5)$$

که $C_{i, \sigma}^+$ یک الکترون در جایگاه i و با اسپین σ خلق می کند، t دامنه جهش بین جایگاه های همسایه و S_i اسپین یون در جایگاه i می باشد. با محاسبه وابستگی دمایی، معکوس زمان پراکندگی بارابطة زیر بیان:

$$\frac{1}{\tau_{nd}} = \frac{2\pi}{\hbar} \frac{18\bar{\delta}t^2}{S^2} \sum n_q (1+n_{q'}) \times \delta(\varepsilon_{k'} - \varepsilon_k + \omega(q') - \omega(q)) \quad (3-6)$$

$$\bar{\delta}^2 = \left(\frac{1}{6N} \right) \sum_{i,j} (\delta_{i,j})^2 \quad \text{که}$$

و $\omega(q)$ متناسب با t که بستگی به جفت شدگی هوند ندارد، ε_K انرژی الکترون می باشد.

همچنین در تقریب شبه الاستیک

$$\frac{1}{\tau_{nd}} = \frac{36\pi}{h} \bar{\delta}^2 N(E_F) \left(\frac{\delta m}{s} + (\delta m)^2 \right) \quad (3-7)$$

$$\delta m(T) = 1 - \frac{M(T)}{M(0)} \sim T^{3/2} \quad \text{که}$$

و $N(E_F)$ چگالی حالت ها در انرژی فرمی می باشد و با توجه به اینکه $\rho = m^*/ne^2\tau$ است می

توان مقاومت الکتریکی را محاسبه کرد [58]:

$$\Delta\rho_{nd} = \frac{m^*}{ne^2} \frac{36\pi}{\hbar} \tilde{\alpha}^2 N(E_F) \frac{0.0587}{S^2} \times \left(\left(\frac{a_0^2 T}{\rho_s} \right)^{3/2} + 0.0587 \left(\frac{a_0^2 T}{\rho_s} \right)^3 \right) \quad (۸-۳)$$

که $\rho_s = -E_{KE} N_e / (12SN) a_0$ و پارامتر شبکه می باشد.

برای مقادیر واقعی ρ_s ، جمله $T^{3/2}$ بزرگتر از جمله T^3 تا دماهای بالاتر از دمای بحرانی می باشد.

دایسون در سال ۱۹۵۶ تئوری برهم کنش های موج - اسپین را پیشنهاد کرد [۵۹]. جمله $T^{7/2}$ که ناشی از پراکندگی موج - اسپین است، یک مکانیزم پراکندگی غالب در ناحیه فرو مغناطیس می باشد. مسافت آزاد میانگین^۱ مربوط به برخورد های اسپین - اسپین متناسب با $T^{-7/2}$ می باشد که این وابستگی دمایی $T^{7/2}$ را برای مقاومت الکتریکی نشان می دهد. هنگامی که $\rho = m \times v_F / (ne^2 l)$ (m جرم موثر حامل های بار، n غلظت حامل ها و v_F سرعت فرمی) می باشد، ضریب مولفه $T^{7/2}$ متناسب با $D_s^{-1/2} (D_s \alpha W)$ که W پهنای نوار) می شود [۵۹].

اکنون سهم پراکندگی از مگنون ها را در نظر می گیریم، کوبو^۱ و همکارانش پراکندگی از مگنون ها را در نیمه فلز هایی که نوارهای اسپین بالا (اقلیت) و اسپین پایین (اکثریت) آنها جدا شده اند را مطالعه کردند [60] و به این نتیجه رسیدند که پراکندگی تک مگنونی پنهان است و فقط فرایند دو مگنونی برای مقاومت الکتریکی دمایی پایین معتبر می باشد که سهمی متناسب با $T^{9/2}$ دارد. برحسب چگالی حفره به ازای سلول n، متوسط سختی اسپین D و انتگرال جهش موثر^۲ t، ضریب این جمله A می تواند به صورت زیر نوشته شود:

$$A = \left(\frac{3a\hbar}{32\pi e^2} \right) (2 - n/2)^{-2} (6\pi^2 n)^{5/3} \left(2.52 + 0.0017 \frac{\bar{D}}{a^2 t^*} \right) \times \left\{ \frac{a^2 k_B}{\bar{D} (6\pi^2)^{2/3} (0.5^{2/3} - n^{2/3})} \right\}^{9/2} \quad (۹-۳)$$

1 - Kubo

2 - Effective hopping integral

که از روابط $ak_F = (6\pi^2 n)^{1/3}$ (که $\hbar K_F$ ممنتوم فرمی و a ثابت شبکه) و $E_F = t^* (6\pi^2)^{2/3} (0.5^{2/3} - n^{2/3})$ استفاده شده است. انرژی فرمی E_F در مرز باند اسپین موثر $S=2-n/2$ اندازه گیری شده است، مقدار t محاسبه شده در $La_{0.7}Ca_{0.3}MnO_3$ حدوداً ۴۰ meV در فرکانس پلاسما موثر $\hbar\Omega_p^* = 1/1\text{ eV}$ و $n \sim 0.3$ می باشد. مادامی که D حدوداً 100 meV است، ما انتظار داریم جمله $D/a^2 t^*$ 0.017 بسیار کوچکتر از $2/52$ باشد و بنابراین می تواند در معادله فوق از آن چشم پوشی نمود. باید توجه داشته باشیم که با در نظر گرفتن ساختار نوار قطبی و پتانسیل های تصادفی معادله فوق باید تغییر کند. به هر حال A باید متناسب با $(T/D)^{4/5}$ با یک ضریب عددی متفاوت باشد. با کمک گرفتن از دوپارامتر n و D اندازه A را می توان تعیین کرد. در منگنیت های آلیایده شده n تقریباً مساوی با تراز آلیایده x است. متوسط سختی اسپین D باید نزدیک به سختی اسپین موج بلند $D(0)$ باشد. متوسط D متناسب با T_C است به صورتی که $D/K_B T_C$ یک ثابت جهانی در سیستم منگنیت ها است. D در ترکیب $La_{0.7}Sr_{0.3}MnO_3$ با $T_C = 378\text{ K}$ تقریباً برابر با $D(0)$ است. بنابراین مقدار جهانی $D/K_B T_C$ باید نزدیک به مقدار $D(0)/K_B T_C$ در ترکیب $La_{0.7}Sr_{0.3}MnO_3$ که دارای مقدار $0.2A^{0.2} \pm 0.4/5$ است، باشد [۶۰].

جمله T^5 که ناشی از پراکندگی الکترون - فونون الاستیک می باشد با اطلاعات تجربی سازگار نیست.

الکساندرو^۱ و همکارانش تئوری پیشنهاد کردند که بیان می کند وابستگی دمایی مقاومت ویژه در دمای پایین با تراورد پلارون های کوچک سازگار است [61]. تئوری نشان می دهد که برای $K_B T < 2t_p$ رابطه زیر برای مقاومت برقرار می باشد :

1 -Alexandrov

$$\rho(T) = (\hbar^2 / ne^2 a^2 t_p) (1/\tau) \quad (10-3)$$

t_p انتگرال جهش موثر پلارون ها، n چگالی حامل ها، a ثابت شبکه و $1/\tau$ سرعت واهلش، که برابر است با :

$$1/\tau = \sum_{\alpha} A_{\alpha} / \sinh^2(\hbar\omega_{\alpha} / 2k_B T) \quad (11-3)$$

ω_{α} فرکانس متوسط یک مد فونون اپتیکی و $a\alpha$ ثابتی است که بستگی به قدرت جفت شدگی الکترون - فونون دارد. از معادلات بالا می توانیم دریابیم که تنها مد های اپتیکی با جفت شدگی الکترون - فونون قوی سهمی در مقاومت الکتریکی در دماهای پایین به علت فاکتور $1/\sinh^2(\hbar\omega_{\alpha} / 2K_B T)$ دارند. در میان مد های اپتیکی تنها نرم ترین فونون اپتیکی که مربوط به کج شدن یا چرخش هشت وجهی اکسیژن که، به طور قوی با حامل ها جفت می شوند، را در نظر می گیریم. مدهای فونون فرکانس بالا مثل مدهای یان - تیلر جفت شدگی قوی با حامل ها دارند اما این مد ها به خاطر یک فاکتور کوچک نمایی در معادله فوق دارای سهم قابل چشم پوشی در مقاومت الکتریکی زیر ۱۰۰ K دارند. با در نظر گرفتن پراکندگی از نا خالصی ها مقاومت الکتریکی در دمای پایین به صورت [61] :

$$\rho(T) = \rho_0 + B / \sinh^2(\hbar\omega_s / 2K_B T) \quad (12-3)$$

بیان می شود که ω_s فرکانس متوسط نرم ترین مد اپتیکی و B ثابتی که متناسب با m^*/n می باشد (m^* جرم موثر حامل ها) [۶۱]. در جدول ۲-۳ ضرایب A و B از جمله های $T^{9/2} / \sinh^2(\hbar\omega_{\alpha} / 2K_B T)$ ، به ترتیب برای نمونه های NSMO, LCMO آورده شده است.

جدول ۲-۳ ضرایب A, B, از جمله های $T^{9/2}/\sinh^2(\hbar\omega_\alpha/2K_B T)$, به ترتیب برای نمونه های NSMO, LCMO [۶۰].

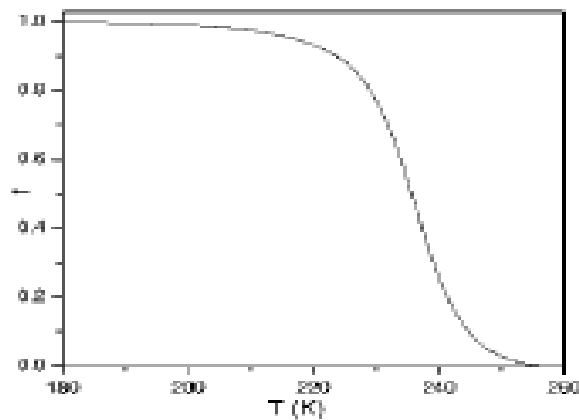
Compounds	T_C (K)	ρ_0 ($\mu\Omega$ cm)	A ($m\Omega$ cm/K ^{4.5})	B ($\mu\Omega$ cm/K)	$\hbar\omega_c/k_B$ (K)
LCMO(¹⁶ O)	231.3	122.4	$1.20(2)\times 10^{-11}$	0.370(3)	74.4(2)
LCMO(¹⁸ O)	217.3	140.5	$1.89(2)\times 10^{-11}$	0.434(3)	66.8(3)
NSMO(¹⁶ O)	203.9	248.2			
NSMO(¹⁸ O)	186.4	289.2			

۳-۳ ناحیه میانی فرومغناطیس فلزی - پارامغناطیس عایق

در اثر جدایی فاز بین نواحی فرومغناطیس فلزی و پارامغناطیس عایق ناحیه میانی ایجاد می شود که شامل مخلوطی از این دو فاز می باشد. در نتیجه در این ناحیه رابطه ی زیر برای مقاومت الکتریکی بیان شده است که در صدی از روابط حاکم در ناحیه دمای بالا و پایین می باشد :

$$\rho(T) = \rho_{FM} f + \rho_{PI} (1 - f) \quad (۱-۲)$$

که f نشان دهنده کسر حجمی از نواحی فرو مغناطیسی فلزی در سیستم و (1-f) کسر حجمی از نواحی پارامغناطیس عایق می باشد. شکل ۲-۳ منحنی f بر حسب دما ترکیب LCMO را نشان می دهد که بیان می کند این تابع در دما های پایین دارای مقدار یک می باشد و با افزایش دما کاهش می یابد و در فاز پارامغناطیس عایق به مقدار صفر می رسد [۶۲].



شکل ۳-۲ منحنی f برحسب دما ترکیب LCMO [۶۳].

۳-۴ ناحیه پارامغناطیس ($T > T_C$)

در این ناحیه دمایی برای بررسی رفتار مقاومت الکتریکی سه مدل ارائه شده است: مدل نیمرسانا آرنیوس^۱ [65] و مدل جهش با دامنه متغیر (VRH)^۲ [67] و مدل جهش نزدیکترین همسایه ها برای ترابرد پلارون های کوچک (NSH)^۳ [۶۶و۶۴]. از آنجایی که خواص منگنیت ها بستگی به میکرو ساختار و مقدار اکسیژن ترکیب دارد تحقیقاتی در لایه های نازک مختلف با کیفیت متفاوت انجام شده است.

۳-۴-۱ قانون آرنیوس

در دما های بالا که انرژی گرمایی برای برانگیختن الکترون ها به حالت های گسترده ی فراتر از E_C در نوار رسانش کافی است، رسانندگی "عادی" رخ می دهد که ناشی از رانش الکترون ها در میدان الکتریکی است. این رسانندگی به صورت زیر است:

$$\sigma = \sigma_{\infty} \exp\left\{-\left(E_C - E_F\right)/kT\right\} \quad (۳-۱۳)$$

1 - Band -gap

2 - Variable-range hopping

3 - Nearest-neighbor hopping

که در آن σ_∞ ، تابعی از تحرک الکترون‌ها و چگالی حالت‌ها است و نشان دهنده مینیمم رسانندگی است. مقادیر رسانندگی پایین‌تر تنها در موادی مشاهده شده است که از خود رفتار نیم‌رسانایی نشان می‌دهند. در دماهای پایین‌تر، برانگیختگی تنها می‌تواند برای حالت‌های جایگزیده ی بین E_a (انرژی فعال سازی^۱) و E_c صورت گیرد. الکترون‌ها در این حالت‌ها تنها در صورتی می‌توانند در رسانندگی مشارکت داشته باشند که بتوانند انرژی ΔW_1 را، که برای جهش از یک جایگاه جایگزیده به جایگاه دیگر لازم است، کسب کنند. بنابراین، مینیمم انرژی فعال سازی $E_a + \Delta W_1$ است و رسانندگی به شکل زیر خواهد بود [68]:

$$\sigma = \sigma_1 \exp\left\{-\left(E_a + \Delta W_1 - E_F\right)/kT\right\} \quad (۱۴-۳)$$

σ_1 در این رابطه خیلی کوچکتر (حدود هزار مرتبه) از σ_∞ است و به افت و خیزهای موجود در حرکت الکترون‌ها، که از برهم کنش با فونون‌ها ناشی می‌شود، بستگی دارد این فرآیند را جهش فعال گرمایی^۲ می‌گویند. در دماهای باز هم پایین‌تر، هنوز دو فرآیند جهش دیگر امکان پذیر است؛ مشروط براینکه، نواری از حالت‌های جایگزیده در اطراف E_F وجود داشته باشد. مانند حالت قبلی، هنوز هم جهش فعال گرمایی به جایگاه‌های همسایه می‌تواند از حالت‌هایی که نزدیک به E_F قرار دارند روی دهد. رسانندگی حاصل از این سازوکار به شکل زیر است :

$$\sigma = \sigma_2 \exp\left\{-\left(\Delta W_2\right)/kT\right\} \quad (۱۵-۳)$$

که در آن ΔW_2 اختلاف انرژی میانگین بین جایگاه‌ها است. این انرژی تقریباً نصف پهن شدگی انرژی در نوار اطراف E_F است. σ_2 ، مانند σ_1 ، به بسامد جهش الکترونی بستگی دارد. با توجه به توضیحات فوق مقاومت ویژه در ناحیه دمایی پایین و اینکه رسانندگی عکس مقاومت ویژه می‌باشد، می‌تواند به فرم کلی زیر تعریف می‌شود :

1 - Activation Energy
1-Thermal activated Hopping

$$\rho = \rho_{\infty} \exp\left[\frac{E_a}{2k_B T}\right] \quad (۳-۱۶)$$

که در آن E_a انرژی فعال سازی، ρ_{∞} مقاومت ویژه باقیمانده و k_B ثابت بولتزمن است.

۳-۴-۲ مدل جهش پلارون های کوچک در نزدیک ترین همسایه ها (پلارونهای

هولستین^۱)

در این مدل با توجه به مقایسه حرکت حاملهای بار با نوسانات شبکه، تئوری های متفاوتی بیان می شود که منجر به روابط متفاوتی برای مقاومت الکتریکی شده است. اگر حرکت حاملهای بار سریعتر از نوسانات شبکه باشد تئوری ها منجر به مدل آدیاباتیک شده است که رفتار دمایی تحرک و مقاومت توسط روابط زیر بیان شده است [69]:

$$\mu = \frac{3ea^2}{2} \frac{\omega_0}{2\pi kT} \exp\left[-\frac{W_p}{kT}\right] \quad (۳-۱۷)$$

که E_p ، $W_p = E_p/2 - t$ انرژی تشکیل پلارون، t انتگرال انتقال الکترون، ω_0 فرکانس فونون اپتیکی، a فاصله جهش و e بار الکترون می باشد. معادله فوق برای دماهای بالاتر از نصف دمای دبای^۲ θ_D بیان شده است. این معادله برای نمونه هایی با دمای کوری حدود $150-200$ K $\theta_D > \theta_D/2$ در نظر گرفته شده است. با توجه به اینکه $\rho = 1/(ne\mu)$ می باشد مقاومت الکتریکی در مدل پلارون های کوچک آدیاباتیک از رابطه زیر پیروی می کند:

$$\rho = \rho_a T \exp\left(\frac{E_a}{k_B T}\right) \quad (۳-۱۸)$$

اگر حرکت حاملها قابل مقایسه با نوسانات شبکه باشد روابط زیر برای رفتار تحرک و مقاومت بیان شده است. تحرک در این حالت به صورت زیر بیان می شود [69]:

1 - Holstein
2 - Debye

$$\mu = \frac{3ea^2}{2h} \frac{t^2}{KT} \left(\frac{\pi}{4W_p kT} \right)^{1/2} \exp \left[-\frac{W_p}{kT} \right] \quad (19-3)$$

که $W_p = \frac{E_p}{2}$ می باشد. تئوری غیر ادیاباتیک در محدوده

$$t \ll t_{\max} = \left(\frac{2W_p KT}{\pi} \right)^{1/4} \left(\frac{h\omega_0}{\pi} \right)^{1/2} \quad (20-3)$$

قابل کاربرد می باشد. در نتیجه مقاومت الکتریکی در مدل پلارون های کوچک غیر آدیاباتیک توسط رابطه زیر بدست می آید [70]:

$$\rho = \rho_a T^{3/2} \exp \left(\frac{E_a}{k_B T} \right) \quad (21-3)$$

۳-۴-۳ مدل جهش با دامنه متغیر (VRH)

کویی^۱ و مات مدل جایگزیدگی حامل ها توسط نوسانات تصادفی در جفت شدگی هوند را پیشنهاد کردند که جایگزیدگی ممکن است منجر به تشکیل لبه تحرک یا جهش با دامنه متغیر بین حامل های جایگزیده شود [۷۱].

اگر حامل ها توسط نوسانات پتانسیل کاتوره ای جایگزیده شوند عبارت جهش با دامنه متغیر مناسب برای توصیف داده ها تجربی می باشد. در دماهای خیلی پایین، آهنگ جهش گرمایی به حالت های همسایه خیلی کوچک است و احتمال اینکه الکترون بتواند، با تونل زنی به جایگاه های دورتر در آنسوی همسایه های اولش، حالتی با انرژی مشابه را بیابد بیشتر است. زیرا در این صورت گزینش بیشتری از انرژی های ممکن وجود خواهد داشت. این سازوکار را "جهش با دامنه متغیر (VRH)" می نامند. جهش دامنه متغیر مات به صورت زیر بیان می شود:

1 - Coey

$$\rho = \rho_{\infty} \exp \left[\left(\frac{T_0}{T} \right)^{\frac{1}{4}} \right] \quad (22-3)$$

در رابطه فوق T_0 بصورت زیر می باشد:

$$kT_0 = \frac{24}{\pi N(E_F) \xi^3} \quad (23-3)$$

که در آن ξ طول جایگزیدگی^۱ و $N(E_F)$ چگالی حالتها در تراز فرمی است [۷۲].

بر طبق این تئوری، الکترونها در فرآیند رسانش از حالت پایه ی i به حالت j می جهند. حالت j در فاصله ای از i جایگزیده شده است که در آن فاصله $r_{ij}=R$ خیلی بزرگتر از طول واپاشی^۲ تابع موج است. رسانندگی σ به دو فاکتور بستگی دارد :

۱- فاکتور بولتزمن : $\exp(-W / K_B T)$

۲- فاکتور مربوط به همپوشانی توابع موج : $\exp(-\alpha R)$

که K_B ضریب بولتزمن، T دما، W انرژی جهش، α عکس طول واپاشی تابع موج و R فاصله ی

جدایی i و j است. مات فرض کرد که رسانش متناسب با $\exp(-\alpha R - \frac{W}{K_B T})$ بوده و می توان آن

را به صورت زیر نوشت [73]:

$$\sigma = \sigma_0 \exp(-\alpha R - \frac{W}{K_B T}) \quad (24-3)$$

که σ_0 تقریباً مستقل از دما است.

1 - Localization length

۲- Decay length

برای به دست آوردن انرژی جهش این نکته را در نظر می گیریم که مینیمم انرژی بین حالت های اطراف E_F را می توان از چگالی حالت ها در واحد حجم، $N(E_F)$ ، به صورت زیر به دست آورد. تعداد حالت ها بین E و $E+dE$ در حجم V عبارت است از :

$$VN(E_F)dE \quad (25-3)$$

اگر V درست شامل یک حالت باشد، مقدار $(25-3)$ را می توان واحد قرار داد و در این صورت dE فاصله ی بین یک حالت انرژی و حالت بعد خواهد بود. بنابراین، فاصله ی میانگین بین حالت های مجاور، W ، برابر است با :

$$W = 1/\{VN(E_F)\} \quad (26-3)$$

اگر الکترون بتواند حالت هایی را تا شعاع R اختیار کند با قرار دادن $V = 4/3(\pi R^3)$ ، این رابطه به صورت زیر در می آید :

$$W = 3/\{4\pi R^3 N(E_F)\} \quad (27-3)$$

بنابراین، هر چه الکترون از فاصله ی دورتری بتواند تونل بزند، احتمال اینکه بتواند جایگاهی با W کوچکتر را بیابد بیشتر خواهد بود. احتمال برانگیختگی گرمایی برابر است با $\exp(-W/K_B T)$.

با جایگذاری W در معادله $(24-3)$ داریم :

$$\exp[-2\alpha R - 3/\{4\pi R^3 N(E_F)K_B T\}] \quad (28-3)$$

احتمال ماکزیمم هنگامی رخ می دهد که بزرگی نما مینیمم باشد، یعنی :

$$2\alpha - 9/\{4\pi R^3 N(E_F)K_B T\} = 0 \quad (29-3)$$

بنابراین:

$$R = [\gamma / \{\pi \alpha N(E_F) K_B T\}]^{1/4} \quad (30-3)$$

یا

$$R \approx 1 / \{\pi \alpha N(E_F) K_B T\}^{1/4} \quad (31-3)$$

با جایگذاری R در رابطه (3-24) مشاهده می کنیم که رسانندگی به شکل زیر است [74]:

$$\sigma = \sigma_0 \exp(-B/T^{1/4}) \quad (32-3)$$

که در آن

$$B = \gamma / \gamma_0 [\alpha^2 / \{\pi N(E_F) K_B\}]^{1/4} \quad (33-3)$$

فصل چهارم

بررسی ترابرد الکتریکی نمونه

$La_{0.67}Ca_{0.33}MnO_3$ با ضخامت های

(۴/۵ nm و ۷ و ۱۲ و ۳۷)

- بررسی ترابرد الکتریکی نمونه $La_{0.67}Ca_{0.33}MnO_3$
- بررسی روابط حاکم بر ترابرد الکتریکی در ناحیه فرومغناطیس فلزی ($T < T_c$)
- بررسی روابط حاکم بر ترابرد الکتریکی در ناحیه پارامغناطیس عایق ($T > T_c$)
- بررسی روابط حاکم بر ترابرد الکتریکی در ناحیه دمای میانی (مخلوط فازی فرومغناطیس فلزی - پارامغناطیس عایق)
- نتیجه گیری

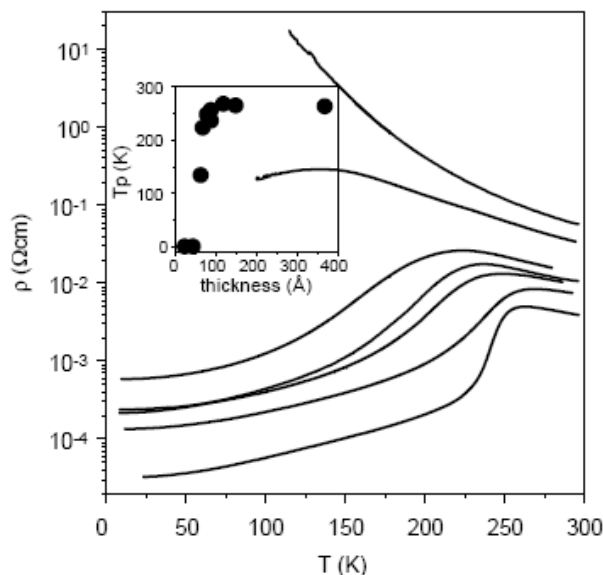
۴-۱ مقدمه

$La_{0.67}Ca_{0.33}MnO_3$ (LCMO) یکی از منگنیت‌هایی است که اثر CMR را نشان می‌دهد. خواص ترابرد در LCMO و دیگر منگنیت‌ها از جفت شدن تعدادی از درجات آزادی: شامل شبکه، اسپین، بار و اوربیتال ناشی می‌شود [۷۵]. مکانیزم اساسی که در دمای پایین درجات آزادی اسپینی و بار را در حالت فلزی - فرو مغناطیسی جفت می‌کند تبادل دو گانه است که توسط زنر پیشنهاد شد [۷۶]. به علت این جفت شدگی ممکن است بتوان با کنترل کردن فواصل شبکه به کنترل خواص ترابرد پرداخت. ترکیب $La_{0.67}Ca_{0.33}MnO_3$ دارای ساختار پروسکایتی اعوجاج یافته می‌باشد. این نقصان در تقارن در مقایسه با پروسکایت‌های مکعبی ایده آل ناشی از کج شدن هشت وجهی MnO_6 اطراف یون Mn می‌باشد. زاویه پیوند بین Mn-O-Mn در هشت وجهی اعوجاج یافته کوچکتر از 180° درجه می‌باشد [۷۷]. لایه‌های خیلی نازک $La_{0.67}Ca_{0.33}MnO_3$ مورد مطالعه در این مطالعه بروش اسپاترینگ و در فشار بالا ($3/4$ mbarr) و دمای $c^0 900$ رشد داده شده است [78]. زیر لایه دارای جهت (۰۰۱) از جنس $SrLaAlO_4$ (SLAO) با ساختار چهار گوش ($c=1/263$ nm, $a=b=0/375$ nm) است. با توجه به ثوابت شبکه لایه وزیر لایه، که از طریق پراش اشعه x تعیین شده اند، عدم انطباقی به مقدار $(1/3-)/$ در پارامترهای شبکه در صفحه لایه وجود دارد. لایه‌های مورد بررسی دارای ضخامت‌های $4/5$, 7 , 12 , 37 نانومتر هستند.

۴-۲ بررسی ترابرد الکتریکی نمونه $La_{0.67}Ca_{0.33}MnO_3$

شکل زیر تغییرات گذار عایق - فلز نمونه‌های با ضخامت‌های مختلف را نشان می‌دهد که با اندازه‌گیری مقاومت الکتریکی بدست آمده است. برای لایه‌های ضخیم تر گذار عایق - فلز (T_M) نزدیک به دمای گذار نمونه‌های حجمی LCMO (~ 250 K) رخ می‌دهد. برای لایه‌های

نازک تر که به مقدار زیادی تحت کرنش قرار دارند گذار عایق - فلز به دماهای پایین تر جابه جا می شود، در حالی که لایه ۴/۵ nm (یا نازک تر) عایق باقی می ماند. توجه کنید جابه جایی در گذار MI تنها پایین تر از یک ضخامت بحرانی رخ می دهد [۷۸].



شکل ۴-۱ نمودار تجربی مقاومت الکتریکی برحسب دما مربوط به نمونه $La_{0.67}Ca_{0.33}MnO_3$ در ضخامت های به ترتیب از بالا به پایین ۴/۵ و ۶/۵ و ۷ و ۸ و ۹ و ۱۲ و ۳۷ نانومتری روی زیر لایه $SrLaAlO_4$ [۷۸].

در نمودار داخلی شکل دمای گذار عایق- فلز برحسب ضخامت نشان داده شده است.

هدف از این پروژه مطالعه رفتار دمایی مقاومت الکتریکی این نمونه با روابط تئوری ارائه شده در فصل سوم و تجزیه و تحلیل آنها می باشد.

۴-۳ بررسی روابط حاکم بر ترابرد الکتریکی در ناحیه فرومغناطیس فلزی ($T < T_c$)

در این بخش روابط تئوری بیان شده حاکم در ناحیه فرومغناطیس فلزی را با نتایج تجربی گزارش شده برای ضخامت های مورد مطالعه برازش نموده و با توجه به اندازه ضریب همبستگی خطی (R^2) میزان انطباق آنها را بررسی می کنیم.

در این ناحیه دمایی روابط تئوری ارائه شده (فصل سوم) بشرح ذیل می باشد:

$$\rho = \rho_0 + \rho_2 T^2 \quad (۱-۴)$$

$$\rho = \rho_0 + \rho_2 T^2 + \rho_{4.5} T^{4.5} \quad (۲-۴)$$

$$\rho = \rho_0 + \rho_{4.5} T^{4.5} \quad (۳-۴)$$

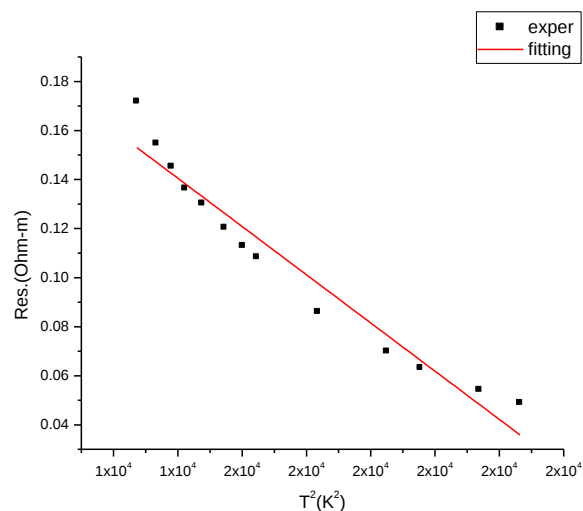
$$\rho = \rho_0 + \rho_{4.5} T^{4.5} + \rho_{\sinh} / \sinh^2 (\hbar \omega_s / 2k_B T) \quad (۴-۴)$$

برای هر یک از ضخامت های مورد مطالعه هر چهار معادله تئوری فوق را با داده های تجربی مورد برازش قرار داده و از آن ضرایب روابط فوق را استخراج نمودیم. برای هر ضخامت بهترین برازش را مشخص و نتایج را مورد تجزیه و تحلیل قرار خواهیم داد. لازم بذکر است که با توجه به داده های تجربی (شکل ۴-۱) دماهای گذار به ضخامت وابسته می باشد بنابراین بازه دمایی انتخاب شده برای برازش نمونه های با ضخامت متفاوت، مختلف می باشد.

- ضخامت ۴/۵ nm

در این بخش به بررسی وابستگی دمایی مقاومت ویژه نمونه با ضخامت ۴/۵ nm ترکیب $La_{0.67}Ca_{0.33}MnO_3$ در دمای زیر دمای T_C می پردازیم. لازم به ذکر است که در این بازه دمایی نمونه در حالت فرو مغناطیسی عایق می باشد. ابتدا به بررسی انطباق رابطه (۴-۱) با داده های تجربی [78] در نمونه مورد بررسی می پردازیم، که در رابطه (۴-۱) ρ_0 مقاومت ویژه ناشی از نا خالصی ها، نقص ها و مرز دانه هاست و جمله دوم ناشی از برهم کنش الکترون - الکترون می باشد. شکل ۴-۲ منحنی تجربی تغییرات مقاومت ویژه بر حسب مجذور دما در بازه دمایی (۱۱۵-۱۴۰K) و برازش حاصل از معادله (۴-۱) با داده ها را نشان می دهد. نتایج حاصل از برازش در جدول (۴-۱) داده شده است. همانطور که شکل نشان می دهد رابطه فوق نمی تواند

رفتار دمایی مقاومت را در این ضخامت توجیه نماید و پراکندگی الکترون – الکترون نمی تواند مکانیزم موثر باشد یا حداقل به تنهایی منشا این رفتار باشد.



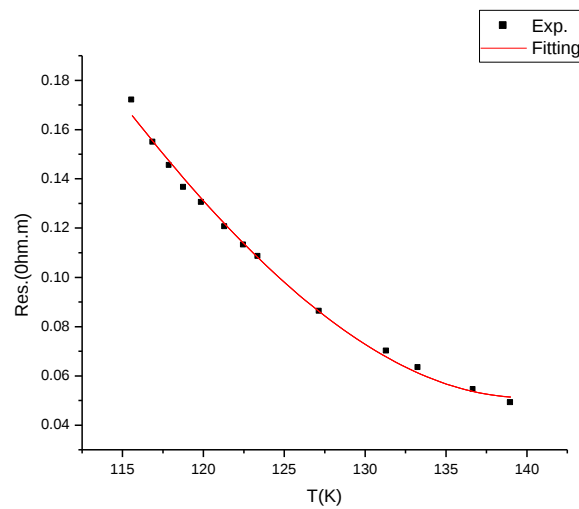
شکل ۴-۲- منحنی مقاومت ویژه بر حسب مجذور دما نمونه $La_{0.67}Ca_{0.33}MnO_3$ با ضخامت ۴/۵ nm در ناحیه فرومغناطیس. خط پر نشانگر نتیجه برازش رابطه (۴-۱) با داده های تجربی می باشد.

جدول ۴-۱ بهترین نتایج به دست آمده از برازش نتایج تجربی با رابطه (۴-۱) نمونه $La_{0.67}Ca_{0.33}MnO_3$ با ضخامت لایه ۴/۵ nm.

ضخامت لایه	$\rho_0 (\Omega m)$	$\rho_2 (\Omega m K^{-2})$	R^2
۴/۵ nm	۰/۴۱۵۹۷	-۰/۰۰۰۲	۰/۹۴۹۲۴

رابطه دیگری که در این بازه دمایی برای بعضی از ترکیبات ارائه شده است به شکل رابطه (۴-۱) می باشد که رفتار $T^{4/5}$ را به پراکندگی دو مگنونی نسبت می دهند.

در شکل ۴-۳ منحنی تغییرات مقاومت ویژه بر حسب دما در بازه دمایی (۱۱۵-۱۴۰ K) همراه با نتایج برازش رابطه (۴-۲) با داده های تجربی نشان داده شده است.



شکل ۴-۳- منحنی مقاومت ویژه بر حسب دما نمونه $La_{0.67}Ca_{0.33}MnO_3$ با ضخامت ۴/۵ nm در ناحیه فرومغناطیس. خط پر نشانگر بهترین نتیجه برازش رابطه (۴-۲) با داده های تجربی می باشد.

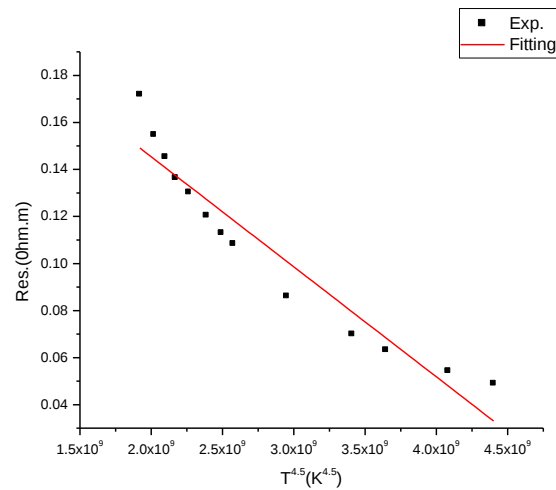
جدول (۴-۲) نتایج حاصل از برازش داده های تجربی با رابطه (۴-۲) در ضخامت لایه ۴/۵ nm را نشان می دهد.

جدول ۴-۲ بهترین نتایج به دست آمده از برازش نتایج تجربی با رابطه (۴-۲) نمونه $La_{0.67}Ca_{0.33}MnO_3$ با ضخامت لایه ۴/۵nm.

ضخامت لایه	$\rho_0 (\Omega m)$	$\rho_2 (\Omega m k^{-2})$	$\rho_{4/5} (\Omega m k^{-4/5})$	R^2
۴/۵ nm	۱/۰۹۱۵۶	-۰/۰۰۰۱	$۱/۸۳۶۱ \times ۱۰^{-۱۰}$	۰/۹۹۶۱۸

عده ای از محققین رفتار دمایی مقاومت الکتریکی در ناحیه فرو مغناطیس را با رابطه (۴-۴) بیان کرده اند که در آن اولین جمله وابسته به دمای آن، ناشی از فرایند پراکندگی شامل دو مگنون و جمله دوم ناشی از حرکت مرتبط با پلارون های کوچک است. ابتدا نتایج برازش با رابطه (۴-۳) را بررسی می کنیم و سپس جمله $\rho_{\sinh} / \sinh^2(\hbar\omega_s/2k_B T)$ را اضافه می کنیم و نتایج حاصل از آن را مورد بررسی قرار می دهیم.

شکل ۴-۴ منحنی تغییرات مقاومت ویژه برحسب $T^{4/5}$ را در بازه دمایی (۱۱۵ - ۱۴۰K) نشان می دهد و نتایج برازش داده های تجربی با معادله فوق در جدول (۳-۴) داده شده است. همانطور که از منحنی پیداست تنها با حفظ این دو جمله، رفتار مقاومت قابل توجیه نیست.

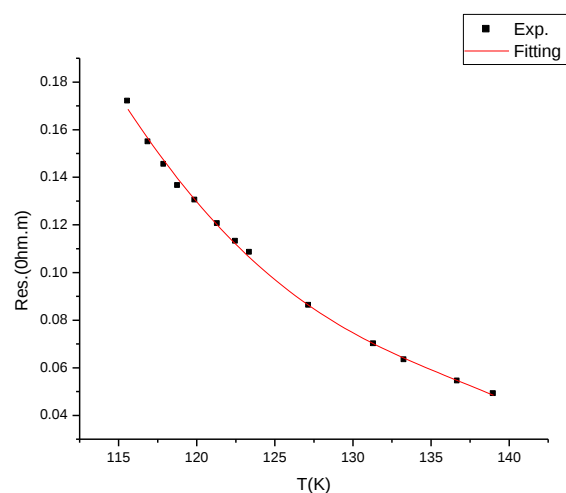


شکل ۴-۴- منحنی مقاومت ویژه بر حسب $T^{4/5}$ نمونه $La_{0.67}Ca_{0.33}MnO_3$ با ضخامت ۴/۵ nm در ناحیه فرومغناطیس. خط پر نتیجه حاصل از برازش داده های تجربی با رابطه (۳-۴) می باشد.

جدول ۳-۴- نتایج به دست آمده از برازش داده های تجربی با رابطه (۳-۴) نمونه $La_{0.67}Ca_{0.33}MnO_3$ با ضخامت لایه ۴/۵ nm.

ضخامت لایه	$\rho_0 (\Omega m)$	$\rho_{4/5} (\Omega m k^{-4/5})$	R^2
۴/۵ nm	۰/۲۳۸۹۲	$-۴/۶۷۷۵ \times 10^{-11}$	۰/۹۲۲۰۳

حال جمله $\rho_{\sinh} / \sinh^2(\hbar \omega_s / 2k_B T)$ را نیز اضافه می کنیم. منحنی تغییرات مقاومت ویژه بر حسب دما در بازه دمایی (۱۱۵ - ۱۴۰K) در شکل ۵-۴ نشان داده شده است.



شکل ۴-۵- منحنی مقاومت ویژه بر حسب دما نمونه $La_{0.67}Ca_{0.33}MnO_3$ با ضخامت ۴/۵ nm در ناحیه فرومغناطیس. خط پر نتیجه حاصل از برازش داده های تجربی با رابطه (۴-۴) می باشد.

در جدول (۴-۴) نتایج به دست آمده از برازش داده های تجربی با رابطه (۴-۴) در ضخامت لایه ۴/۵nm درج شده است.

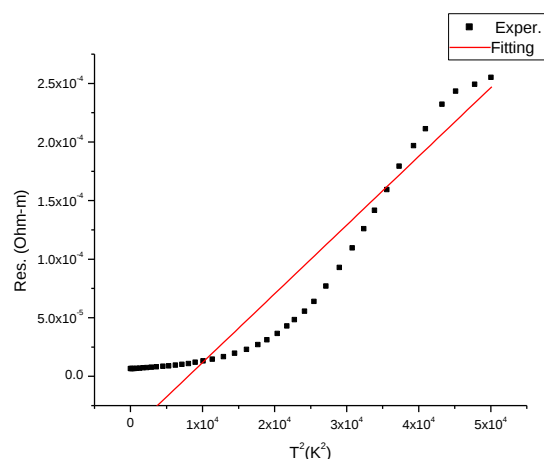
جدول ۴-۴- نتایج به دست آمده از برازش داده های تجربی رابطه (۴-۴) نمونه $La_{0.67}Ca_{0.33}MnO_3$ با ضخامت لایه ۴/۵ nm.

ضخامت لایه	$\rho_0 (\Omega m)$	$\rho_{4/5} (\Omega m k^{-4/5})$	$\rho_{sinh} (\Omega m)$	$\omega_s (Hz)$	R^2
۴/۵ nm	۱/۱۸۱۰۳	$-۱/۴۲۴۸ \times ۱۰^{-۹}$	۲۷۲/۴۱۶	$۱۵۵/\times ۱۰^{۱۳}$	۰/۹۹۸۴۴

با بررسی روابط حاکم در ناحیه فرومغناطیس برای لایه با ضخامت ۴/۵ nm نمونه $La_{0.67}Ca_{0.33}MnO_3$ مشاهده می شود که داده های تجربی با رابطه $\rho = \rho_0 + \rho_{4.5} T^{4.5} + \rho_{sinh} / \sinh^2(\hbar \omega_s / 2k_B T)$ (به علت داشتن ضریب همبستگی خطی R^2 بزرگتر نسبت به ۳ رابطه دیگر) در این ناحیه دمایی بهتر برازش می شود.

–ضخامت ۷ nm

همانند قسمت قبل ابتدا رفتار دمایی مقاومت را با رابطه (۴-۱) مورد مطالعه قرار می دهیم. در شکل ۴-۶ منحنی تغییرات مقاومت الکتریکی بر حسب مجذور دما در بازه دمایی (۰-۲۵۰K) رسم شده است و نتایج برازش در جدول ۴-۵ نشان داده شده است. نتایج حاصل از برازش نشان می دهد که رفتار مقاومت با رابطه فوق قابل توجیه نیست و احتمالا فقط پراکندگی الکترون – الکترون نمی تواند باعث چنین رفتاری شود.

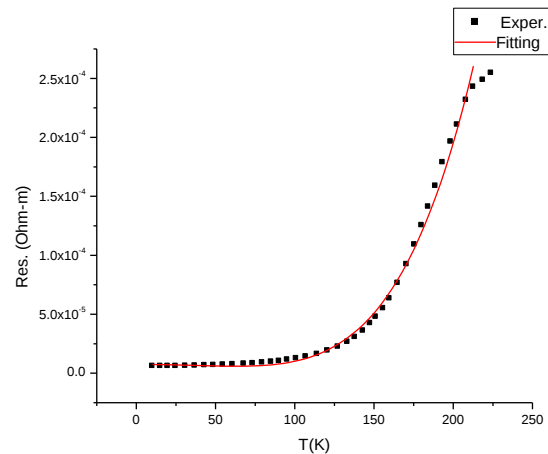


شکل ۴-۶- منحنی مقاومت ویژه بر حسب دما برای نمونه $La_{0.67}Ca_{0.33}MnO_3$ با ضخامت ۷ nm و در ناحیه فرومغناطیس. خط پر نشانگر نتیجه برازش داده های تجربی با رابطه (۴-۱) می باشد.

جدول ۴-۵- بهترین نتایج به دست آمده از برازش نتایج تجربی با رابطه (۴-۱) نمونه $La_{0.67}Ca_{0.33}MnO_3$ با ضخامت لایه ۷ nm.

ضخامت لایه	$\rho_0(\Omega m)$	$\rho_2(\Omega m K^{-2})$	R^2
۷ nm	-۰/۰۰۰۰۵	۵/۸۶۵۷×۱۰ ^{-۹}	۰/۸۵۶۲۷

در این مرحله جمله $T^{4/5}$ را به رابطه قبلی اضافه که منحنی مقاومت ویژه برحسب دما در همان بازه دمایی در شکل ۷-۴ رسم شده است. نتایج حاصل از برازش داده های تجربی با رابطه (۲-۴) در جدول ۶-۴ آورده شده است.

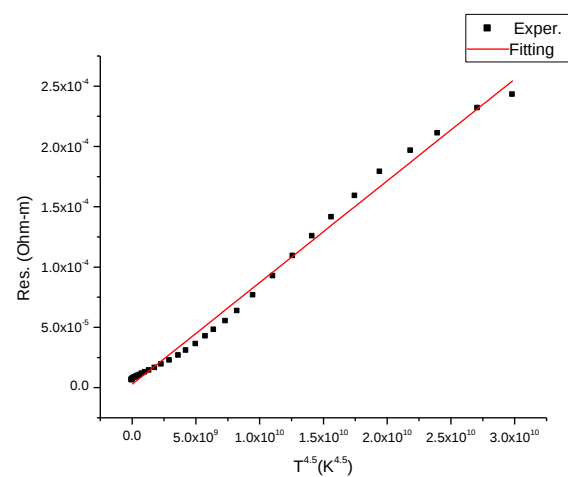


شکل ۷-۴- منحنی مقاومت ویژه بر حسب دما نمونه $La_{0.67}Ca_{0.33}MnO_3$ با ضخامت ۷ nm در ناحیه فرومغناطیس. خط پر نشانگر نتیجه برازش داده های تجربی با رابطه (۲-۴) می باشد.

جدول ۶-۴ بهترین نتایج به دست آمده از برازش نتایج تجربی با رابطه (۲-۴) نمونه $La_{0.67}Ca_{0.33}MnO_3$ با ضخامت لایه ۷ nm.

ضخامت لایه	$\rho_0 (\Omega m)$	$\rho_2 (\Omega m K^{-2})$	$\rho_{4/5} (\Omega m K^{-4/5})$	R^2
۷ nm	$7/4138 \times 10^{-6}$	$-6/789 \times 10^{-10}$	$9/5023 \times 10^{-15}$	۰/۹۹۵۱۶

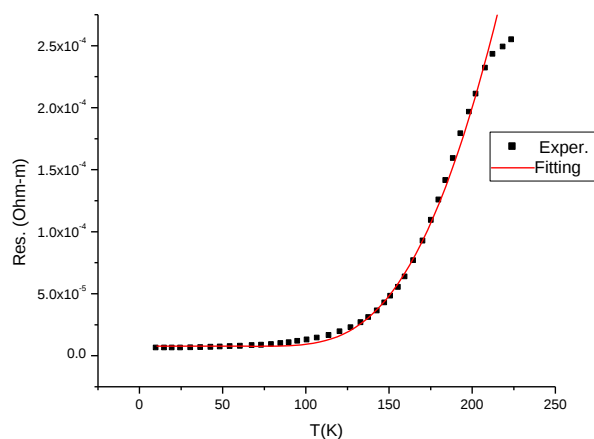
در ادامه تغییرات مقاومت برحسب دمای لایه به ضخامت ۷ nm را با در نظر گرفتن رابطه (۴-۴) مورد مطالعه قرار داده ایم که شکل ۸-۴ نتایج حاصل از برازش داده های تجربی با در نظر گرفتن دو جمله اول (رابطه ۳-۴) و در شکل ۹-۴ جمله سوم را نیز اضافه نموده ایم. نتایج مستخرج شده از منحنی های ۸-۴ و ۹-۴ در جداول ۷-۴ و ۸-۴ درج شده است.



شکل ۴-۸- منحنی مقاومت ویژه بر حسب $T^{4/5}$ نمونه $La_{0.67}Ca_{0.33}MnO_3$ با ضخامت ۷ nm در ناحیه فرومغناطیس. خط پر نشانگر نتیجه برازش داده های تجربی با رابطه (۳-۴) می باشد.

جدول ۴-۷- بهترین نتایج به دست آمده از برازش نتایج تجربی با رابطه (۳-۴) نمونه $La_{0.67}Ca_{0.33}MnO_3$ با ضخامت لایه ۷ nm.

ضخامت لایه	$\rho_0 (\Omega m)$	$\rho_{4/5} (\Omega m K^{-4/5})$	R^2
۷ nm	2.7783×10^{-6}	8.4359×10^{-15}	۰/۹۹۳۲۶



شکل ۴-۹- منحنی مقاومت ویژه بر حسب دما مربوط به نمونه $La_{0.67}Ca_{0.33}MnO_3$ با ضخامت ۷ nm در ناحیه فرومغناطیس. خط پر نشانگر نتیجه برازش داده های تجربی با رابطه (۴-۴) می باشد.

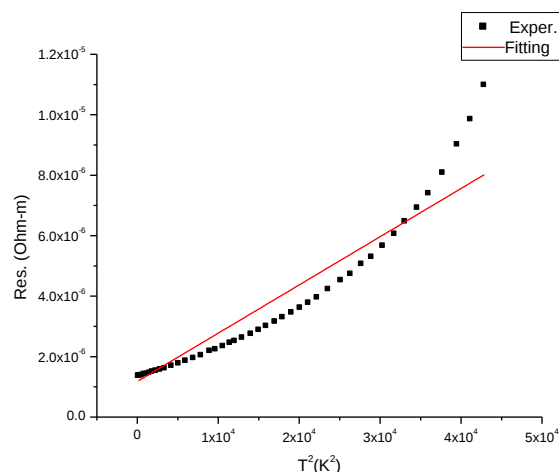
جدول ۴-۸- بهترین نتایج به دست آمده از برازش نتایج تجربی با رابطه (۴-۴) نمونه $La_{0.67}Ca_{0.33}MnO_3$ با ضخامت لایه ۷ nm.

ضخامت لایه	$\rho_0 (\Omega m)$	$\rho_{4/5} (\Omega m k^{-4/5})$	$\rho_{sinh} (\Omega m)$	$\omega_s (Hz)$	R^2
۷ nm	$7/7609 \times 10^{-6}$	$-7/0902 \times 10^{-16}$	$0/00485$	$1/89 \times 10^{13}$	$0/99822$

برای لایه با ضخامت ۷ nm مشاهده می شود که رابطه $\rho = \rho_0 + \rho_{4/5} T^{4.5} + \rho_{sinh} / \sinh^2 (\hbar \omega_s / 2 k_B T)$ بخوبی رفتار دمایی مقاومت را در ناحیه فرومغناطیس فلزی توصیف می کند. با مقایسه ضرایب بدست آمده از برازش می توان فهمید که فرایند حرکت پلارون های کوچک بدلیل داشتن ضریب بزرگتر (ρ_{sinh}) نسبت به پراکندگی دو مگنونی ($\rho_{4/5}$)، سهم غالبی دارد.

ضخامت ۱۲ nm

در این بخش روابطی را که در قسمت قبل برای ضخامت ۷ nm با نتایج تجربی برازش دادیم برای ضخامت ۱۲ nm مورد بررسی قرار می دهیم. در شکل ۴-۱۰ منحنی تغییرات مقاومت ویژه بر حسب مجذور دما در بازه دمایی (۰-۲۰۰K) و برازش آن با رابطه (۴-۱) نشان داده شده است.



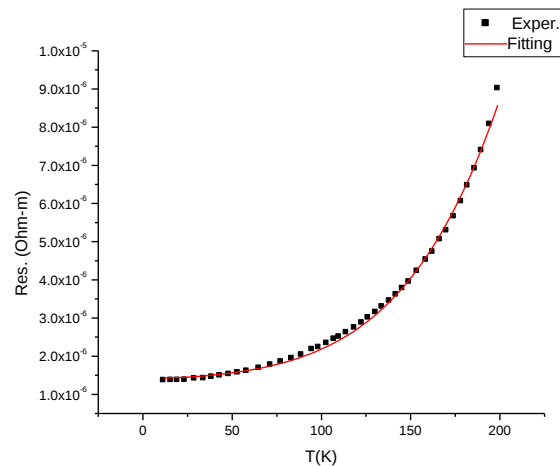
شکل ۴-۱۰- منحنی مقاومت ویژه بر حسب مجذور دما نمونه $La_{0.67}Ca_{0.33}MnO_3$ با ضخامت ۱۲ nm در ناحیه فرومغناطیس. خط پر نشانگر نتیجه برازش داده های تجربی با رابطه (۴-۱) می باشد.

جدول (۴-۹) نتایج به دست آمده از برازش داده های تجربی با رابطه (۴-۱) برای ضخامت لایه ۱۲nm را نشان می دهد. مشابه لایه با ضخامت های دیگر در این ضخامت نیز رابطه فوق نمی تواند تغییرات دمایی مقاومت را توصیف کند و مکانیزم های پراکندگی دیگری را باید در نظر گرفت.

جدول ۴-۹ بهترین نتایج به دست آمده از برازش نتایج تجربی با رابطه (۴-۱) نمونه $La_{0.67}Ca_{0.33}MnO_3$ با ضخامت لایه ۱۲ nm.

ضخامت لایه	$\rho_0(\Omega m)$	$\rho_2(\Omega m K^{-2})$	R^2
۱۲ nm	$1/1824 \times 10^{-6}$	$1/5949 \times 10^{-10}$	۰/۹۰۴۱۵

منحنی تغییرات مقاومت ویژه برحسب دما در بازه دمایی (۰-۲۰۰K) و برازش آن با رابطه (۲-۴) در شکل ۱۱-۴ نشان داده شده است.

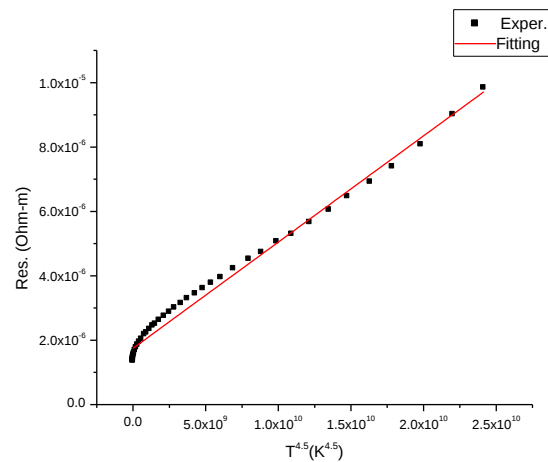


شکل ۱۱-۴- منحنی مقاومت ویژه بر حسب دما نمونه $La_{0.67}Ca_{0.33}MnO_3$ با ضخامت ۱۲ nm در ناحیه فرومغناطیس. خط پر نشانگر نتیجه برازش داده های تجربی با رابطه (۲-۴) می باشد. ضرایب به دست آمده از برازش داده های تجربی با رابطه (۲-۴) در ضخامت لایه ۱۲ nm در جدول (۱۰-۴) آورده شده است.

جدول ۱۰-۴ بهترین نتایج به دست آمده از برازش نتایج تجربی با رابطه (۲-۴) نمونه $La_{0.67}Ca_{0.33}MnO_3$ با ضخامت لایه ۱۲ nm.

ضخامت لایه	$\rho_0 (\Omega m)$	$\rho_2 (\Omega m K^{-2})$	$\rho_{4/5} (\Omega m K^{-4/5})$	R^2
۱۲ nm	$1/4192 \times 10^{-6}$	$5/3716 \times 10^{-11}$	$2/2877 \times 10^{-16}$	۰/۹۹۷۳۸

شکل ۱۲-۴ منحنی تغییرات مقاومت ویژه برحسب $T^{4/5}$ در بازه دمایی (۰-۲۰۰K) و برازش آن با رابطه (۳-۴) را نشان می دهد همچنین نتایج حاصل از این برازش در جدول ۱۱-۴ ذکر شده است.

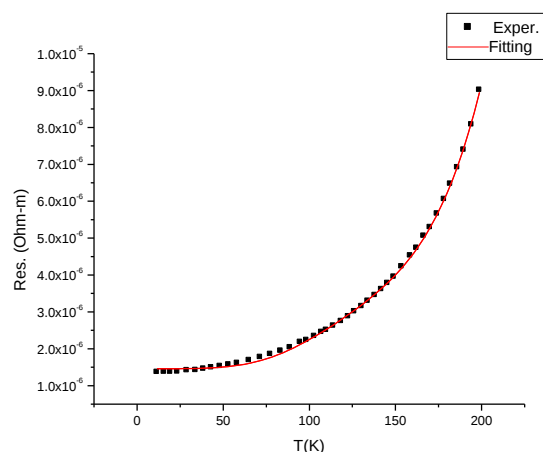


شکل ۴-۱۲- منحنی مقاومت ویژه بر حسب $T^{4/5}$ نمونه $La_{0.67}Ca_{0.33}MnO_3$ با ضخامت ۱۲ nm در ناحیه فرومغناطیس. خط پر نشانگر نتیجه برازش داده های تجربی با رابطه (۴-۳) می باشد.

جدول ۴-۱۱ بهترین نتایج به دست آمده از برازش نتایج تجربی با رابطه (۴-۳) نمونه $La_{0.67}Ca_{0.33}MnO_3$ با ضخامت لایه ۱۲ nm.

ضخامت لایه	$\rho_0 (\Omega m)$	$\rho_{4/5} (\Omega m K^{-4/5})$	R^2
۱۲ nm	$1/749 \times 10^{-6}$	$3/299 \times 10^{-16}$	۰/۹۸۸۶۷

لازم به ذکر است که مشاهده نمودار فوق نشان می دهد که تنها فرایند دو مگنونی نمی تواند در این بازه دمایی نتایج تجربی را توجیه کند. در شکل ۴-۱۳ منحنی تغییرات مقاومت ویژه بر حسب دما در بازه دمایی (۰-۲۰۰ K) و برازش آن با رابطه (۴-۴) نشان داده شده است.



شکل ۴-۱۳- منحنی مقاومت ویژه بر حسب دما نمونه $La_{0.67}Ca_{0.33}MnO_3$ با ضخامت ۱۲ nm در ناحیه فرومغناطیس. خط پر نشانگر نتیجه برازش داده های تجربی با رابطه (۴-۴) می باشد.

نتایج به دست آمده از برازش داده های تجربی با رابطه (۴-۴) در ضخامت لایه ۱۲ nm در جدول (۴-۱۲) خلاصه شده است.

جدول ۴-۱۲ بهترین نتایج به دست آمده از برازش نتایج تجربی با رابطه (۴-۴) نمونه $La_{0.67}Ca_{0.33}MnO_3$ با ضخامت لایه ۱۲ nm.

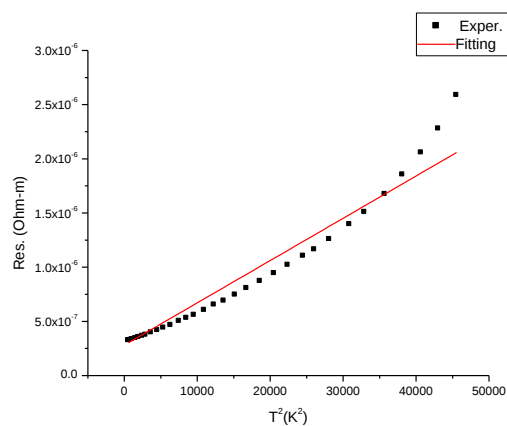
ضخامت لایه	$\rho_0 (\Omega m)$	$\rho_{4/5} (\Omega m k^{-4/5})$	$\rho_{\sinh} (\Omega m)$	$\omega_s (Hz)$	R^2
۱۲ nm	$1/4591 \times 10^{-6}$	$1/0.373 \times 10^{-15}$	$-0/0.0024$	$1/71 \times 10^{13}$	۰/۹۹۹۳۵

در این ضخامت نیز رابطه $\rho = \rho_0 + \rho_{4.5} T^{4.5} + \rho_{\sinh} / \sinh^2(\hbar \omega_s / 2k_B T)$ بخوبی نتایج تجربی مقاومت ویژه را در دماهای پایین توصیف می کند.

ضخامت ۳۷ nm

برای این ضخامت نیز هم مانند قسمت های قبل نتایج تجربی با روابط تئوری ارائه شده در ابتدای فصل برازش داده شده است. در شکل ۴-۱۴ داده های تجربی به همراه نتایج برازش

منحنی مقاومت ویژه بر حسب مجذور دما در بازه دمایی (۰-۲۵۰K) نشان داده شده است. نتایج مربوط به این برازش نیز در جدول ۴-۱۳ ارائه شده است.

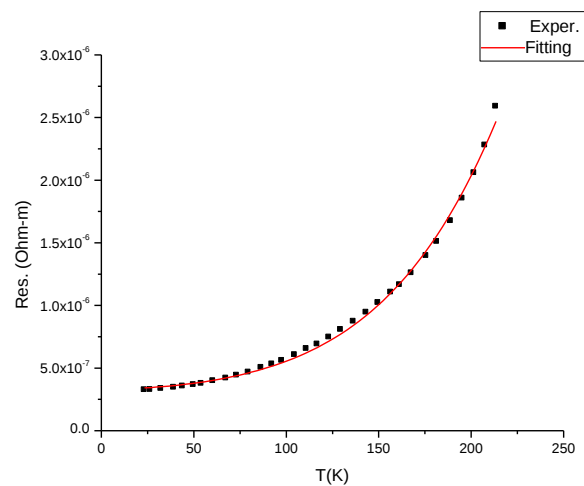


شکل ۴-۱۴- منحنی مقاومت ویژه بر حسب مجذور دما نمونه $La_{0.67}Ca_{0.33}MnO_3$ با ضخامت ۳۷ nm در ناحیه فرومغناطیس. خط پر نشانگر نتیجه برازش داده های تجربی با رابطه (۴-۱) می باشد.

جدول ۴-۱۳ بهترین نتایج به دست آمده از برازش نتایج تجربی با رابطه (۴-۱) نمونه $La_{0.67}Ca_{0.33}MnO_3$ با ضخامت ۳۷ nm.

ضخامت لایه	$\rho_0 (\Omega m)$	$\rho_2 (\Omega m K^{-2})$	R^2
۳۷ nm	$2/8111 \times 10^{-7}$	$3/901 \times 10^{-11}$	۰/۹۴۶۹

دوباره نتایج نشان می دهد که در نظر گرفتن این دو جمله به تنهایی نمی تواند تغییرات مقاومت با دما را در هیچ کدام از ضخامت ها توجیه نماید. در شکل ۴-۱۵ داده های تجربی به همراه نتایج برازش منحنی مقاومت ویژه بر حسب دما با رابطه (۴-۲) در بازه دمایی (۰-۲۵۰K) نشان داده شده است.



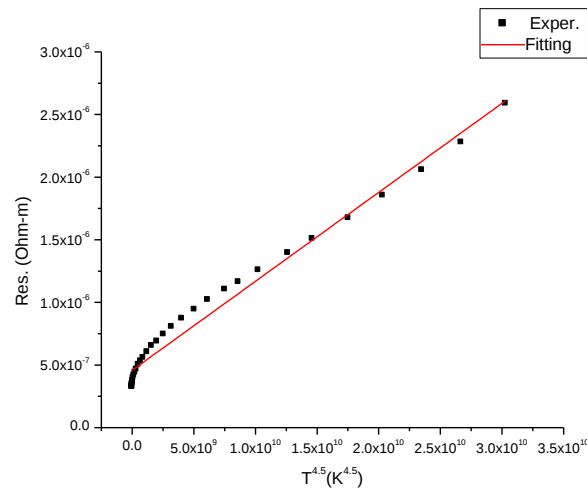
شکل ۴-۱۵- منحنی مقاومت ویژه بر حسب دما نمونه $La_{0.67}Ca_{0.33}MnO_3$ با ضخامت ۳۷ nm در ناحیه فرومغناطیس. خط پر نشانگر نتیجه برازش داده های تجربی با رابطه (۴-۲) می باشد.

جدول (۴-۱۴) نتایج به دست آمده از برازش داده های تجربی با رابطه فوق را برای ضخامت لایه ۳۷ nm نشان می دهد.

جدول ۴-۱۴ بهترین نتایج به دست آمده از برازش نتایج تجربی با رابطه (۴-۲) نمونه $La_{0.67}Ca_{0.33}MnO_3$ با ضخامت ۳۷ nm.

ضخامت لایه	$\rho_0 (\Omega m)$	$\rho_2 (\Omega m K^{-2})$	$\rho_{4/5} (\Omega m K^{-4/5})$	R^2
۳۷ nm	$3/3197 \times 10^{-7}$	$1/791 \times 10^{-11}$	$4/3658 \times 10^{-17}$	۰/۹۹۷۱۲

در شکل ۴-۱۶ منحنی تغییرات مقاومت ویژه بر حسب $T^{4/5}$ در بازه دمایی (۰-۲۵۰ K) و برازش آن با رابطه (۴-۳) نشان داده شده است. نتایج حاصل از آن در جدول ۴-۱۵ آورده شده است.

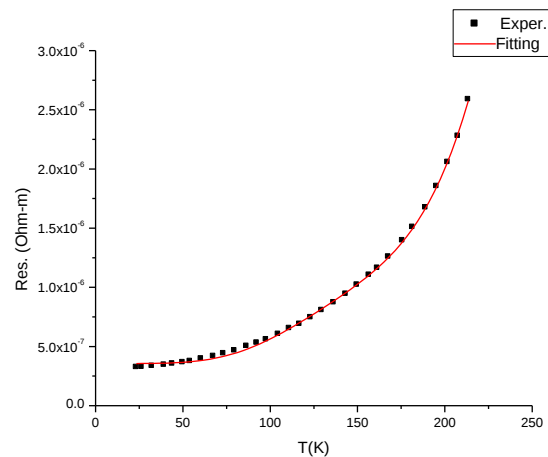


شکل ۴-۱۶- منحنی مقاومت ویژه بر حسب $T^{4/5}$ نمونه $La_{0.67}Ca_{0.33}MnO_3$ با ضخامت ۳۷ nm در ناحیه فرومغناطیس. خط پر نشانگر نتیجه برازش داده های تجربی با رابطه (۴-۳) می باشد.

جدول ۴-۱۵ بهترین نتایج به دست آمده از برازش نتایج تجربی با رابطه (۴-۳) نمونه $La_{0.67}Ca_{0.33}MnO_3$ با ضخامت ۳۷ nm

ضخامت لایه	$\rho_0 (\Omega m)$	$\rho_{4/5} (\Omega m K^{-4/5})$	R^2
۳۷ nm	$4/5816 \times 10^{-7}$	$7/1035 \times 10^{-17}$	$0/98045$

در نهایت به مطالعه تغییرات مقاومت ویژه لایه ۳۷ نانومتری در بازه (۰-۲۵۰K) می پردازیم. لازم به ذکر است که در این بازه نمونه در حالت فرو مغناطیس فلزی قرار دارد. منحنی تغییرات مقاومت بر حسب دما در این بازه دمایی و برازش آن با رابطه (۴-۴) در شکل ۴-۱۷ نشان داده شده است.



شکل ۴-۱۷- منحنی مقاومت ویژه بر حسب دما نمونه $La_{0.67}Ca_{0.33}MnO_3$ با ضخامت ۳۷ nm در ناحیه فرومغناطیس. خط پر نشانگر نتیجه برازش داده های تجربی با رابطه (۴-۴) می باشد.

جدول (۴-۱۶) نتایج به دست آمده از برازش داده های تجربی با رابطه (۴-۴) با ضخامت لایه ۳۷nm را نشان می دهد.

مشاهده می شود در ضخامت ۳۷ nm نیز رابطه $\rho = \rho_0 + \rho_{4.5}T^{4.5} + \rho_{\sinh} / \sinh^2(\hbar\omega_s/2k_B T)$ با ضخامت ۳۷ nm در دماهای زیر دمای بحرانی بخوبی داده های تجربی را توجیه می کند.

جدول ۴-۱۶ بهترین نتایج به دست آمده از برازش نتایج تجربی با رابطه (۴-۴) نمونه $La_{0.67}Ca_{0.33}MnO_3$ با ضخامت ۳۷ nm.

ضخامت لایه	$\rho_0 (\Omega m)$	$\rho_{4/5} (\Omega m k^{-4/5})$	$\rho_{\sinh} (\Omega m)$	$\omega_s (Hz)$	R^2
۳۷nm	$3/5557 \times 10^{-7}$	$2/5252 \times 10^{-16}$	$-0/00009$	$1/87 \times 10^{13}$	$0/99939$

جمع بندی نتایج

در نمونه های مورد مطالعه در اثر کرنش تراکمی که ناشی از عدم برازش شبکه و زیر لایه است، اعوجاجی در سیستم در دمای پایین حاصل می شود. چنان که با کاهش ابعاد نمونه و در اثر کرنش حاصل از زیر لایه، دمای گذار به فاز فرومغناطیس فلزی کاهش یافته و مشاهده می شود که در ضخامت ۴/۵ nm حالت فلزی از بین می رود و به صورت عایق ظاهر می شود. در نتیجه

دمای بحرانی (دمایی که گذار فاز فرومغناطیسی فلزی- پارا مغناطیسی عایق رخ می دهد) به دماهای پایین تر از نمونه های حجمی جابجا می شود. در واقع در لایه های نازک به علت عدم برازش پارامتر شبکه منگنایت و زیر لایه کاهشی در فاز فرومغناطیسی بدلیل تغییر زاویه و فاصله پیوند Mn-O ایجاد می شود. چون در منگنایت ها همپوشانی اوربیتالهای ۳d : Mn و ۲p : O مستقیماً با زاویه پیوند Mn-O-Mn متناسب بوده و در زاویه ۱۸۰ درجه این همپوشانی ماکزیمم و دامنه جهش الکترون افزایش می یابد. مقایسه بین دمای کوری لایه های نازک و حجمی به فرم، $T_C^{film} \langle T \rangle T_C^{bulk}$ می باشد و همچنین هر چه ضخامت کمتر می شود دمای بحرانی کاهش بیشتری می یابد. بر اساس مدل تبادل دو گانه با ضعیف شدن خاصیت فرومغناطیسی، کاهشی در تحرک حامل ها انتظار می رود. اثر دیگر ضخامت در افزایش مقاومت الکتریکی ظاهر می شود، به صورتی که هر چه ضخامت کاهش یابد مقاومت الکتریکی افزایش بیشتری می یابد. پرونیک^۱ و همکارانش بر اساس محاسبات تئوری اثرات کرنش در لایه های نازک منگنایت نتیجه گرفتند که: کاهش ضخامت منجر به کاهش فاز فرومغناطیسی می شود و دمای بحرانی به دماهای پایین تر در مقایسه با نمونه حجمی جابه جا می شود و هنگامی که همبستگی اسپین – اسپین از ضخامت لایه بزرگتر می گردد باعث افزایش مقاومت در دماهای پایین می شود [80].

نتایج حاصل از مطالعه ما در بازه دمایی پایین تر از گذار فرو مغناطیس نشان می دهد که با کاهش ضخامت لایه، افزایشی در ضرایب حاصل از برازش معادلات ۱ تا ۴ مشاهده می کنیم که در ضخامت لایه ۴/۵ nm این ضرایب به صورت قابل چشم گیری بزرگتر از ضخامت های دیگر می شود که این نشان دهنده کاهش فاز فرومغناطیسی فلزی و بیان کننده حالت عایق گونه نمونه در ضخامت ۴/۵ nm می باشد. در دماهای پایین تر از دمای بحرانی با بررسی روابط حاکم در این ناحیه دمایی مشاهده کردیم که رابطه (۴-۴) بهترین برازش را نتیجه می دهد. در جدول

۱۷-۴ نتایج حاصل از برازش این رابطه در ضخامتهای ۴/۵ ، ۷ ، ۱۲ ، ۳۷ نانومتری جمع بندی شده است.

جدول ۱۷-۴ نتایج بدست آمده از برازش داده های تجربی با رابطه (۴-۴) در دمای پایین

نمونه $La_{0.67}Ca_{0.33}MnO_3$ برای ضخامت های ۴/۵ nm ، ۷ ، ۱۲ ، ۳۷.

ضخامت لایه	$\rho_0 (\Omega m)$	$\rho_{4/5} (\Omega m k^{-4/5})$	$\rho_{sinh} (\Omega m)$	$\omega_s \times 10^{12} (Hz)$
۴/۵ nm	۱/۱۸۱۰۳	$-۱/۴۲۴۸ \times 10^{-9}$	۲۷۲/۴۱۶	۱/۵۵
۷ nm	$۷/۷۶۰۹ \times 10^{-6}$	$-۷/۰۹۰۲ \times 10^{-16}$	۰/۰۰۴۸۵	۱/۸۹
۱۲ nm	$۱/۴۵۹ \times 10^{-6}$	$۱/۰۳۷۳ \times 10^{-15}$	-۰/۰۰۰۲۴	۱/۷۱
۳۷ nm	$۳/۵۵۵ \times 10^{-7}$	$۲/۵۲۵۲ \times 10^{-16}$	-۰/۰۰۰۰۹	۱/۸۷

همانطور که در جدول فوق مشاهده می گردد با کاهش ضخامت لایه ضرایب مقاومت بخصوص ρ_0 افزایش می یابد که نشانگر این نکته می باشد که با کاهش ضخامت پراکندگی ناشی از نواقص شبکه افزایش می یابد. در ضخامت های پایین اثرات ناشی از عدم انطباق در مرز مشترک لایه و زیر لایه بزرگتر بوده و با افزایش ضخامت این اثر کمتر می شود و با افزایش ضخامت و واهلش کرنش این اثرات تقلیل می یابد. ω_s نیز با افزایش ضخامت تا حدودی افزایش می یابد. جهت مقایسه نتایج در جدول ۱۸-۴ مطالعات انجام شده روی لایه های نازک LCMO رشد یافته به روش MOCVD و نمونه حجمی تک بلور (سطر اول) آورده شده است [۷۰]. در مرجع فوق، از رابطه $\rho = \rho_0 + \rho_2 T^2 + \rho_{4.5} T^{4.5}$ جهت برازش نتایج استفاده شده است.

جدول ۴-۱۸ ضرایب فیلم های نمونه های LCMO رشد یافته با روش MOCVD [۷۰].

Sample	$\rho_0 (10^{-3} \Omega.cm)$	$\rho_2 / \rho_0 (10^{-6} K^{-2})$	$\rho_{4/5} / \rho_0 (10^{-12} K^{-4/5})$
LCMX	۰/۱۰	۱۰۲	۶۷
LCM13	۰/۱۰	۶۱	۱۲۲
LCM10	۰/۱۲	۶۶	۸۵
LCM15	۰/۱۵	۷۳	۸۷
LCM17	۰/۱۶	۶۰	۱۳۳
LCM21	۰/۲۸	۶۱	۱۱۴

نتایج حاصل از این مطالعه در جدول ۴-۱۹ خلاصه شده است که مقایسه نمونه های مورد مطالعه در این پروژه با جدول ۴-۱۸ نشان می دهد که این لایه ها به دلیل داشتن مقدار ρ_0 کمتر از کیفیت بهتری برخوردار بوده اند.

جدول ۴-۱۹ نتایج حاصل از برآزش نمونه $La_{0.67}Ca_{0.33}MnO_3$ با ضخامت های ۴/۵ nm ، ۷ ، ۱۲ ، ۳۷.

ضخامت لایه	$\rho_0 (\Omega m)$	$\rho_2 / \rho_0 (10^{-6} K^{-2})$	$\rho_{4/5} / \rho_0 (10^{-12} K^{-4/5})$
۴/۵ nm	۰/۴۱۵۹۷	۴۸۰	۱۱۲
۷ nm	۰/۰۰۰۰۵	۱۱۷	۱۶۸
۱۲ nm	$۱/۱۸۲۴ \times 10^{-6}$	۱۳۴	۲۷۹
۳۷ nm	$۲/۸۱۱۱ \times 10^{-7}$	۱۳۸	۲۵۲

در لایه های نازک نوع زیر لایه بکار رفته و شرایط رشد و آماده سازی نمونه باعث اعوجاج هایی در شبکه شده که در نتیجه مقاومت وابسته به اندازه دانه یا مرز های دانه ای می باشد که در مگنایت ها در فاز فرومغناطیسی، به دلیل پراکندگی وابسته به اسپین در مرز های دانه می باشد.

۴-۴ بررسی روابط حاکم بر ترابرد الکتریکی در ناحیه پارا مغناطیس

عایق ($T > T_C$)

در این بخش روابط تئوری حاکم در ناحیه پارا مغناطیس عایق را با نمودار های تجربی مورد مقایسه قرار می دهیم و از مقدار ضریب همبستگی خطی (R^2) میزان برازش آنها را بررسی می کنیم.

در فصل قبل مدل هایی برای دماهای بالاتر از دمای گذار بیان کردیم که به صورت ۱ - قانون آرنیوس ساده ۲ - مدل پلارونی ۳- مدل جهش با دامنه متغیر بیان شدند. این سه مدل در منگنایت های لایه نازک برای برازش مقاومت الکتریکی دمای بالا استفاده می شود.

قانون آرنیوس به صورت [65]:

$$\rho = \rho_0 \exp\left(\frac{E_a}{2k_B T}\right) \quad (۴-۵)$$

نشان داده می شود. مدل پلارونی به دو صورت بیان می شود الف- آدیاباتیک ب- غیر آدیاباتیک. مدل پلارون های کوچک آدیاباتیک با عبارت [66]:

$$\rho = \rho_a T \exp\left(\frac{E_a}{k_B T}\right) \quad (۴-۶)$$

بیان و همچنین مدل پلارون های کوچک غیر آدیاباتیک با عبارت:

$$\rho = \rho_a T^{\frac{3}{2}} \exp\left(\frac{E_a}{k_B T}\right) \quad (۴-۷)$$

نشان داده می شود. این مدل برای دما های بالاتر از $T > \theta_D/2$ قابل استفاده می باشند. مدل جهش با دامنه متغیر که با رابطه [67]:

$$\rho = \rho_0 \exp\left(\frac{T_0}{T}\right)^{\frac{1}{4}} \quad (۸-۴)$$

بیان می شود در دما های $T \langle \theta_D / 2$ توصیفی برای ترابرد می باشد.

در ادامه برازش این مدل ها را با نتایج تجربی حاصل از ضخامت های مختلف بررسی می کنیم و در انتها به تحلیل نتایج حاصل از این برازش در ضخامت مختلف می پردازیم.

- ضخامت ۴/۵ nm

در دماهای بالاتر از دمای گذار و پایین تر از دمای دبای از مدل VRH برای توصیف ترابرد استفاده نموده ایم. در این مدل رفتار دمایی مقاومت با رابطه (۸-۴) بیان می شود که در آن T_0

توسط رابطه $kT_0 = \frac{24}{\pi N(E_F) \xi^3}$ به $N(E_F)$ چگالی حالتها در تراز فرمی و ξ طول جایگزیدگی

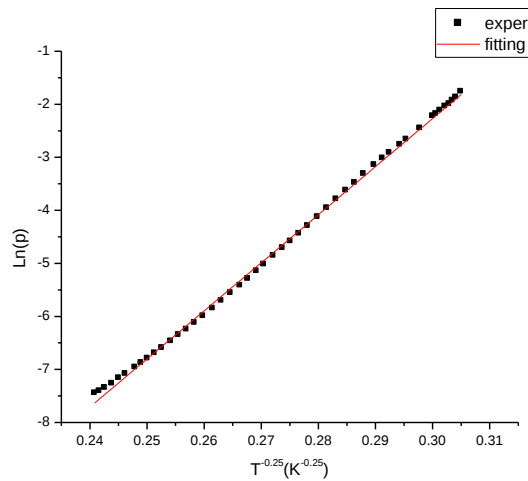
مربوط می شود. $N(E_F)$ را با استفاده از رابطه $T_0 = \frac{16\alpha^3}{K_B N(E_F)}$ با داشتن $\alpha = 2/22 \times 10^{-9}$

بدست می آوریم [۸۱]. در این بخش با استفاده از برازش داده های تجربی با رابطه فوق و با

استفاده از مقدار $N(E_F)$ مقادیر T_0 و ξ را بدست می آوریم. شکل ۴-۱۸ منحنی $\ln(\rho)$ بر

حسب $T^{-0.25}$ در بازه دمایی (۳۰۰K - ۱۴۰) و برازش داده های تجربی با رابطه (۸-۴) را برای

ضخامت ۴/۵ nm نشان می دهد.



شکل ۴-۱۸- منحنی تغییرات $\ln(\rho)$ بر حسب $T^{-0.25}$ نمونه $La_{0.67}Ca_{0.33}MnO_3$ با ضخامت ۴/۵ nm در ناحیه پارامغناطیس. خط پر نشانگر نتیجه برازش داده های تجربی با رابطه (۴-۸) می باشد.

در جدول (۴-۲۰) نتایج به دست آمده از برازش داده های تجربی با رابطه (۴-۸) برای ضخامت لایه ۴/۵ nm درج شده است.

جدول ۴-۲۰- بهترین نتایج به دست آمده از برازش با رابطه (۴-۸) نمونه $La_{0.67}Ca_{0.33}MnO_3$ با ضخامت

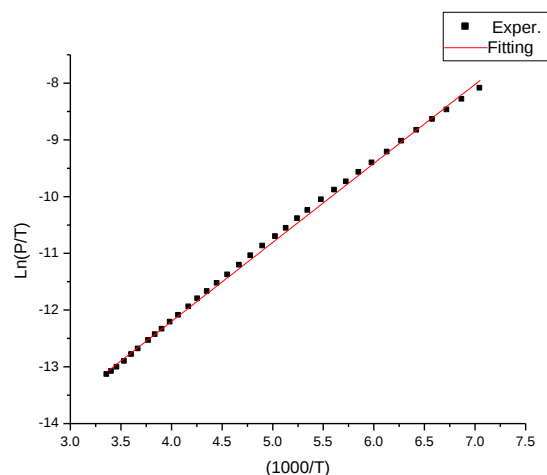
۴/۵nm.

ضخامت لایه	$\rho_0(\Omega m)$	$T_0(K)$	$\xi(m)$	$N(E_F)(eV^{-1}m^{-3})$	R^2
۴/۵ nm	$1/739 \times 10^{-13}$	$6/75 \times 10^7$	$0/143 \times 10^{-8}$	$3/006 \times 10^{25}$	$0/99874$

ترابرد الکتریکی در دمای بالاتر از دمای دبای $T > \theta_D/2$ با مدل جهش پلارون های کوچک SPH توصیف می شود. در اینجا به بررسی یکی از روابط حاکم در این مدل یعنی مدل پلارون های کوچک آدیاباتیک (۴-۶) می پردازیم.

شکل ۴-۱۹ منحنی تغییرات $\ln\left(\frac{\rho}{T}\right)$ بر حسب $\frac{1}{T}$ در بازه دمایی (۳۰۰-۱۴۰) K و برازش

داده های تجربی با رابطه فوق را برای ضخامت ۴/۵ nm نشان می دهد.



شکل ۴-۱۹- منحنی تغییرات $\ln\left(\frac{\rho}{T}\right)$ بر حسب $\frac{1000}{T}$ نمونه $La_{0.67}Ca_{0.33}MnO_3$ با ضخامت

۴/۵nm در ناحیه پارامغناطیس. خط پر نشانگر نتیجه برازش داده های تجربی با رابطه (۴-۶) می باشد.

جدول (۴-۲۱) نتایج به دست آمده از برازش داده های تجربی با رابطه (۴-۶) در ضخامت لایه

۴/۵nm را نشان می دهد.

جدول ۴-۲۱- بهترین نتایج به دست آمده از برازش با رابطه (۴-۶) نمونه $La_{0.67}Ca_{0.33}MnO_3$ با ضخامت

۴/۵nm.

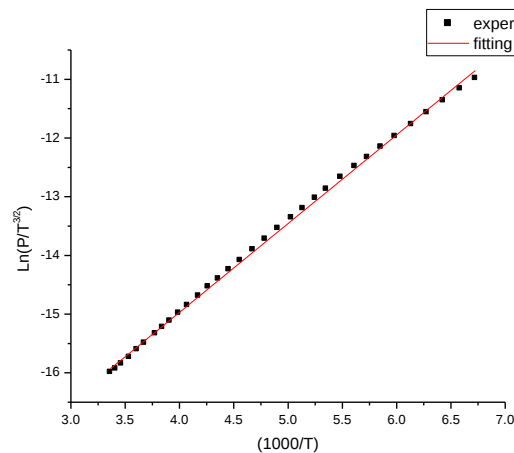
ضخامت لایه	$\rho_{\alpha} (\Omega m K^{-1})$	$E_a (eV)$	R^2
۴/۵ nm	$1/917 \times 10^{-8}$	120.1×10^{-4}	۰/۹۹۸۷۹

رابطه دیگری که بر اساس مدل SPH ارائه شده است عبارتست از مدل پلارون های کوچک

غیر آدیاباتیک (۴-۷) می باشد که در این رابطه $\rho_{\alpha} = K_B V(1-x)/e^2 a^2(x)v$ ، K_B ثابت

بولتزمن، e بار الکتریکی حفره، a فاصله جهش الکترون بین V_{Mn-Mn} حجم یک سلول واحد، ν فرکانس فونون اپتیکی و x مقدار آلاش که در نمونه مورد نظر $x=1/3$ می باشد. a دو برابر فاصله a_{Mn-O} و برابر $3/9 \times 10^{-9} m$ می باشد. حجم سلول واحد با توجه به مقدار تغییرات اندکی که پارامتر شبکه با ضخامت نمونه دارد، دارای کمی تغییرات می باشد. برای ضخامت های $4/5$ nm و 7 و 12 و 37 پارامتر شبکه اندازه گیری شده به ترتیب برابر با $4/01$ و $3/3.90/97$ ، $3/88$ ، آنگسترم است که با استفاده از این پارامتر ها حجم سلول واحد را می توان بدست آورد [۷۸]. در این بخش با استفاده از نتایج برازش داده های تجربی با رابطه $\rho_a = \frac{2k_B}{3va^2e^2P(1-x)}$ می توان چگالی حاملها را محاسبه کرد.

شکل ۴-۲۰ منحنی تغییرات $\ln\left(\frac{\rho}{T^{\frac{3}{2}}}\right)$ بر حسب $1/T$ در بازه دمایی (۳۰۰-۱۴۰) K و برازش داده های تجربی با رابطه (۴-۷) را برای ضخامت $4/5$ nm نشان می دهد.



شکل ۴-۲۰- منحنی $\ln\left(\frac{\rho}{T^{\frac{3}{2}}}\right)$ بر حسب $1000/T$ نمونه $La_{0.67}Ca_{0.33}MnO_3$ با ضخامت $4/5$ nm در ناحیه پارامناطیس. خط پر نشانگر نتیجه برازش داده های تجربی با رابطه (۴-۷) می باشد.

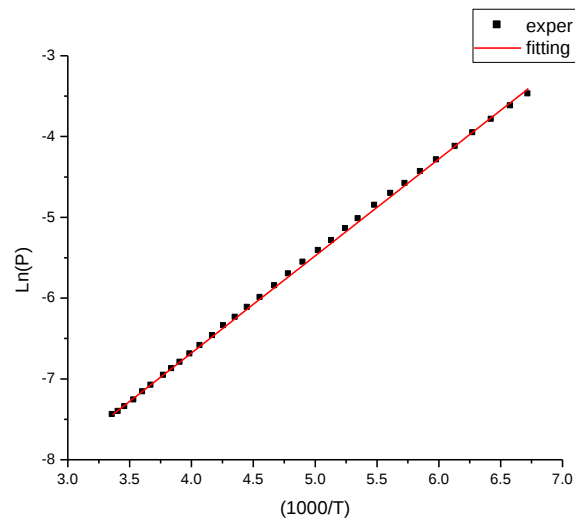
جدول (۴-۲۲) نتایج به دست آمده از برازش داده های تجربی با رابطه (۴-۷) در ضخامت لایه $4/5\text{nm}$ را نشان می دهد.

جدول ۴-۲۲- بهترین نتایج به دست آمده از برازش با رابطه (۴-۷) نمونه $La_{0.67}Ca_{0.33}MnO_3$ با ضخامت $4/5\text{nm}$.

ضخامت لایه	$\rho_a(\Omega m K^{-3/2})$	$E_g(eV)$	$\theta_D(K)$	$\nu(Hz)$	P	R^2
$4/5\text{nm}$	$7/4776 \times 10^{-10}$	$130.3/6 \times 10^{-4}$	۲۹۷	$0/620 \times 10^{13}$	$7/60 \times 10^{27}$	۰/۹۹۸۸۴

رابطه دیگری که برای دماهای بالاتر از دمای گذار ارائه شده قانون آرنیوس می باشد که با رابطه (۴-۵) بیان می شود.

شکل ۴-۲۱ منحنی تغییرات $\ln(\rho)$ بر حسب $1/T$ در بازه دمایی (۳۰۰-۱۴۰ K) و برازش داده های تجربی با رابطه فوق را برای ضخامت $4/5\text{nm}$ نشان می دهد.



شکل ۴-۲۱- منحنی تغییرات $\ln(\rho)$ بر حسب $1000/T$ نمونه $La_{0.67}Ca_{0.33}MnO_3$ با ضخامت ۴/۵ nm در ناحیه پارامغناطیس. خط پر نشانگر نتیجه برازش داده های تجربی با رابطه (۴-۵) می باشد.

جدول (۴-۲۳) نتایج به دست آمده از برازش داده های تجربی با رابطه (۴-۵) در ضخامت لایه ۴/۵ nm را نشان می دهد.

جدول ۴-۲۳- بهترین نتایج به دست آمده از برازش با رابطه (۴-۵) نمونه $La_{0.67}Ca_{0.33}MnO_3$ با ضخامت ۴/۵nm.

ضخامت لایه	$\rho_0 (\Omega m)$	$E_a (eV)$	R^2
۴/۵ nm	$1/0.32 \times 10^{-5}$	$10.35/6 \times 10^{-4}$	۰/۹۹۹۵۷

با بررسی مدل های حاکم در ناحیه پارامغناطیس عایق و با توجه به اینکه ضریب همبستگی

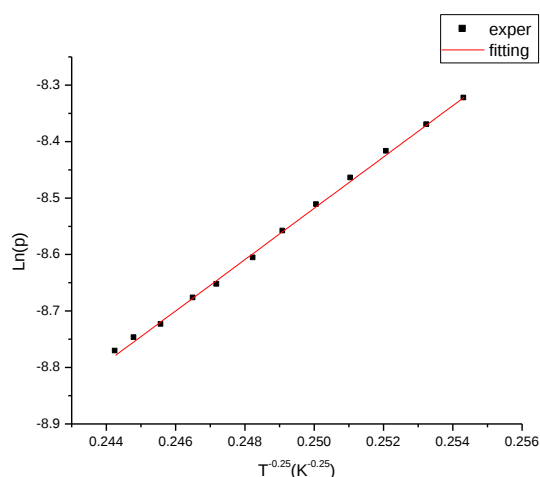
خطی R^2 در مدل پلارون های کوچک غیرآدیاباتیک نسبت به مدل های دیگر به عدد یک

نزدیکتر است، مدل جهش پلارون های کوچک غیرآدیاباتیک $\rho = \rho_a T^{\frac{3}{2}} \exp\left(\frac{E_a}{k_B T}\right)$ بهترین

نتایج را نسبت به مدل های دیگر می دهد. این نتیجه نشان می دهد پراکندگی از پلارون های کوچک با تحرک کم در مقایسه با نوسانات شبکه نقش غالب را در دمای بالا ایفا می کنند.

– ضخامت ۷ nm

در این بخش روابط قسمت قبل را برای این ضخامت مورد بررسی قرار می دهیم. شکل ۴-۲۲ منحنی $\ln(\rho)$ بر حسب $T^{-0.25}$ در بازه دمایی (۲۸۰ – ۲۳۵ K) و برازش داده های تجربی با (۴-۸) را برای ضخامت ۷ nm نشان می دهد و همچنین نتایج حاصل از برازش داده ها با رابطه فوق در جدول ۴-۲۴ ذکر شده است.

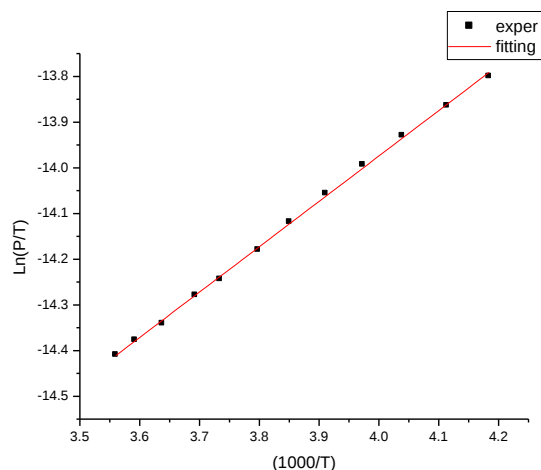


شکل ۴-۲۲- منحنی تغییرات $\ln(\rho)$ بر حسب $T^{-0.25}$ نمونه $La_{0.67}Ca_{0.33}MnO_3$ با ضخامت ۷ nm در ناحیه پارامغناطیس. خط پر نشانگر نتیجه برازش داده های تجربی با رابطه (۴-۸) می باشد.

جدول ۴-۲۴- بهترین نتایج به دست آمده از برازش با رابطه (۴-۸) نمونه با ضخامت ۷ nm.

ضخامت لایه	$\rho_0(\Omega m)$	$T_0(K)$	$\xi(m)$	$N(E_F)(eV^{-1}m^{-3})$	R^2
۷ nm	$2/32 \times 10^{-9}$	$42/64 \times 10^5$	$0/571 \times 10^{-9}$	$4/75 \times 10^{26}$	۰/۹۹۸۷۱

منحنی تغییرات $\ln\left(\frac{\rho}{T}\right)$ بر حسب $\frac{1}{T}$ در بازه دمایی (۲۸۰-۲۳۵ K) و برازش داده های تجربی با رابطه (۴-۶) برای ضخامت ۷ nm در شکل ۴-۲۵ نشان داده شده است.



شکل ۴-۲۳- منحنی تغییرات $\ln\left(\frac{\rho}{T}\right)$ بر حسب $\frac{1000}{T}$ نمونه $La_{0.67}Ca_{0.33}MnO_3$ با ضخامت ۷ nm در ناحیه پارامگناطیس. خط پر نشانگر نتیجه برازش داده های تجربی با رابطه (۴-۶) می باشد.

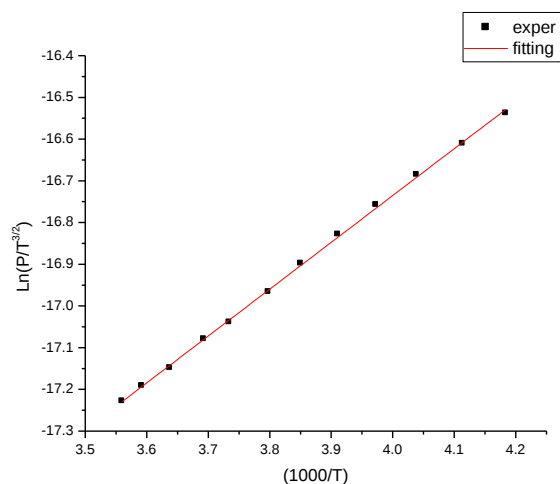
نتایج به دست آمده از برازش داده های تجربی با رابطه فوق در ضخامت لایه ۷ nm در جدول ۴-۲۵ آورده شده است.

جدول ۴-۲۵- بهترین نتایج به دست آمده از برازش با رابطه (۴-۶) نمونه $La_{0.67}Ca_{0.33}MnO_3$ با ضخامت ۷ nm.

ضخامت لایه	$\rho_a (\Omega m K^{-1})$	$E_a (eV)$	R^2
۷ nm	$1/60.60 \times 10^{-8}$	$856/7 \times 10^{-4}$	۰/۹۹۹۲۷

شکل ۴-۲۴ منحنی تغییرات $\ln\left(\frac{\rho}{T^{\frac{3}{2}}}\right)$ بر حسب $\frac{1}{T}$ در بازه دمایی (۲۳۵-۲۸۰K) و

برازش داده های تجربی با رابطه (۷-۴) برای ضخامت ۷ nm نشان می دهیم.



شکل ۴-۲۴ منحنی $\ln\left(\frac{\rho}{T^{\frac{3}{2}}}\right)$ بر حسب $\frac{1000}{T}$ نمونه $La_{0.67}Ca_{0.33}MnO_3$ با ضخامت ۷ nm در ناحیه پارامغناطیس. خط پر نشانگر نتیجه برازش داده های تجربی با رابطه (۷-۴) می باشد.

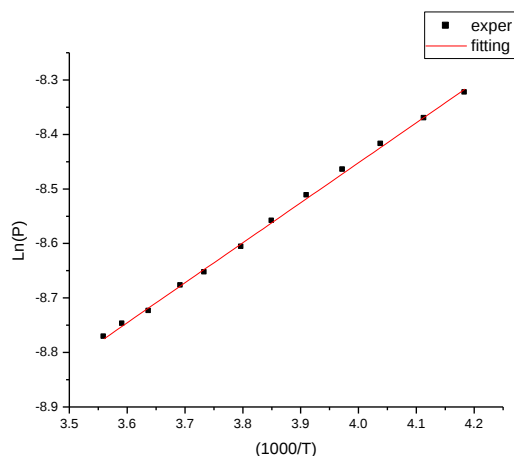
جدول (۴-۲۶) نتایج به دست آمده از برازش داده های تجربی با رابطه (۷-۴) در ضخامت لایه

۷nm را نشان می دهد.

جدول ۴-۲۶- بهترین نتایج به دست آمده از برازش با رابطه (۷-۴) نمونه $La_{0.67}Ca_{0.33}MnO_3$ با ضخامت ۷ nm.

ضخامت لایه	$\rho_a(\Omega m K^{-3/2})$	$E_a(eV)$	$\theta_D(K)$	$\nu(Hz)$	P	R^2
۷ nm	$6/0.8 \times 10^{-10}$	$968/5 \times 10^{-4}$	۳۵۴	$0/739 \times 10^{12}$	$7/84 \times 10^{27}$	۰/۹۹۹۳۷

شکل ۴-۲۵ منحنی تغییرات $\ln(\rho)$ بر حسب $1/T$ در بازه دمایی (۲۸۰-۲۳۵ K) و برازش داده های تجربی با رابطه (۴-۵) را برای ضخامت ۷ nm نشان می دهیم.



شکل ۴-۲۵ منحنی تغییرات $\ln(\rho)$ بر حسب $1000/T$ نمونه $La_{0.67}Ca_{0.33}MnO_3$ با ضخامت ۷ nm در ناحیه پارامغناطیس. خط پر نشانگر نتیجه برازش داده های تجربی با رابطه (۴-۵) می باشد.

جدول (۴-۲۷) نتایج به دست آمده از برازش داده های تجربی با رابطه (۴-۵) در ضخامت لایه ۷ nm را نشان می دهد.

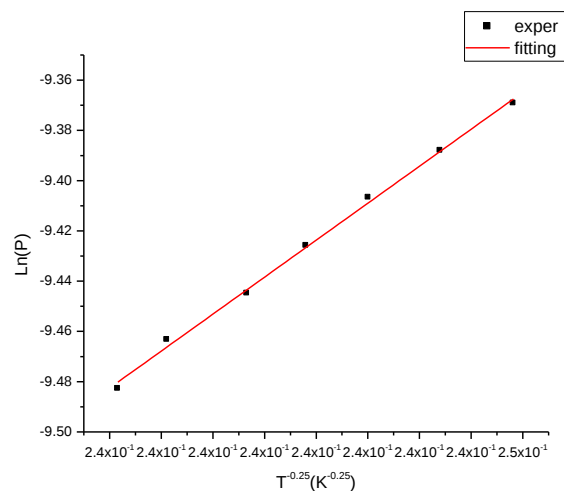
جدول ۴-۲۷- بهترین نتایج به دست آمده از برازش با رابطه (۴-۵) نمونه $La_{0.67}Ca_{0.33}MnO_3$ با ضخامت ۷nm.

ضخامت لایه	$\rho_0 (\Omega m)$	$E_a (eV)$	R^2
۷ nm	$1/133 \times 10^{-5}$	$633/1 \times 10^{-4}$	۰/۹۹۸۸۱

در این ضخامت نیز مدل پلارون های کوچک غیر آدیاباتیک در دماهای بالا برازش بهتری را نتیجه می دهد. با مقایسه نتایج این ضخامت با لایه ۴/۵ nm مشاهده می شود طول جایگزیدگی کاهش یافته که نشان دهنده افزایش تحرک حامل ها با افزایش ضخامت می باشد.

ضخامت ۱۲ nm

شکل ۴-۲۶ منحنی $\ln(\rho)$ بر حسب $T^{-0.25}$ در بازه دمایی (۲۷۵-۳۰۰K) و برازش داده های تجربی با رابطه (۴-۸) را برای ضخامت ۱۲ nm نشان داده شده است.



شکل ۴-۲۶- منحنی تغییرات $\ln(\rho)$ بر حسب $T^{-0.25}$ نمونه $La_{0.67}Ca_{0.33}MnO_3$ با ضخامت ۱۲ nm در ناحیه پارامغناطیس. خط پر نشانگر نتیجه برازش داده های تجربی با رابطه (۴-۸) می باشد.

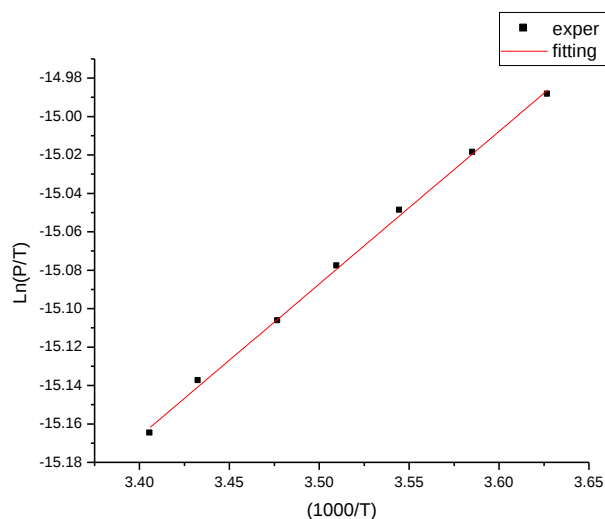
جدول (۴-۲۸) نتایج به دست آمده از برازش داده های تجربی با رابطه (۴-۸) در ضخامت لایه ۱۲nm را نشان می دهد.

جدول ۴-۲۸- بهترین نتایج به دست آمده از برازش با رابطه (۴-۸) نمونه $La_{0.67}Ca_{0.33}MnO_3$ با ضخامت ۱۲nm.

ضخامت لایه	$\rho_0(\Omega m)$	$T_0(K)$	$\xi(m)$	$N(E_F)(eV^{-1}m^{-3})$	R^2
۱۲nm	$6/255 \times 10^{-8}$	$75/53 \times 10^{-4}$	$0/321 \times 10^{-9}$	$2/68 \times 10^{-27}$	۰/۹۹۷۴۶

شکل ۴-۲۷ منحنی تغییرات $\ln\left(\frac{\rho}{T}\right)$ بر حسب $\frac{1}{T}$ در بازه دمایی (۲۷۵-۳۰۰K) و برازش

داده های تجربی با رابطه (۴-۶) را برای ضخامت ۱۲ nm نمایش می دهد.



شکل ۴-۲۷- منحنی تغییرات $\ln\left(\frac{\rho}{T}\right)$ بر حسب $\frac{1000}{T}$ نمونه $La_{0.67}Ca_{0.33}MnO_3$ با ضخامت ۱۲nm در ناحیه پارامغناطیس. خط پر نشانگر نتیجه برازش داده های تجربی با رابطه (۴-۶) می باشد .

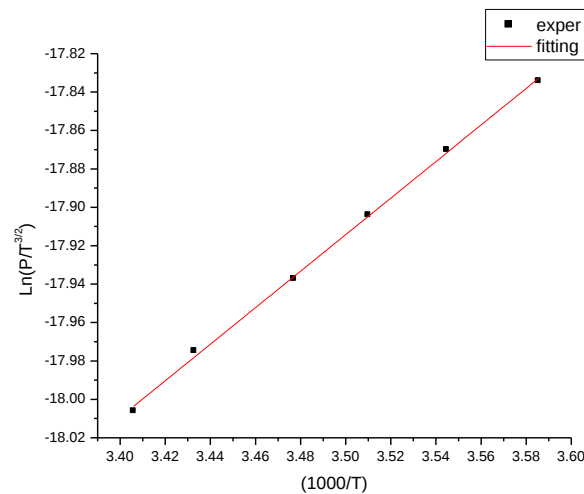
جدول (۴-۲۹) نتایج به دست آمده از برازش داده های تجربی با رابطه (۴-۶) در ضخامت لایه ۱۲ nm را نشان می دهد.

جدول ۴-۲۹- بهترین نتایج به دست آمده از برازش با رابطه (۴-۶) نمونه $La_{0.67}Ca_{0.33}MnO_3$ با ضخامت ۱۲nm.

ضخامت لایه	$\rho_a (\Omega m K^{-1})$	$E_a (eV)$	R^2
۱۲ nm	$1/741 \times 10^{-8}$	$684/8 \times 10^{-4}$	۰/۹۹۸۶۴

در شکل ۴-۲۸ منحنی تغییرات $\ln\left(\frac{\rho}{T^{\frac{3}{2}}}\right)$ بر حسب $\frac{1}{T}$ در بازه دمایی (۲۷۵-۳۰۰K) و

برازش داده های تجربی با رابطه (۴-۷) در ضخامت ۱۲ nm نشان داده شده است.



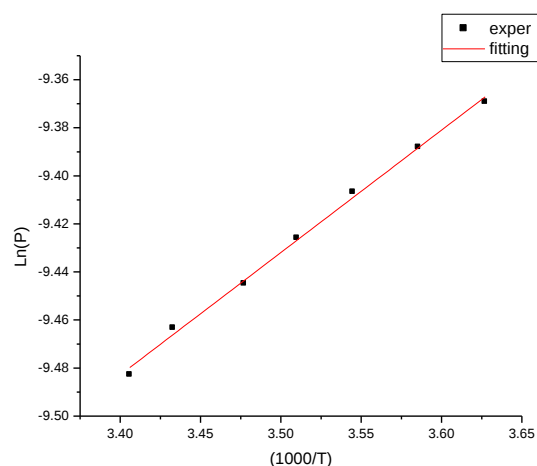
شکل ۴-۲۸- منحنی $\ln\left(\frac{\rho}{T^{\frac{3}{2}}}\right)$ بر حسب $1000/T$ نمونه $La_{0.67}Ca_{0.33}MnO_3$ با ضخامت ۱۲nm در ناحیه پارامغناطیس. خط پر نشانگر نتیجه برازش داده های تجربی با رابطه (۴-۷) می باشد.

جدول (۴-۳۰) نتایج به دست آمده از برازش داده های تجربی با رابطه (۴-۷) در ضخامت لایه ۱۲ nm را نشان می دهد.

جدول ۴-۳۰- بهترین نتایج به دست آمده از برازش با رابطه (۴-۷) نمونه $La_{0.67}Ca_{0.33}MnO_3$ با ضخامت ۱۲nm.

ضخامت لایه	$\rho_a (\Omega m K^{-3/2})$	$E_a (eV)$	$\theta_b (K)$	$\nu (Hz)$	P	R^2
۱۲ nm	$5/9520 \times 10^{-10}$	$820/24 \times 10^{-4}$	۳۴۳	$0/717 \times 10^{13}$	$8/26 \times 10^{27}$	۰/۹۹۸۹۶

شکل ۴-۲۹ منحنی تغییرات $\ln(\rho)$ بر حسب $1/T$ در بازه دمایی (۲۷۵-۳۰۰K) و برازش داده های تجربی با رابطه فوق را برای ضخامت ۱۲ nm نشان می دهد.



شکل ۴-۲۹- منحنی تغییرات $\ln(\rho)$ بر حسب $1000/T$ نمونه $La_{0.67}Ca_{0.33}MnO_3$ با ضخامت ۱۲ nm در ناحیه پارامغناطیس. خط پر نشانگر نتیجه برازش داده های تجربی با رابطه (۴-۵) می باشد.

جدول (۴-۳۱) نتایج به دست آمده از برازش داده های تجربی با رابطه (۴-۵) در ضخامت لایه ۱۲ nm را نشان می دهد.

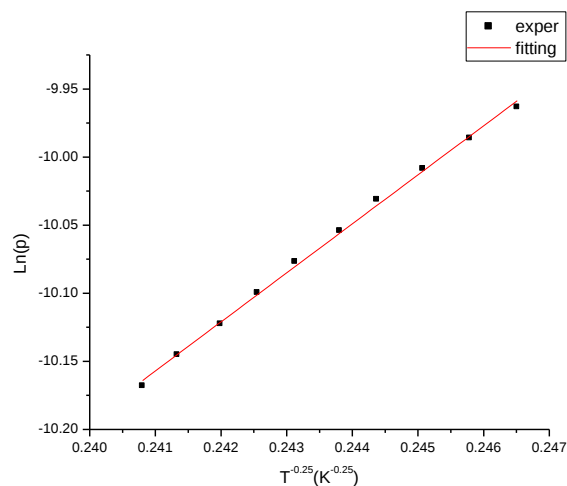
جدول ۴-۳۱- بهترین نتایج به دست آمده از برازش با رابطه (۴-۵) نمونه $La_{0.67}Ca_{0.33}MnO_3$ در ضخامت ۱۲ nm.

ضخامت لایه	$\rho_0 (\Omega m)$	$E_a (eV)$	R^2
۱۲ nm	$1/347 \times 10^{-5}$	$439/4 \times 10^{-4}$	۰/۹۹۷۰۷

در ضخامت ۱۲ nm نیز مدل پلارون های کوچک غیر آدیاباتیک (NASPH) در ناحیه پارامغناطیس عایق صادق می باشد.

ضخامت ۳۷ nm

شکل ۴-۳۰- منحنی $\ln(\rho)$ بر حسب $T^{-0.25}$ در بازه دمایی (۲۶۰-۳۰۰ K) و برازش داده های تجربی با رابطه (۴-۸) برای ضخامت ۳۷ nm در شکل ۴-۳۰ نشان داده شده است.



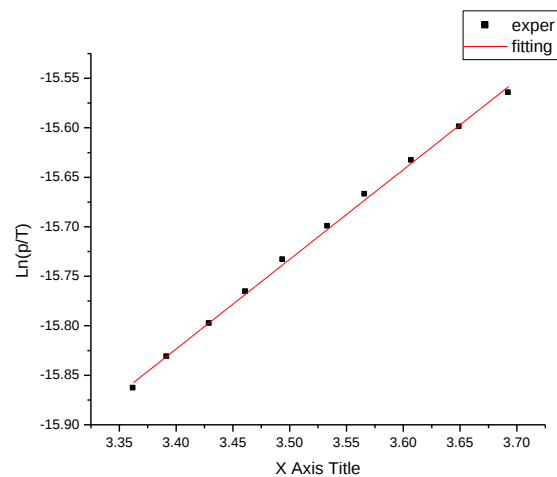
شکل ۴-۳۰- منحنی تغییرات $\ln(\rho)$ بر حسب $T^{-0.25}$ نمونه $La_{0.67}Ca_{0.33}MnO_3$ با ضخامت ۳۷ nm در ناحیه پارامغناطیس. خط پر نشانگر نتیجه برازش داده های تجربی با رابطه (۴-۸) می باشد.

نتایج به دست آمده از برازش داده های تجربی با رابطه (۴-۸) برای نمونه های با ضخامت لایه ۳۷ nm در جدول ۴-۳۲ فهرست شده است.

جدول ۴-۳۲- بهترین نتایج به دست آمده از برازش با رابطه (۴-۸) نمونه $La_{0.67}Ca_{0.33}MnO_3$ با ضخامت ۳۷nm.

ضخامت لایه	$\rho_0(\Omega m)$	$T_0(K)$	$\xi(m)$	$N(E_F)(eV^{-1}m^{-3})$	R^2
۳۷ nm	$6/629 \times 10^{-9}$	$16/79 \times 10^5$	$0/417 \times 10^{-9}$	$1/20.8 \times 10^{27}$	۰/۹۹۸۰۶

شکل ۴-۳۱- منحنی تغییرات $\ln(\rho/T)$ بر حسب $1/T$ در بازه دمایی (۲۶۰-۳۰۰K) و برازش داده های تجربی با رابطه (۴-۶) را برای ضخامت ۳۷ nm نشان می دهیم.



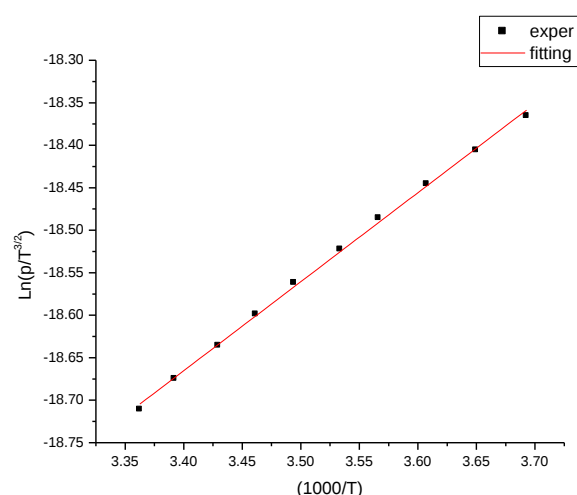
شکل ۴-۳۱- منحنی تغییرات $\ln\left(\frac{\rho}{T}\right)$ بر حسب $\frac{1000}{T}$ نمونه $La_{0.67}Ca_{0.33}MnO_3$ با ضخامت ۳۷nm در ناحیه پارامغناطیس. خط پر نشانگر نتیجه برازش داده های تجربی با رابطه (۴-۶) می باشد.

جدول (۴-۳۳) نتایج به دست آمده از برازش داده های تجربی با رابطه (۴-۶) برای نمونه های با ضخامت لایه ۳۷ nm را نشان می دهد.

جدول ۴-۳۳- بهترین نتایج به دست آمده از برازش با رابطه (۴-۶) نمونه $La_{0.67}Ca_{0.33}MnO_3$ با ضخامت ۳۷nm.

ضخامت لایه	$\rho_a (\Omega m K^{-1})$	$E_a (eV)$	R^2
۳۷ nm	$6/177 \times 10^{-9}$	$781/1 \times 10^{-4}$	۰/۹۹۸۳۵

شکل ۴-۳۲- منحنی تغییرات $\ln\left(\frac{\rho}{T^{\frac{3}{2}}}\right)$ بر حسب $\frac{1}{T}$ در بازه دمایی (۲۶۰-۳۰۰K) و برازش داده های تجربی با رابطه (۴-۷) برای ضخامت ۳۷ nm نشان می دهد.



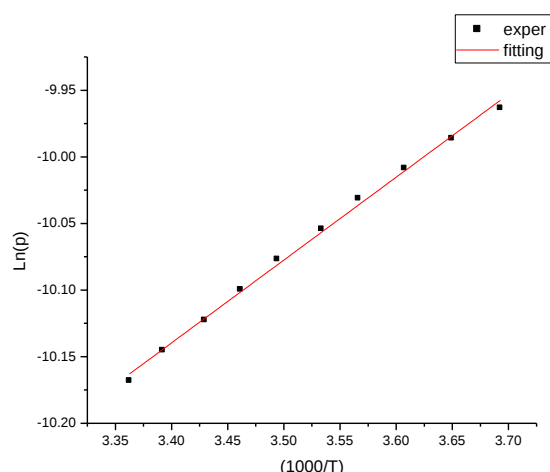
شکل ۴-۳۲- منحنی $\ln\left(\frac{\rho}{T^{\frac{3}{2}}}\right)$ بر حسب $\frac{1000}{T}$ نمونه $La_{0.67}Ca_{0.33}MnO_3$ با ضخامت ۳۷ nm در ناحیه پارامغناطیس. خط پر نشانگر نتیجه برازش داده های تجربی با رابطه (۴-۷) می باشد.

جدول (۴-۳۴) نتایج به دست آمده از برازش داده های تجربی با رابطه (۴-۷) برای نمونه های با ضخامت لایه ۳۷ nm را نشان می دهد.

جدول ۴-۳۴- بهترین نتایج به دست آمده از برازش با رابطه (۴-۷) نمونه $La_{0.67}Ca_{0.33}MnO_3$ با ضخامت ۳۷nm.

ضخامت لایه	$\rho_a(\Omega m K^{-3/2})$	$E_a(eV)$	$\theta_D(K)$	$\nu(Hz)$	P	R^2
۳۷ nm	$2/224 \times 10^{-10}$	$903/56 \times 10^{-4}$	۹۰۶	$1/889 \times 10^{13}$	$8/3 \times 10^{27}$	۰/۹۹۸۶۴

شکل ۴-۳۳- منحنی تغییرات $\ln(\rho)$ بر حسب $1/T$ را در بازه دمایی (۲۶۰-۳۰۰K) و برازش داده های تجربی با رابطه (۴-۵) را برای ضخامت ۳۷ nm نشان می دهد.



شکل ۴-۳۳- منحنی تغییرات $\ln(\rho)$ بر حسب $1000/T$ نمونه $La_{0.67}Ca_{0.33}MnO_3$ با ضخامت ۳۷ nm در ناحیه پارامغناطیس. خط پر نشانگر نتیجه برازش داده های تجربی با رابطه (۴-۵) می باشد

جدول (۴-۳۵) نتایج به دست آمده از برازش داده های تجربی با رابطه (۴-۵) را برای نمونه های با ضخامت لایه ۳۷ nm نشان می دهد.

جدول ۴-۳۵- بهترین نتایج به دست آمده از برازش با رابطه (۴-۵) با داده های تجربی برای نمونه $La_{0.67}Ca_{0.33}MnO_3$ با ضخامت ۳۷ nm.

ضخامت لایه	$\rho_0 (\Omega m)$	$E_a (eV)$	R^2
۳۷ nm	4.766×10^{-6}	$536/4 \times 10^{-4}$	۰/۹۹۷۱۶

در ضخامت ۳۷ nm نیز رابطه $\rho = \rho_a T^{\frac{3}{2}} \exp\left(\frac{E_a}{k_B T}\right)$ در دما های بالای دمای گذار بهترین توافق را با داده های تجربی دارد.

جمع بندی نتایج

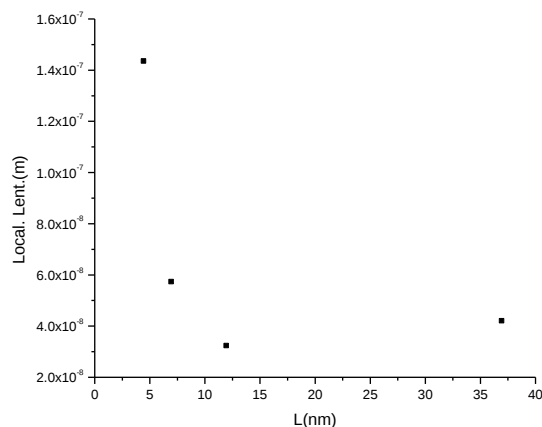
جهت جمع بندی نتایج بدست آمده از این نمونه های با ضخامت متفاوت، نتایج حاصل از بهترین برازش نشان می دهد که رفتار دمایی مقاومت از مدل پلارون های کوچک غیر آدیاباتیک پیروی

می کند، در جدول ۴-۳۶ ذکر شده است. نتایج بدست آمده نشان می دهد که با افزایش ضخامت، چگالی حالات در انرژی فرمی افزایش یافته است.

جدول (۴-۳۶) نتایج حاصل از برازش رابطه (۴-۷) با داده های تجربی نمونه $La_{0.67}Ca_{0.33}MnO_3$ با ضخامت های ۴/۵ nm، ۷ nm، ۱۲ nm و ۳۷ nm.

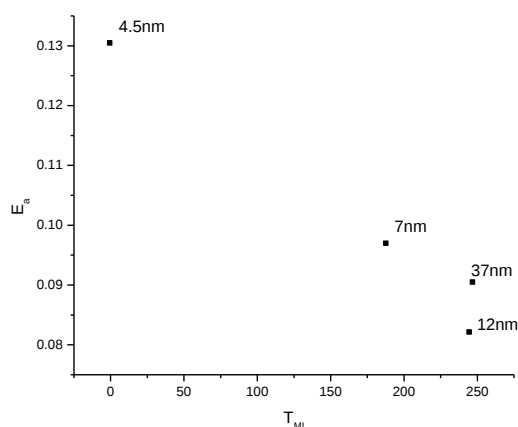
ضخامت لایه	$N(E_F)(eV^{-1}m^{-3})$	$\xi(m) \times 10^{-9}$	$\theta_D(K)$	$\nu(Hz) \times 10^{13}$	$P \times 10^{27}$	$E_g \times 10^{-4}$
۴/۵ nm	$3/0.06 \times 10^{25}$	۱/۴۳	۲۹۷	۰/۶۲۰	۷/۶۰	۱۳۰۳/۶
۷ nm	$4/75 \times 10^{26}$	۰/۵۷۱	۳۵۴	۰/۷۳۹	۷/۸۴	۹۶۸/۵
۱۲ nm	$2/68 \times 10^{27}$	۰/۳۲۱	۳۴۳	۰/۷۱۷	۸/۲۶	۸۲۰/۲۴
۳۷ nm	$1/0.208 \times 10^{27}$	۰/۴۱۷	۹۰۶	۱/۸۸۹	۸/۳	۹۰۳/۵۶

در شکل های (۴-۳۴) و (۴-۳۵) طول جایگزیدگی بر حسب ضخامت و انرژی فعال سازی بر حسب دمای گذار عایق- فلز به ترتیب رسم شده است.



شکل ۴-۳۴ منحنی تغییرات طول جایگزیدگی ξ بر حسب ضخامت L نمونه $La_{0.67}Ca_{0.33}MnO_3$

با ضخامت های لایه ۴/۵ nm و ۷ nm و ۱۲ nm و ۳۷ nm.



شکل ۴-۳ منحنی تغییرات انرژی فعال سازی E_a برحسب ضخامت T_{MI} نمونه $La_{0.67}Ca_{0.33}MnO_3$

با ضخامت های لایه ۴/۵ nm و ۷ و ۱۲ و ۳۷.

نمودار نشان می دهد که طول جایگزیدگی حاملها با افزایش ضخامت کاهش یافته که با کاهش مقاومت ویژه با ضخامت در توافق می باشد. همچنین نتایج نشان می دهد که چگالی حاملها نیز با افزایش ضخامت افزایش می یابد. محاسبه E_a نشان می دهد که با افزایش ضخامت انرژی فعال سازی نیز کاهش می یابد که همه این نتایج بیانگر کاهش مقاومت می باشد. یا می توان گفت با کاهش ضخامت، طول جایگزیدگی و انرژی فعال سازی افزایش می یابد، که این امر بیان کننده کاهش تحرک حامل ها با کاهش ضخامت و ضعیف شدن فاز فرومغناطیسی فلزی است که در توافق با نا پدید شدن فاز فرو مغناطیس فلزی در نمونه با ضخامت ۴/۵ نانومتر است. در ضخامت کم اثر کرنش لایه - زیر لایه قابل توجه است ولی با افزایش ضخامت این اثر تقلیل می یابد.

در همین نمونه ولی با ضخامت متفاوت فرکانس فونون اپتیکی گزارش شده برابر $\nu = 6 \times 10^{12} (Hz)$ می باشد [۸۲]. همچنین چگالی حالتها گزارش شده این ترکیب با ضخامت $1 \mu m$ که بسیار بزرگتر از ضخامت های مورد بررسی ما می باشد، مقداری برابر با $eV^{-1}m^{-3}$ $1/14 \times 10^{28}$ بدست آمده [۷۹] و انرژی فعال سازی در چنین ترکیبی با زیر لایه متفاوت مقداری برابر با $962/55 \times 10^{-4} eV$ گزارش شده است [۸۲] که نشان دهنده توافق نسبتا خوب با نتایج

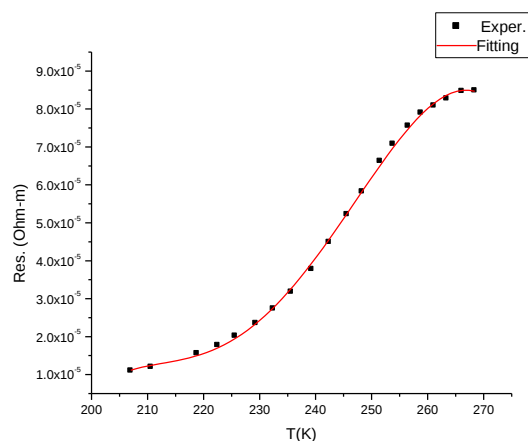
بدست آمده می باشد. در ترکیب $La_{0.7}Ca_{0.3}MnO_3$ طول جایگزیدگی برابر $10^{-9} \times 0.2$ و دمای دبای برابر با 430 K گزارش شده است [۸۳].

۴-۵ بررسی روابط حاکم بر ترابرد الکتریکی در ناحیه دمای میانی (مخلوط فازی فرو مغناطیس فلزی - پارا مغناطیس عایق)

این ناحیه دمایی نزدیک دمای گذار فرو مغناطیس - پارامغناطیس می باشد. در این ناحیه جدایی فاز رخ داده و نمونه در حالت مخلوط فاز های فرومغناطیسی و پارامغناطیسی قرار دارد. عقیده بر این است که این جدایی فاز ناشی از میدان کرنشی غیر همگن است که بعلت واهلش کرنش ایجاد می شود [۷۸]. هر چه ضخامت نمونه بیشتر شود کرنش های ناشی از زیر لایه کاهش می یابد. در این ناحیه رفتار دمایی مقاومت، متفاوت از دو ناحیه دمایی ذکر شده در بخش های قبل می باشد. در نمونه مورد با توجه به شکل (۴-۱) بررسی این رفتار در ضخامت های ۱۲ و ۳۷ نانومتر اتفاق می افتد. رابطه ای را که در این ناحیه مورد استفاده قرار دادیم از ترکیب روابط دارای برازش خوب در ناحیه دمای زیر TM و بالای TM بدست آمد. یعنی از برازش رابطه:

$$\rho = \rho_0 + \rho_{4.5} T^{4.5} + \rho_{\sinh} / \sinh^2(\hbar \omega_s / 2k_B T) + \rho_a T^{\frac{3}{2}} \exp\left(\frac{E_a}{k_B T}\right) \quad (۹-۴)$$

با داده های تجربی استفاده کردیم که نمودار آن برای ضخامت 12 nm در شکل ۴-۳۶ نشان داده شده است.



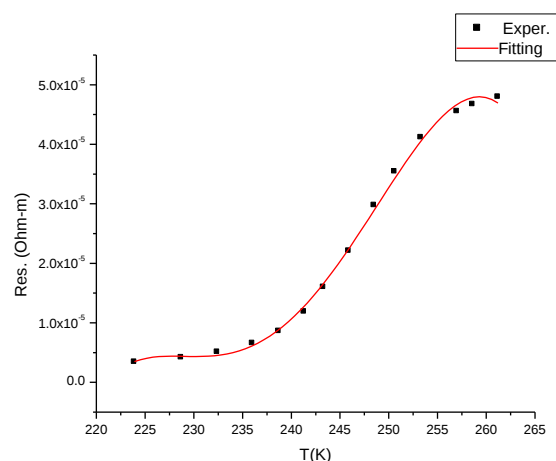
شکل ۴-۳۶- منحنی مقاومت ویژه بر حسب دما نمونه $La_{0.67}Ca_{0.33}MnO_3$ با ضخامت ۱۲ nm در ناحیه میانی. خط پر نشانگر نتیجه برازش داده های تجربی با رابطه (۴-۹) می باشد.

در جدول (۴-۳۷) نتایج به دست آمده از برازش داده های تجربی با رابطه فوق برای ضخامت لایه ۱۲ nm درج شده است.

جدول ۴-۳۷- بهترین نتایج به دست آمده از برازش با رابطه (۴-۹) نمونه $La_{0.67}Ca_{0.33}MnO_3$ با ضخامت ۱۲ nm.

ضخامت لایه	$\rho_0 (\Omega m)$	$\rho_{4/5} (\Omega m K^{-4/5})$	$\rho_{sinh} (\Omega m)$	$\omega_s (Hz)$	$\rho_a (\Omega m K^{-1})$	$E_a (eV)$	R^2
۱۲ nm	۰/۱۸۵۲	$-۱/۵۶۹۷ \times ۱۰^{-۱۳}$	۰/۰۶۰۷۳	$۰/۶۵ \times ۱۰^{۱۳}$	-۰/۰۰۰۰۴	$۱۴۲/۹۶ \times ۱۰^{-۴}$	۰/۹۹۹۲۹

شکل ۴-۳۷ همان برازش را برای نمونه ۳۷ nm نشان می دهد.



شکل ۴-۳۷- منحنی مقاومت ویژه بر حسب دما نمونه $La_{0.67}Ca_{0.33}MnO_3$ با ضخامت ۳۷ nm در ناحیه دمایی

میانی. خط پر نشانگر نتیجه برازش داده های تجربی با رابطه (۴-۹) می باشد.

نتایج حاصل از این در جدول ۴-۳۸ درج شده است.

جدول ۴-۳۸- بهترین نتایج به دست آمده از برازش رابطه (۴-۹) نمونه $La_{0.67}Ca_{0.33}MnO_3$ با ضخامت ۳۷ nm.

ضخامت لایه	$\rho_0 (\Omega m)$	$\rho_{4/5} (\Omega m K^{-4/5})$	$\rho_{sinh} (\Omega m)$	$\omega_s (Hz)$	$\rho_a (\Omega m K^{-1})$	$E_a (eV)$	R^2
۳۷ nm	۰/۹۹۵۴۵	$-۷/۷۷۰۳ \times 10^{-13}$	۱/۳۰۳۲۲	$۱/۵۴ \times 10^{13}$	-۰/۰۰۰۱۳	$۱۹۱/۳۸ \times 10^{-4}$	۰/۹۹۷۹۶

در این تحقیق، به بررسی ترابرد الکتریکی در ترکیب لایه نازک $La_{0.67}Ca_{0.33}MnO_3$ در ضخامت های ۳۷ ، ۱۲ ، ۷ ، ۴/۵ nm پرداخته شده است. مقایسه ضرایب مقاومت بدست آمده (جدول ۴-۳۷ و ۴-۳۸) نشان می دهد که در این ناحیه دمایی با افزایش ضخامت این ضرایب افزایش یافته است. چون این ناحیه دمایی نزدیک دمای گذار فرو مغناطیس به پارامغناطیس می باشد پس نظم اسپین ها در حال کاهش و پراکندگی وابسته به اسپین افزایش می یابد و مقاومت ویژه نیز افزایش می یابد. افزایش انرژی فعال سازی با افزایش ضخامت بیانگر این است که حاملها در لایه ۱۲ nm راحت تر می توانند حرکت کنند. بزرگتر بودن ضریب جمله سوم در مقایسه با جمله

دوم، احتمالاً بیانگر این واقعیت است که در این ناحیه دمایی در صد فاز پارا مغناطیس بیشتر از فاز فرو مغناطیس می باشد.

۴-۶ نتیجه گیری

عقیده بر این است که در منگنایت های لایه نازک که دارای ناهمگنی ذاتی در ساختار می باشند، بی نظمی حاصل از زیر لایه می تواند موجب جدایی فاز شود. در نتیجه این جدایی فاز سطوح عایق از سطوح فلزی جدا می شود. این تمایل به جدایی فاز با حضور لایه های مرده عایق توصیف می شود (اثرات کرنش و وابستگی آن به ضخامت می تواند به طور موثری سطوح عایق و فلز را آشفته کند و منجر به تشکیل لایه های مرده شود) که در منگنایت های لایه نازک، مهم می باشد. همچنین می توان وجود لایه های مرده در سطوح منگنایت ها را دلیلی برای کاهش دمای بحرانی عنوان کرد. ملاحظه کردیم که حرکت پلارون های کوچک نقش غالب در دما های پایین بوده و مدل جهش پلارون های کوچک غیر آدیاباتیک فرایند حاکم در دما های بالا می باشند. با ترکیب این روابط، رابطه ای را برای برازش روابط مربوط با داده های تجربی در دما های میانی بدست آوردیم. پس در ناحیه میانی پلارون های کوچک نقش مهمی دارند و با توجه به اینکه ضریب جمله سینوسی بزرگتر از بقیه ضرایب است، اهمیت حرکت پلارون های کوچک مشخص می شود. ملاحظه شد که جمله مستقل از دما که پراکندگی از نا خالصی ها و نواقص را شامل می شود در لایه خیلی نازک $4/5 \text{ nm}$ خیلی بیشتر از ضخامت های دیگر می باشد که با توجه به ضخامت کم لایه اثرات کرنش و بدلیل عدم انطباق پارامتر های شبکه بین لایه و زیر لایه تاثیر زیادی دارد و نمونه دارای خاصیت فلزی نبوده و دمای گذار نیز به دماهای پایین تری انتقال یافته است. همچنین با مقایسه مقادیر پارامتر های حاصل از تحلیل متوجه شدیم که با کاهش ضخامت، طول جایگزیدگی و انرژی فعال سازی افزایش می یابد، که این امر هم بیان کننده کاهش تحرک حامل ها با کاهش ضخامت و ضعیف شدن خاصیت فرومغناطیسی فلزی

می باشد. در ضخامت های بالاتر، که در آن ها کرنش حاصل از زیر لایه کاهش می یابد فاز فرو مغناطیسی فلزی پایدارتر و دمای گذار بالاتر است.

- [1] D. Kumar, et al, (1997) *Phys. Rev. B* **56**, 13666-13668.
- [2] Coey J M D, Viret M, von Molnár S (1999) *Adv. in Phys.* **48** 167.
- [3] Jonker GH and van Santen J H(1950) *Physica* **16** 337.
- [4] H. L. Yakel(1955)., *Acta Crystallogr.* **8**, 394.
- [5] Anderson ,P W and, Hasegawa H (1955) *Phys. Rev.* **100** 675.
- [6] Kajimoto R, et al., (2002) *Phys. Rev. B* **66** 180402, Tobe K, Kimura T and Tokura Y (2004) *Phys. Rev. B* **69** 014407.
- [7] Goldschmidt V (1958) *Geochemistry* (Oxford University Press).
- [8] Millis AJ, Littlewood P B and Shraiman B I (1955) *phys.Rev.Lett.* **74** 5144.
- [9] Ramirez A P, et al., (1996) *Phys.Rev.Lett.* **76** 3188.
- [10] Schiffer, P., A. Ramirez, W. Bao, and S.-W. Cheong, (1995), *Phys. Rev. Lett.* **75**, 3336.
- [11] Binasch G, Grunberg P, Saurenbach F and Zinn W (1989) *Phys Rev B* **39** 4828, Jin S, Tiefel TH, et al., (1994) *Science* **264** 413.
- [12] Coey J M D, Viret M, von Molnár S (1999) *Adv. in Phys.* **48** 167.
- [13] Vel´azquez M, Revcolevschi A, Renard J-P and Dupas C (2001) *Eur. Phys. J. B* **23** 307.
- [14] Zener C (1951) *Phys. Rev.* **81** 440, Zener C (1951) *Phys. Rev.* **82** 403.
- [15] P.W. Anderson, and H. Hasegava, (1955) *Phys. Rev* **100**, 675-681.
- [16] Pickett W E and Singh D J (1995) *Phys Rev B* **53** 1146.
- [17] Morimoto Y, Asamitsu A, Kuwahara H and Tokura Y (1996) *Nature* **380** 141, Morimoto Y (1999) *Aust. J. Phys.* **52** 255.
- [18] G.L. Liu, J.S. Zhou and J.P. Goodenough, (2001) *Phys. Rev. B* **64**, 144414.
- [19] Jaewu Choi, Jiandi Zhang (1999). *Phys Rev B*, **59**, 20, 15 MAY.
- [20] E. Dagotto, T. Hotta and A. Moreo, (2001) *Phys. Rep* **344**, 1-153, D. Kumar et al., (1997). *Phys. Rev B* **56**, 13666-13668.
- [21] M. Uehara, B. Kim and S.-W. Cheong, (2000), personal communication.
- [22] C. Martin, A. Maignan, M. Hervieu, and B. Raveau (1999) *Phys Rev B* **60**, 17.
- [23] M.B. Salamon and M. Jaime, *Rev. Mod. Phys.* (2001) **73**, 583.
- [24] T. Akimoto, Y. Morimoto, A. Nakamura, and N. Furukawa, (2000) *Phys. Rev. Lett.* **85**, 3914.
- [25] Paranjape M, Raychaudhuri A K, Todd N K, Mathur N D and Blamire M G (2003) *Phys. Rev. B* **67** 214415.
- [26] J.E. Evetts, et al., (1998). *Trans. R. Soc. Lond. Ser. A* **356** 1593.
- [27] M. Viret, L. Ranno, J.M.D. Coey, (1997) *Phys. Rev. B* **55** 8067.
- [28] H.Y. Hwang, S.W. Cheong, N.P. Ong, B. Batlogg, (1996) *Phys. Rev. Lett.* **77** 2041. J.-M. Liu, et al., (2001) *Appl. Phys. A* **73** 625.

- [29] Holzapfel B , et al., (1992)*Appl. Phys. Lett.* **61** 3178, Joshi S, Nawathey R, Koinkar V n, Godbole V P, Chaudhari S M, Ogale S B and Date S K (1988) *J. Appl. Phys.* **64** 5647.
- [30] Chahara K, Ohno T, Kasai M, Kozono Y (1993) *Appl. Phys. Lett.* **63** 1990.
- [31] Schwartz R W (1997) *Chem. Mater.* **9** 2325.
- [32] W Prellier, Ph Lecoeur and B Mercey. (2001): *J. Phys* **13** R915–R944.
- [33] Kanki T, Tanaka H and Kawai T (2001) *Phys. Rev. B* **64** 224418.
- [34] *J. Phys.: Condens. Matter* **18** (2006) 9783–9794.
- [35] Haghiri-Gosnet A-M, et al.,(2000) *J. Appl. Phys.* **88** 4257.
- [36] A.Gupta and J.Z.Sun, (1999) *J.Magn.Magn.Mater.***200**,24;A.Gupta,G.Q.Gong Xiao, P.R. Duncombe,et al., (1996),*Phys.Rev.B* **54** R15.
- [37] S. Mercone, et al.,(2005) *Phys Rev B***71**, 064415 s.Banerjee, (2001).*J.chem.phys.*115155.
- [38] C.A.Perroni,G.De Filippis,V.Cataudella,and Gladonisi,*Phys.Rev.B***64**,144302.
- [39] Koo T Y, Park S H, Lee K B and Jeong Y H (1997) *Appl. Phys. Lett.* **71** 977.
- [40] Barnali Ghosh, et al.,(2004): *J. Phys. Appl. Phys.* **37** 1548–1553.
- [41] N-C Yehy, et al.,(1997) *J. PhysCondens. Matter* **9** 3713–3721.
- [42] Aarts J, Freisem S, Hendrikx R and Zandbergen H W (1998) *Appl. Phys. Lett.* **72** 2975.
- [43] Sun J Z, Abraham D W, Rao R A and Eom C B (1999) *Appl. Phys. Lett.* **74** 3017.
- [44] Praus R B, Leibold B, Gross G M and Habermeier H-U (1999) *Appl. Sur. Sci.* 138-139 40.
- [45] Walter T, et al., (2000) *J. Magn. Magn. Mater.* **222** 175.
- [46] C. Zener, (1951) *Phys. Rev.* **82**, 403!; P.W. Anderson and H. Hasegawa, (1955) *ibid.* **100**, 675!; P.G. deGennes, (1960) *ibid.* **118**, 141!.
- [47] S. Jin, T. H. Tiefel, M. McCormack, R. A. Fastnacht, R. Ramesh, and L. H. Chen(1994), *Science* **264**, 413!.
- [48] M. E. Fisher and J. S. Langer, (1968) *Phys. Rev. Lett.* **20**, 665.
- [49] G. Jeffrey Snyder, Ron Hiskes and Steve DiCarolis, M. R. Beasley and T. H. Geballe(1996) *Phys Rev B*,**53**,21.
- [50] K Kadowaki and S B Woods, (1986) *Solid State Commun.* **58**, 507.
- [51] T Okuda, Y Tomioka, A Asamitsu and Y Tokura, (2000) *Phys. Rev. B***61**, 8009.
- [52] K.Kubo and N.ohata, (1972)*J.Phys.Soc.Jpn.***33**,21.
- [53] J Hamilton, et al.,(1996),*Phys. Rev. B***54**, 14926.
- [54] X.J.Chen,H.-U. Habermeier,C.L.Zhang,H.Zhang,and C.C.Almasan(2003),*Phys.RevB* **67**,134405.
- [55] T.Akimoto,Y.Moritomo,A.Nakamura,andN.Furukawa(2000),*Phys.Rev.Lett.***85**,3914.
- [56] G.Li,H-D.Zhou,S.J.Feng,X-J.Fan,and X-G Li,j(2002).*Appl.Phys.***92**,1406.
- [57] X. Wang and X.-G. Zhang1999, *Phys. Rev. Lett.* **82**, 4276!.
- [58] Instituto de Ciencia de Materiales de Madrid, CSIC, 28049 Cantoblanco, Madrid, Spain10.1103/PhysRevB.**64**.140403.
- [59] F.J.Dyson(1956),*Phys.Rev.***102**,1217.
- [60] H.Y. Hwang et al. (1998), *Phys. Rev. Lett.* **80**, 1316!.M.C. Martin et al. (1996), *Phys. Rev. B* **53**, 14 285!. I.G. Austin and N.F. Mott1969, *Adv. Phys.* **18**, 41!.

- [۶۱] Bogomolov V N, Kudinov E K and Firsov Yu A 1968) *Sov. Phys.-Solid State* **9** 2502.
- [۶۲] G. Li, H.-D. Zhou, S. J. Feng, X.-J. Fan, and X.-G. Li(2002), *J. Appl. Phys.* **92**, 1406.
- [۶۳] C. A. Perroni, V. Cataudella, G. De Filippis, G. Iadonisi, V. Marigliano Ramaglia, and F. Ventriglia(2003), *Phys. Rev. B* **68**, 224424.
- [۶۴] J. M. D. Coey, M. Viret, and S. von Molnar, *Adv. Phys.* ~to bepublished!.
- [۶۵] R. M. Kusters, J. Singleton, and D. A. Keen(1989), *Physica B* **155**, 362!.
- [۶۶] G. J. Snyder, R. Hiskes, S. DiCarolis, M. R. Beasley, and T. H. Geballe(1996), *Phys. Rev. B* **53**, 14 434!.
- [۶۷] M. Viret, L. Ranno, and J. M. D. Coey(1997), *Phys. Rev. B* **55**, 8067!.
- [۶۸] A.D.Arulsamy(2002),*Phys.Rev.Lett.* **300**,691-696.
- [۶۹] Dionne, G. F. (1996a). Anomalous magnetoresistance in the lanthanide manganites and its relation to high-TC superconductivity. MIT Lincoln Laboratory, Technical Report 1029.Dionne, G. F. (1996b). Magnetic exchange and charge transfer in mixed-valence man-ganites and cuprates. *Journal of Applied Physics*, **79** (8), 5172–5174.
- [70] A. Asamitsu, Y. Moritomo, Y. Tomioka, T. Arima, and Y. Tokura(1995), *Nature* **373**, 407!.
- [71] A. J. Millis, B. I. Shraiman, and R. Mueller(1996), *Phys. Rev. Lett.* **77**, 175!; A. J. Millis, R. Mueller, and B. I. Shraiman(1996), *Phys. Rev. B* **54**, 5405!;H. Ro"der, J. Zang, and A. R. Bishop(1996), *Phys. Rev. Lett.* **76**, 1356!; J. Zang, A. R. Bishop, and H. Ro"der(1996), *Phys. Rev. B* **53**, R8840.
- [72] Sir Nevill Mott(1993), *Conduction in Non-Crystalline Materials* ~Clarendon Press, Oxford!, p. 17ff.
- [73] جلیلیان مشهود ، ص (۱۳۸۷) پایان نامه کارشناسی ارشد "بررسی خواص ترابرد در منگنات"، دانشکده فیزیک، دانشگاه صنعتی شاهرود.
- [74] M. Viret, L. Ranno and J. M. D. Coey *Phys.Rev B* **55**,13.
- [7۵] M. B. Salamon and M. Jaime(2001d), *Rev. Mod. Phys.* **73**, 583 s.,C. N. R. Rao and A. K. Cheetham(1997d), *Science* **276**, 911 s.
- [7۶] L. Seetha Lakshmia,_, R. Rawatb, V. Sridharana, V.S. Sastrya*J. Magn. Magn. Mater* (2008) **320** 150–157.
- [7۷] G.M. Gross!, F.S. Razavi!, , R.B. Praus!, H.-U. Habermeier!, *J. Magn. Magn. Mater* (2000) **211** 22 27.
- [7۸] V.Pena, et al.(2006),*J. Of Phys. and chem. of solid* **67** 472.
- [7۹] J Hamilton, et al.,(1996),*Phys. Rev. B* **54**, 14926.
- [80] M. Sirena, L. B. Steren, and J. Guimpel(2001)*Phys. Rev B*, **64**, 104409.
- [81] Okimoto Y, Katsufuji T, Ishikawa T, Urushibara A, Arima T and Tokura Y (1995) *Phys.Rev. Lett.* **75** 109.
- [82] J. B. Goodenough, in *Progress in Solid State Chemistry*, edited by H. Reiss ~Pergamon(1971), *Oxford*!, Vol. 5, Chap. 4, pp. 145–400.
- [83] J.M.D.Coey,M.Viret,and L.Ranno,K.Ounadjela(1995) ,*Phys.Rev.Lett* **75**,21.