

بررسی اثر تنش بر مغناطومقاومت لایه نازک منگنایت $\text{La}_{0.67}\text{Ca}_{0.33}\text{MnO}_3$ روی زیر لایه SrTiO_3 (001)

سمالی سبکی، انیس؛ کاملی، پرویز؛ احمدوند، حسین؛ سلامتی، هادی؛ مهدی، ظریفی

دانشکده فیزیک دانشگاه صنعتی اصفهان، اصفهان

چکیده

در این مقاله اثر تنش بر مغناطومقاومت لایه‌های نازک $\text{La}_{0.67}\text{Ca}_{0.33}\text{MnO}_3$ (LCMO) مطالعه شده است. لایه‌ها به روش لایه نشانی لیزر پالسی روی زیر لایه SrTiO_3 (100) لایه نشانی شد. لایه نشانی با دو نرخ تکرار پالس ۲ و ۱۰ هرتز با تعداد پالس ۵۰۰۰ انجام شد. نتایج این تحقیق نشان می‌دهد که افزایش نرخ پالس دهی باعث کاهش تنش کششی می‌شود. اندازه مغناطومقاومت و مغناطومقاومت ناهمسانگرد نیز با افزایش تنش، افزایش می‌یابد. دلیل این رفتار جفت شدگی قوی اسپین-مدار است.

Effect of strain on the magnetoresistance of $\text{La}_{0.67}\text{Ca}_{0.33}\text{MnO}_3$ (LCMO) thin film on SrTiO_3 (100) substrate

Anis, Samali Sibaki ; Parviz, Kameli ; Hossein, Ahmadvand ; Hadi, Salamati ; Mehdi, Zarifi

Department of Physics, Isfahan University of Technology, Isfahan

Abstract

In this paper, the effects of strain on the magneto transport properties of $\text{La}_{0.67}\text{Ca}_{0.33}\text{MnO}_3$ (LCMO) thin film has been investigated. The films were grown on (100) SrTiO_3 substrate by pulsed laser deposition. Film deposition was performed at two repetition rate of 2 and 10 Hz with the pulse number of 5000. The results show that increasing of repetition rate lead to decreasing the strain. the magnitude of magnetoresistance and anisotropic magnetoresistance increases by increasing strain due to the strong spin-orbit coupling.

مقدمه

می‌باشد، اما به دلیل عدم تطابق شعاع یونی کاتیون آلایش دهنده و اثر یان-تلر ساختار بلوری به سمت تقارن‌های راست‌گوشه و یا لوزی‌وجه متمایل می‌شود [۱،۲]. علاوه بر شعاع عنصر آلایش-دهنده $\langle r \rangle$ ، میزان آلایش (x) نیز، طبق ساز و کار برهمکنش تبدیلی دوگانه، تاثیر بسیاری بر تعیین خواص مغناطیسی و

منگنایت‌ها دسته‌ای از اکسیدهای منگنز با ساختار پروسکایتی و فرمول شیمیایی $\text{A}_{1-x}\text{B}_x\text{MnO}_3$ هستند که در جایگاه A یک یا چند عنصر سه ظرفیتی مانند La و Pr و در جایگاه B یک یا چند عنصر دو ظرفیتی مانند Ca و Sr قرار می‌گیرد. ساختار بلوری منگنایت‌ها در حالت ایده‌آل، ساختاری پروسکایتی با تقارن مکعبی

میزان انحراف های شبکه‌ای) خواهد شد [۶]. عوامل مختلفی در تعیین نوع تنش (تراکمی، کششی) و میزان آن تاثیرگذار می‌باشند. در پژوهش‌های مختلف مشاهده شده است که لایه‌های نازک منگنات روی زیر لایه STO تحت تنش کششی قرار می‌گیرند. بزرگی این تنش در صفحه لایه از رابطه زیر محاسبه می‌شود [۷].

$$e_{xy} = \frac{a_s - a_f}{a_s} \times 100 \quad (3)$$

در این رابطه a_s ثابت شبکه زیر لایه و a_f ثابت شبکه لایه می‌باشند. مثبت (منفی) بودن تنش نشان دهنده تنش کششی (تراکمی) است.

ساخت و آزمایش

در این پژوهش برای ساخت منگنات $\text{La}_{0.67}\text{Ca}_{0.33}\text{MnO}_3$ از روش سل ژل استفاده شد. لایه نشانی به روش PLD با لیزر KrF با طول موج 248nm و انرژی 220mj روی زیر لایه SrTiO_3 (STO) صورت گرفت. در طی فرآیند لایه نشانی دمای زیر لایه 700 درجه سانتیگراد و فشار گاز اکسیژن در محفظه 250mTorr تنظیم شد. لایه نشانی با دو نرخ تکرار پالس 2 و 10 هرتز انجام شد. بعد از اتمام زمان لایه نشانی، زیر لایه 15 دقیقه در دمای 500 درجه سانتیگراد و فشار اکسیژن 400Torr تحت بازپخت قرار گرفت. سپس تحلیل پراش پرتو ایکس (XRD) روی لایه ها انجام شد. همچنین مقاومت لایه‌های نازک به روش چهار میله‌ای، در عدم حضور میدان، میدان موازی با جریان و میدان عمود بر جریان اندازه گیری شد ($B=1\text{ T}$).

نتایج و بحث

در این پژوهش لایه‌های نازک $\text{La}_{0.67}\text{Ca}_{0.33}\text{MnO}_3$ بر روی زیر لایه‌ی STO که تنش کششی بر لایه‌ها وارد می‌کند، لایه نشانی شده و اثر نرخ تکرار پالس بر میزان تنش و ویژگی‌های الکتریکی لایه‌ها بررسی شده است. تحلیل پراش پرتو ایکس برای بررسی

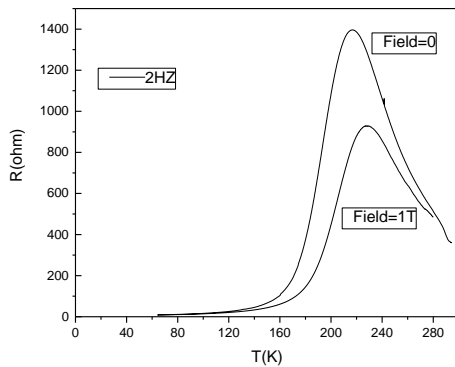
الکتریکی منگنات‌ها دارد که این امر در نمودار فازی منگنات‌ها به وضوح مشخص است. علت تنوع و پیچیدگی نمودار فازی منگنات‌ها برهمکنش‌های قوی بین درجات آزادی (بار، اوربیتال، شبکه و اسپین و...) است که باعث ایجاد خواصی از جمله مغناطومقاومت (MR) می‌شود. به عنوان مثال امروزه از منگنات‌های با مغناطو مقاومت بزرگ، در ساخت هدهای مغناطیسی و حسگرهای مغناطیسی استفاده می‌شود. مغناطومقاومت به معنی تفاوت مقاومت الکتریکی مواد در حضور میدان مغناطیسی نسبت به عدم حضور میدان مغناطیسی است. با اعمال میدان مغناطیسی اسپین‌ها در راستای میدان منظم می‌شوند. این نظم باعث تقویت انتگرال پرش و رسانندگی می‌شود. بنابراین اعمال میدان باعث کاهش مقاومت الکتریکی در حضور میدان مغناطیسی می‌شود. بزرگی مغناطومقاومت از رابطه زیر محاسبه می‌شود [۳]:

$$MR = \frac{R(H) - R(0)}{R(0)} \times 100 \quad (1)$$

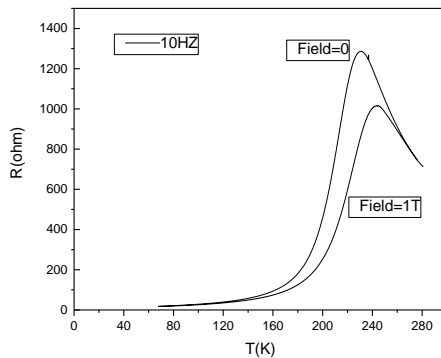
$R(H)$ و $R(0)$ مقاومت در حضور و عدم حضور میدان می‌باشد. همچنین طبق پژوهش‌های صورت گرفته اندازه مقاومت الکتریکی در لایه‌هایی نازک منگنات‌ها به زاویه بین جهت اعمال میدان مغناطیسی و جریانی که از نمونه می‌گذرد وابسته است [۴]. این اثر مغناطو مقاومت ناهمسانگرد (AMR) نامیده می‌شود. علت این رفتار با مدل تراپرد اسپین قطبیده به خوبی توجیه می‌شود [۵]. بزرگی مغناطومقاومت ناهمسانگرد از رابطه زیر محاسبه می‌شود:

$$AMR = \frac{R_{\parallel} - R_{\perp}}{R_{avg}} \times 100 \quad (2)$$

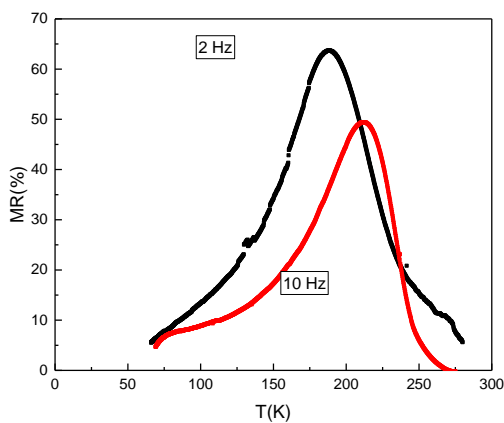
R_{\parallel} و R_{\perp} مقاومت در جهت و عمود بر میدان و R_{avg} مقاومت میانگین می‌باشد. علت استفاده از لایه‌های نازک منگناتی، AMR بزرگ و قابل تنظیم (نسبت به نمونه با ضخامت‌های بزرگ) می‌باشد. در واقع با تنظیم جنس زیرلایه، ضخامت لایه، میزان آلایش منگنات، نوع و میزان تنش، می‌توان مقدار AMR را برای استفاده در ابزارهای مختلف، به حد مطلوب رساند. وقتی جنس لایه و زیر لایه یکسان نباشد، بدلیل عدم تطابق ثابت شبکه‌ها، تنشی به لایه اعمال می‌شود. این تنش با تغییر طول پیوند Mn-O و Mn-O-Mn منجر به تغییر انتگرال پرش (تعیین کننده میزان مقاومت الکتریکی) و تغییر نوع اوربیتال‌های اشغالی (تعیین کننده



شکل ۲: نمودار مقاومت بر حسب دما در حضور میدان ۱ تسلا و عدم حضور میدان برای نمونه با فرکانس ۲ هرتز



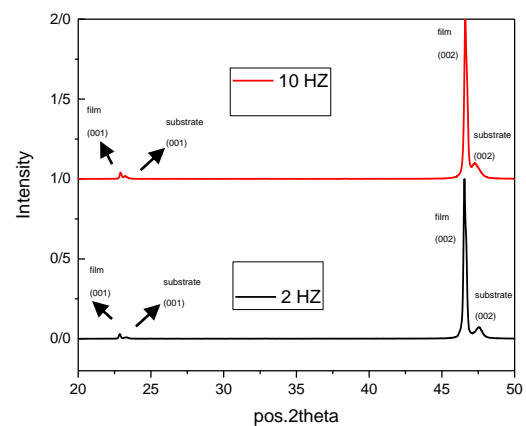
شکل ۳: نمودار مقاومت بر حسب دما در حضور میدان ۱ تسلا و عدم حضور میدان برای نمونه با فرکانس ۱۰ هرتز



شکل ۴: مغناطوسمقاومت بر حسب دما برای لایه های نازک تحت دو فرکانس ۲ و ۱۰ هرتز

خواص ساختاری و میزان تنش موجود در نمونه‌ها در شکل (۱) نشان داده شده است. این الگو با کارت JCPDS به شماره (NO.49-0416) به خوبی منطبق می‌شود. طبق این شکل، در نمونه ۲ هرتز فاصله بین قله لایه و زیر لایه بیشتر می‌باشد. بنابراین نمونه ۲ هرتز تحت تنش بیشتری قرار گرفته است. وقتی لایه تحت تنش کششی قرار می‌گیرد فاصله صفحات براگ از هم کاهش می‌یابد در نتیجه ثابت شبکه عمود بر صفحه، در راستای اندیس‌های میلر (۰۰۱) و (۰۰۲) کم می‌شود. به همین دلیل قله‌های لایه در زاویه‌های کم‌تری نسبت به زیر لایه مشاهده شده اند [۸]. طبق شکل‌های (۲) و (۳) نمودار مقاومت بر حسب دما نشان دهنده کاهش دمای گذار عایق-فلز با افزایش تنش است که این اتفاق به دلیل افزایش طول و زاویه پیوند Mn-O-Mn و در نتیجه، کاهش انتگرال پرش می‌باشد. در نتیجه لایه تحت تنش بیشتر، در دماهایی پایین‌تری گذار عایق-فلز دارد. در شکل (۴) مشاهده می‌شود که بزرگی مغناطوسمقاومت بر حسب دما برای نمونه با تنش کششی بیشتر (فرکانس ۲ هرتز) نسبت به لایه با تنش کششی کمتر (فرکانس ۱۰ هرتز)، مقدار بزرگتری دارد که این امر به دلیل جفت شدگی اسپین مدار بیشتر در لایه با تنش بزرگتر است.

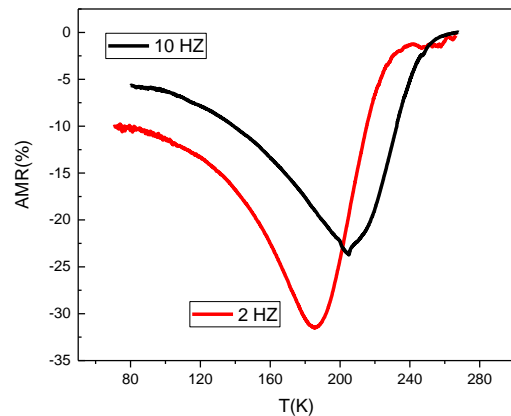
مقدار مغناطوسمقاومت ناهمسانگرد نیز تحت تاثیر افزایش تنش، به مقدار قابل توجهی افزایش یافته است. (شکل (۵))



شکل ۱: طیف XRD لایه های نازک (LCMO/STO) تحت دو نرخ تکرار پالس (فرکانس) ۲ و ۱۰ هرتز

مرجع‌ها

- [۱]. J Dagotto, E., Hotta, T., & Moreo, A. (2001). Colossal magnetoresistant materials: the key role of phase separation. *Physics reports*, 344(1), 1-153..
- [۲]. Zener, C. (1951). Interaction between the d-shells in the transition metals. II. Ferromagnetic compounds of manganese with perovskite structure. *Physical Review*, 82(3), 403..
- [۳]. Kambhala, N., & Angappane, S. (2013). Anisotropic magnetoresistance studies of polycrystalline $\text{La}_{0.67}\text{Ca}_{0.33}\text{MnO}_3$. *Physica B: Condensed Matter*, 411, 72-76.
- [۴]. Mishra, D. K., Sathe, V. G., Rawat, R., Ganesan, V., Kumar, R., & Sharma, T. K. (2015). Controlling phase separation in $\text{La}_{5/8-y}\text{Pr}_y\text{Ca}_{3/8}\text{MnO}_3$ ($y=0.45$) epitaxial thin films by strain disorder. *Applied Physics Letters*, 106(7), 072401..
- [۵]. McGuire, T., & Potter, R. L. (1975). Anisotropic magnetoresistance in ferromagnetic 3d alloys. *IEEE Transactions on Magnetics*, 11(4), 1018-1038..
- [۶]. Alagoz, H. S., Desomberg, J., Taheri, M., Razavi, F. S., Chow, K. H., & Jung, J. (2015). Mechanism of sign crossover of the anisotropic magneto-resistance in $\text{La}_{0.7-x}\text{Pr}_x\text{Ca}_{0.3}\text{MnO}_3$ thin films. *Applied Physics Letters*, 106(8), 082407..
- [۷]. Xiong, Y. M., Wang, G. Y., Luo, X. G., Wang, C. H., Chen, X. H., Chen, X., & Chen, C. L. (2005). Magnetotransport properties in $\text{La}_{1-x}\text{Ca}_x\text{MnO}_3$ ($x=0.33, 0.5$) thin films deposited on different substrates. *Journal of applied physics*, 97(8), 083909.
- [۸]. Chen, X. J., Soltan, S., Zhang, H., & Habermeier, H. U. (2002). Strain effect on electronic transport and ferromagnetic transition temperature in $\text{La}_{0.9}\text{Sr}_{0.1}\text{MnO}_3$ thin films. *Physical Review B*, 65(17), 174402.



شکل ۵: نمودار مغناطوسمقاومت ناهمسانگرد بر حسب دما در دو نرخ تکرار ۲ و ۱۰ هرتز.

نتیجه گیری

طبق نتایج بدست آمده از این پژوهش، تنش حاصل از تغییر نرخ پالس دهی لیزر (فرکانس) باعث ایجاد تغییرات قابل توجهی در مقادیر مغناطوسمقاومت و مغناطوسمقاومت ناهمسانگرد لایه‌های نازک منگنات $\text{La}_{0.67}\text{Ca}_{0.33}\text{MnO}_3$ با ضخامت یکسان شده است. طبق جدول (۱) با کاهش نرخ تکرار، تنش بزرگتری به لایه وارد می‌شود. این تغییر مغناطوسمقاومت و مغناطوسمقاومت ناهمسانگرد ناشی از تنش به واسطه جفت شدگی اسپین-مدار قابل توجه است.

جدول ۱: مقادیر مغناطوسمقاومت (MR)، مغناطوسمقاومت ناهمسانگرد (AMR)، دمای گذار عایق-فلز (T_{MI}) و میزان تنش مربوط به دو نرخ تکرار ۲ و ۱۰ هرتز.

میزان تنش	T_{MI}	AMR (%)	MR (%)	فرکانس (HZ)
۶/۴۲	۲۱۷	۳۱/۴۹	۶۳/۵۲	۲
۳/۷۵	۲۳۱	۲۳/۵۳	۴۹/۲۴	۱۰