اثر اندازه کوانتومی بر نوفه شلیکی در نانوساختار چندلایه‌ای *CdTe/CdMnTe* در حضور اثر جفت شدگی اسپین- مدار راشبا

سیدمحمد میرزانیان [۱]، علی اصغر شکری [۲و۳]

[۱] *مرکز تحقیقات فیزیک پلاسما ، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران*

[۲] *گروه فیزیک، دانشگاه پیام نور (مرکز تهران)، تهران*

[۳] *آزمایشگاه تحقیقاتی علوم محاسبات فیزیکی، پژوهشکده علوم نانو، پژوهشگاه دانش‌های بنیادی، تهران*

چکیده

در این مقاله چگالی جریان اسپینی، نوفه شلیکی و فاکتور فانو در ساختار $CdTe / CdMnTe / CdTe$ در حضور اثر جفت شدگی اسپین- مدار راشبا به طور نظری بررسی شده است. محاسبات با روش ماتریس انتقال در حضور میدان مغناطیسی و الکتریکی انجام شده است. نتایج بدست آمده نشان می‌دهد که ترابرد اسپینی به اندازه کوانتومی وابسته بوده و اثر راشبا روی همه مولفه ها تاثیر قابل ملاحظه‌ای دارد.

مقدمه

در سال‌های اخیر، مطالعه بر روی ترابرد اسپین قطبیده در نانوساختارهای چندلایه‌ای نیمرساناهای غیرمغناطیسی/ نیمرساناهای مغناطیسی رقیق شده (*DMS/NMS*)، به دلیل کاربرد گسترده در ساخت قطعات الکترونیکی توجه زیادی را به خود جلب کرده است[۱-٤]. با کوچک شدن ابعاد قطعات الکترونیکی، کارایی آنها بیش از پیش به نویز سیستم وابسته می‌شود، بنابراین تحقیقات گسترده‌ای در این زمینه صورت گرفته است[۵و٤]. نوفه شلیکی (شات نویز) یکی از انواع نویز در سیستم می‌باشد که از ذات گسسته بودن بار الکتریکی و خاصیت آماری بودن فرآیندهای پراکندگی الکترونی ناشی می‌شود. در این مقاله ترابرد وابسته به اسپین و نوفه شلیکی درحضور اثر راشبا در ساختارهای چندلایه‌ای مغناطیسی/ غیر مغناطیسی با در نظرگرفتن اثر اندازه لایه پارامغناطیس بررسی شده است.

مدل نظری

هامیلتونی الکترون‌های رسانش در یک ساختار چندلایه‌ای *DMS/NMS* را می‌توان در حضور میدان مغناطیسی والکتریکی خارجی به صورت $H=\frac{(\vec{P}+e\vec{A})^2}{2m_e^*}+V_{\sigma_z}(z)+V_0(z)+V_{Z_{\sigma_z}}+V_R-\frac{eV_a}{L}z$ نوشت. که در آن m_e^* جرم مؤثر الکترون و $\vec{P}$ عملگر اندازه حرکت می‌باشد. با توجه به اینکه میدان مغناطیسی در جهت z می‌باشد، $\vec{A}$ پتانسیل برداری به صورت $\vec{A}=(0,Bx,0)$ بیان می‌شود. $V_0(z)$ عدم همترازی نواری را برای لایه‌های مختلف در غیاب میدان مغناطیسی است. $V_{\sigma_z}(z)$ پتانسیل برهمکنش تبادلی است که به صورت $V_{\sigma_z}=-N_0\alpha\sigma_z x_{eff}<S_z>\Theta(z)\Theta(z-L)$ بیان می‌شود. که در آن $N_0\alpha$ ثابت تبادلی برای الکترون‌های رسانش و $\sigma_z=\pm\frac{1}{2}$ است که σ_z مؤلفه اسپین الکترون نوار رسانش است. در رابطه فوق $x_{eff}=x(1-x)^{12}$ است که x_{eff} غلظت مؤثر Mn می‌باشد. $<S_z>$ میانگین گرمایی مؤلفهٔ zام اسپین Mn^{2+} است. $V_{Z_{\sigma_z}}=g_s\mu_B\vec{\sigma}.\vec{B}$ شکافتگی زیمان معمولی است. V_R پتانسیل وابسته به اسپین راشبا

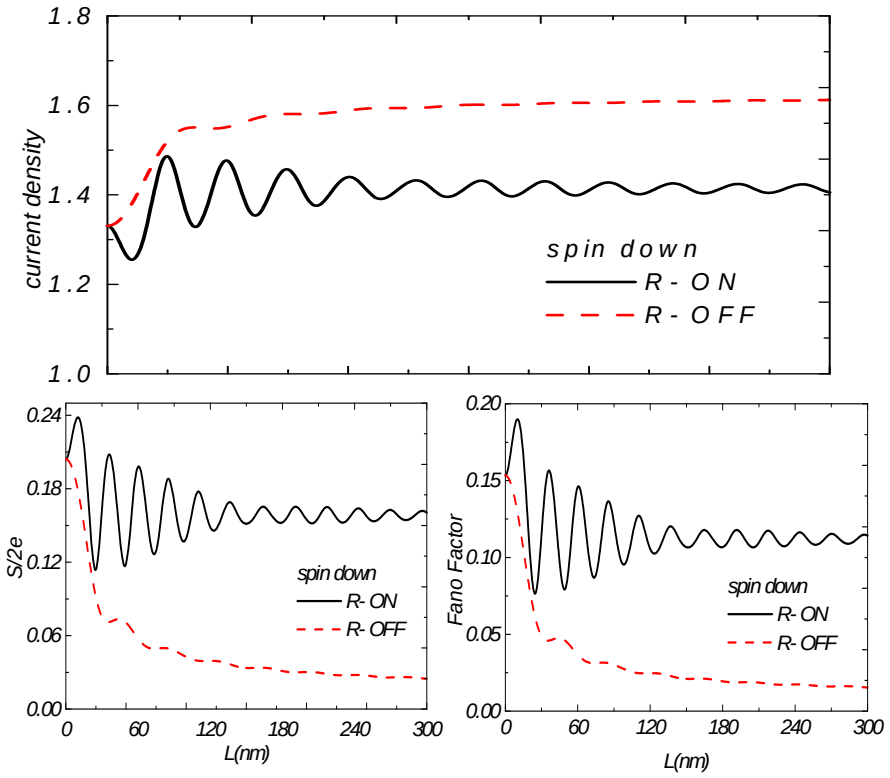
می‌باشد و برای ترازهای لاندائوی نزدیک به تراز فرمی به صورت $V_R = -2\sigma_z \eta k_F$ [۳و۶] بیان می‌شود، که در آن k_F بردار موج فرمی می‌باشد و η ثابت جفت شدگی اسپین- مدار راشبا می‌باشد.

با استفاده از روش ماتریس انتقال می‌توان با در نظر گرفتن پیوستگی توابع موج و مشتق‌های آنها در فصل مشترک‌ها ضریب عبور وابسته به اسپین را به دست آورد. چگالی جریان وابسته به اسپین عبارت است از: $J_{\sigma_z} = J_0 B \sum_{n=0}^{\infty} \int_0^{+\infty} T_{\sigma_z}(E_z, B, V_a) \times [f(z) - f(z+d)] dE_z$ که در آن $z = E_z + (n+1/2)\hbar\omega + V_z$ و $f(E)$ تابع توزیع فرمی- دیراک و $J_0 = e^2 / 4\pi^2\hbar^2$ می‌باشد. از سوی دیگر نوفه شلیکی وابسته به اسپین در ساختارهای چندلایه‌ای نیز به صورت $S_{\sigma\sigma'}(V_a,\theta) = \frac{e^2}{\pi\hbar} \sum_{n=0}^{\infty} \int_0^{+\infty} dE_z \{ T_{\sigma\sigma'}(E_z)[1 - T_{\sigma\sigma'}(E_z)][(f(z) - f(z+d)]^2 \}$ و عامل فانو $F_{\sigma\sigma'}(V_a,\theta) = \frac{S_{\sigma\sigma'}}{2eJ_{\sigma\sigma'}}$ [۵] می‌باشد.

نتایج و بحث

پارامترهای به کار گرفته شده در این مقاله عبارتست از: $V_0 = 3meV, E = 5meV, L_1 = 5nm, m_e^* = 0.096 m_0$ [۳-۸].

شکل ۱ چگالی جریان، نوفه شلیکی و فاکتور فانو را برای الکترون‌های با اسپین پایین در حضور و غیاب اثر راشبا بر حسب ضخامت لایه مغناطیسی نشان می‌دهد.



شکل ۱. چگالی جریان، نوفه شلیکی و فاکتور فانو بر حسب ضخامت لایه میانی در حضور اثر راشبا

در حضور میدان مغناطیسی، برهمکنش تبادلی بین الکترون‌های رسانش و اسپین الکترون‌های $3d^5$ یون‌های Mn سبب ایجاد پتانسیل برهمکنش تبادلی درلایه میانی (پارامغناطیس) می‌شود. این پتانسیل سبب می‌شود که الکترون‌های با اسپین- بالا هنگام عبور از این ساختار چند لایه‌ای با سد بلندتر و الکترون‌های اسپین- پایین با سد کوتاهتری مواجه شوند. همانطور که مشاهده می‌شود با افزایش ضخامت لایه میانی در ابتدا چگالی جریان افزایش یافته و سپس ثابت می‌ماند. از آنجا که عامل فانو رابطه عکس با ضریب عبوردهی دارد تا آنجا که ضریب عبور دهی افزایش می‌یابد($L < 100nm$) عامل فانو کاهش یافته و سپس تقریبا ثابت می‌شود. درنظر گرفتن اثر راشبا نیز تاثیر قابل توجهی روی ارتفاع سد در لایه میانی دارد به نحوی که الکترونهای با اسپین بالا سد بلندتری احساس می‌کنند در نتیجه ضریب عبور آنها به شدت کاهش می‌یابد(که در این شکل نشان داده نشده است)، حال آنکه از ارتفاع سد مقابل الکترون‌های با اسپین پایین کاسته شده و آنها در مقابل خود چاه کوانتومی مشاهده می‌کنند. همانطور که از نتایج بدست آمده در شکل ۱ قابل مشاهده است، الکترون‌های با اسپین پایین در غیاب اثر راشبا همچنان سد در مقابل خود مشاهده می‌کنند اما در حضور راشبا از ارتفاع سد کاسته شده تا آنجا که چاه کوانتومی در مقابل آنها پدیدار می‌شود، در نتیجه به دلیل حضور حالات شبه- مقید تشدیدی درون چاه کوانتومی، با افزایش ضخامت لایه میانی برای همه پارامترها نوساناتی مشاهده می‌شود، در واقع ضخامت لایه میانی بر مکان ترازهای تشدیدی مرتبط با کل ساختار تاثیر می‌گذارد.

نتیجه‌گیری

در این مقاله اثر اندازه کوانتومی روی ترابرد وابسته به اسپین در ساختار سه لایه‌ای ***DMS/NMS*** در حضور اثر راشبا به طور نظری بررسی شده است. همانطور که نتایج نشان می‌دهد اثر راشبا تاثیر قابل توجهی روی ترابرد اسپینی دارد و در این نانوساختارهای چند لایه‌ای می‌توان با انتخاب مناسب ضخامت لایه میانی یک قطعه فیلترکننده کامل اسپینی با سرعت بالا طراحی کرد.

مراجع

[۱] *Z.-G. Zhu, G. Su, Phys. Rev. B. 2004,* ***70****, 19331.*

[۲] *Y. Guo, L. Han, R. Zhu, W. Xu, Eur. Phys. J. B. 2008,* ***62****, 45.*

[۳] *R. Vali, S.M. Mirzanian, Solid State Commun. 2009,* ***149****, 2032.*

[٤] *A. A. Shokri, Int. J. Nanoparticles , 2001,* ***3****, 14.*

[٥] *Ya.M. Blanter, M. Bttiker, Physics Rep. 2000,* ***336*** *, 1.*

[٦] *Y.S. Gui, C.R. Becker, J. Liu, V. Daumer, V. Hock, H. Buhmann, L.W. Molenkamp, Europhys. Lett.* ***65*** *(2004) 393.*

[۷] *B. Das, S. Datta, R. Reifenberger, Phys. Rev. B* ***41*** *(1990) 8278.*

[۸] *K. Gnanasekar, K. Navaneethakrishnan, Phys. E* ***35*** *(2006) 103.*