



بررسی اثر میدان الکتریکی بر روی سامانه‌ی الکتروُد فرومغناطیس/ نانوار گرافن زیگزاگی/الکتروُد فرومغناطیس

عربی، هادی^۱؛ شاه‌طهماسبی، ناصر^۲؛ واحدی فخرآباد، زهرا^۱؛
واحدی فخرآباد، داوود^۲

^۱ آزمایشگاه تحقیقاتی مغناطیس و ابررسانایی گروه فیزیک دانشگاه بیرجند،
پردیس شوکت آباد دانشگاه، بیرجند

^۲ گروه فیزیک، دانشکده علوم دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد

چکیده

با استفاده از یک هامیلتونی بستگی قوی تک باند و روش تابع گرین اثر میدان الکتریکی را بر روی سامانه‌ی الکتروُد فرومغناطیس/ نانوار گرافنی زیگزاگی (ZGNR) / الکتروُد فرومغناطی مورد بررسی قرار گرفت. نتایج ما نشان می‌دهد که در منحنی ولتاژ-جریان برای آرایش موازی و پادموازی دیفرانسیل منفی بوجود می‌آید، که با نتایج تجربی و تئوری‌های دیگران مطابقت دارد.

Evaluation the effect of electrical field on a FM/ZGNR/FM

Arabi, Hadi¹; Shahtahmasebi, Nasser²;Vahedi Fakhrabad, Zahra¹;Vahedi Fakhrabad, Davoud²

¹ Magnetic and superconducting research lab, Department of Physics, University of Birjand, Birjand

²Department of Physics, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad

Abstract

By using a single band tight-binding Hamiltonian and the Green's function approach together, we studied the effect of electrical field on a ferromagnetic electrode-Zigzag Graphene Nano Ribbon -FM systems. Our results show that in current-voltage curve for the parallel and ant parallel alignment, a negative differential is appeared which is in agreement with experimental and theoretical results of others.

مقدمه

گرافن یک صفحه از اتم‌های کربن به ضخامت یک اتم است، که در قالب یک شبکه‌ی شش‌گوشی به هم متصل شده‌اند. وجود گاف نواری با پهنای قابل کنترل، گرافن را کاندید مناسبی برای تولید قطعات الکترونیکی و اسپینترونیکی جدید ساخته است [۲،۱]. در سال‌های اخیر گرافن به دلیل ویژگی‌های منحصر به فرد خود بسیار مورد توجه واقع شده است [۳]. براساس نوع لبه‌ی نانوارگرافنی آن را به دو گروه نانوارگرافنی صندلی‌وار و زیگزاگی دسته بندی می‌کنند [۴]، که هر کدام خواص خود را دارا می‌باشند که ما در این مقاله از نوع ZGNR استفاده می‌کنیم.

علاوه بر بار از اسپین الکترون هم می‌توان به عنوان یک درجه آزادی استفاده کرد. قطعاتی که براین اساس کار می‌کنند،

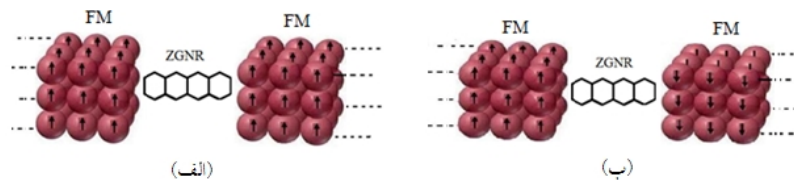
در گروه قطعات اسپینترونیکی قرار می‌گیرند. چون برای ساخت قطعات مورد نظر به یک تئوری دقیق نیاز است، باید تمام عوامل مختلف تأثیرگذار در ساخت قطعه لحاظ شود. به همین علت ما میدان الکتریکی را به‌عنوان یکی از این عوامل با استفاده از هامیلتونی بستگی قوی تک باند و فرمولبندی لاندور-بوتیکر وارد محاسبات کردیم. در این سامانه مطابق شکل ۱ از دو الکتروود فرومغناطیس نوعی با آرایش موازی و پادموازی و یک ZGNR با طول معین ۳۰ اتم کربن استفاده کردیم که به دو سر این سامانه یک ولتاژ متصل شده است. در بخش اول این مقاله ما مدل و فرمولبندی را که استفاده کردیم، توضیح می‌دهیم و در بخش بعدی نتایج حاصل از این مدل را بیان می‌کنیم.

مدل و فرمولبندی

هامیلتونی سیستم که از دو الکتروود فرومغناطیس نوعی و ZGNR تشکیل شده است به صورت زیر می‌باشد:

$$\hat{H} = \hat{H}_L + \hat{H}_{ZGNR} + \hat{H}_R + \hat{H}_T \quad (1)$$

که اولین و سومین جمله بترتیب مربوط به هامیلتونی الکتروودهای فرومغناطیس چپ و راست است، که این هامیلتونی با استفاده از مدل بستگی قوی نوشته شده است. پارامترهای این دو هامیلتونی با استفاده از مرجع [۵]. انتخاب شده است. دومین جمله هامیلتونی ZGNR است که آن را با استفاده از هامیلتونی بستگی قوی نزدیکترین همسایه به‌دست آوردیم [۶]. آخرین جمله هامیلتونی اتصال میان الکتروودها و نانو نوارگرافنی زیگزاگی را مشخص می‌کند [۷].



شکل ۱: نمایش سامانه‌ی FM / نانو نوار گرافنی زیگزاگ (ZGNR) / FM در دو آرایش (الف) موازی و (ب) پادموازی.

با استفاده از رهیافت تابع گرین، احتمال گسیل الکترون به‌این صورت تعریف می‌شود [۸]:

$$T(\varepsilon, V_a) = Tr[\Gamma_L G \Gamma_R G^+] \quad (2)$$

که در این فرمول G تابع گرین نانو نوارگرافنی زیگزاگی متصل شده به الکتروودها می‌باشد. Γ_L (Γ_R) برای الکتروود چپ (راست) به صورت رابطه‌ی (۳) تعریف می‌شود [۹]:

$$\hat{\Gamma}_{\alpha, \sigma} = -2 \text{Im}(\sum_{\alpha, \sigma}) \quad (3)$$

که $\sum_{a,\sigma} \hat{\Sigma}_a$ ها ماتریس‌های خود- انرژی می‌باشند، و با رابطه‌ی زیر داده می‌شوند:

$$\hat{\Sigma}_a(\varepsilon) = \hat{H}_{ZGNR,a} \hat{g}_a(\varepsilon) \hat{H}_{a,ZGNR} \quad (4)$$

\hat{H} ماتریس انتقال اتصال ZGNR به الکتروود است عناصر ماتریس انتقال براساس اینکه چند تا از اتم‌های الکتروود با نانونوارگرافن زیگزاگی متصل شده باشد، نوشته می‌شود. در این مقاله برای راحتی در نقاط اتصال (برای طرف چپ و راست) سامانه، یک اتم از ZGNR به اتم وسط الکتروود متصل شده است و همچنین تعداد اتم‌های سطحی در الکتروودها را 5×5 در نظر گرفتیم و g_a تابع گرین سطح الکتروودهای فرومغناطیس است [5].

از اطلاعات به دست آمده می‌توانیم جریان را با استفاده از فرمول لانداور- بوتیکر به صورت زیر به دست آوریم [8]:

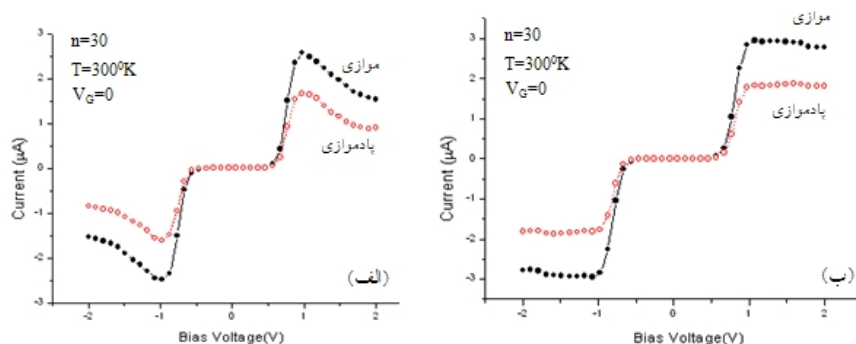
$$I_{\uparrow(\downarrow)}(V_a) = \frac{e}{h} \int_{-\infty}^{+\infty} T_{\uparrow(\downarrow)}(\varepsilon, V_a) [f(\varepsilon - \mu_L) - f(\varepsilon - \mu_R)] d\varepsilon \quad (5)$$

که برای جریان هر یک از اسپین‌های بالا و پایین به صورت جداگانه محاسبه می‌شود.

میدان الکتریکی ناشی از ولتاژ تغذیه را نیز می‌توان با فرض اینکه به صورت خطی کاهش می‌یابد در طول ZGNR اضافه کرد. که میدان الکتریکی به صورت یک انرژی جایگاهی بر روی هر اتم در هامیلتونی ZGNR تاثیر می‌گذارد:

$$E(j) = \frac{V}{2} - \frac{V \times (j-1)}{(n-1)} \quad (6)$$

که در اینجا V ولتاژ، j شماره اتم z ام و n تعداد کل اتم ZGNR می‌باشد.



شکل ۲: نمودار جریان‌های موازی و پادموازی بر حسب ولتاژ تغذیه برای نانونواری به طول ۷ حلقه کربنی (۳۰ اتم کربن) (الف) با اعمال میدان الکتریکی و (ب) بدون اعمال میدان الکتریکی.

نتیجه گیری

همان طور که بیان کردیم، ما میدان الکتریکی را به صورت خطی در نانونوارگرافنی زیگزاگی وارد کردیم. از روی نمودار شکل ۲ قسمت (الف) دیده می‌شود ما با مقاومت دیفرانسیلی منفی روبرو شدیم. البته این به علت حضور میدان الکتریکی است. روشهای تئوری زیادی از جمله تئوری تابع چگالی، تئوری بستگی قوی و غیره، این اثر را پیشگوئی و

توضیح دادند [۱۱،۱۰] و در آزمایش‌های تجربی زیادی این چنین پدیده‌ای دیده شده است که مرجع [۱۲] تصدیق کننده کارهای تئوری می‌باشد. دیفرانسیل منفی به این دلیل است که با حضور میدان الکتریکی بارهای مثبت و منفی از یکدیگر جدا می‌شوند و به سمت الکترودها می‌آیند و این امر باعث می‌شود تا الکترون‌ها نتوانند جریان تونلی زیادی داشته باشند و با وجود افزایش ولتاژ، جریان کاهش می‌یابد اما با افزایش ولتاژ درجه‌ی انرژی بیشتر باز می‌شود و الکترون‌های بیشتری در امر تونل زنی شرکت می‌کنند و دوباره جریان تونلی الکترون‌ها افزایش می‌یابد و برسدی که ناشی از حضور میدان است، غلبه می‌کند و جریان دوباره افزایش می‌یابد. نمودار جریان-ولتاژ شکل ۲ قسمت (ب) بدون حضور میدان است که در آن مقاومت منفی دیده نمی‌شود و همان طور که توضیح دادیم به علت اینکه بارهای مثبت و منفی با حضور میدان جدا می‌شوند و همین باعث مقاومت منفی می‌شود. به این صورت می‌توان از نانونوار برای کاربردهای مقاومت منفی در قطعات الکترونیکی و اسپینترونیکی استفاده کرد.

مرجع‌ها

1. K. S. Novoselov, A. K. Geim, S. V. Morozov, D. Jiang, Y. Zhang, S. V. Dubonos, I. V. Grigorieva, A. A. Firsov, "Electric Field Effect in Atomically Thin Carbon Films;" *Science*, **306**, (2004) 666-669.
2. A.K. Geim, K. S. Novoselov, "The Rise of Graphene," *Nature_Materials* ,**6**, no.3 (2007)183-191.
3. T.B. Martins,R.H. Miwa,Antônio J.R. da Silva and A. Fazzio; "Electronic and Transport Properties of Boron-Doped Graphene Nanoribbons"; *Physical Review Letters* ,**98** ,(2007) 196803-4.
4. E. Cuansing and J.S. Wang ;"Quantum transport in honeycomb lattice ribbons with armchair and zigzag edges coupled to semi - infinite linear chain leads"; *The European Physical Journal B*, **69**, (2009) 505-513.
5. D. Vahedi Fakhrabad, N. Shahtahmassebi, M. Askaria, M. Ashhadia, S. A. Ketabic; "Tunnel magnetoresistance of the system of ferromagnetic electrode/polyacetylene/ferromagnetic electrode: A Green's function approach"; *Physica E*, **43**, (2010) 620 -624.
6. Motohiko Ezawa; "Graphene Nanoribbon and Graphene Nanodisk"; *Physica E*, **40**, (2008) 1421-1423.
7. A. Saffarzadeh; "Tunnel Magnetoresistance of a Single-Molecule Junction"; *Journal Applied Physics*, **104**, (2008) 123715-123720.
8. S. Datta, in: *Electronic Transport in Mesoscopic Systems*, Cambridge University Press, Cambridge, England, 1995.
9. M. Münzenberg and J. S. Moodera; "Superconductor-ferromagnet tunneling measurements indicate *sp* -spin and *d* -spin currents"; *Physical Review B*, **70**, (2004) 060402.
10. Y. Xue, S. Datta, S. Hong, R. Reifengerger, J. I. Henderson, C. P. Kubiak; "Negative differential resistance in the scanning-tunneling spectroscopy of organic molecules"; *Physical Review B*, **59**, (1998) 7852-7886.
11. F. Wei, R. Q. Zhang, A. Reily Rocha, S. Sanvito; "Energy alignment induced negative differential resistance: The role of hybrid states in aromatic molecular devices"; *The Journal of Chemical Physics*, **129**, (2008) 074710-074715.



-
12. J. Chen, W. Wang, and M. A. Reed, A. M. Rawlett, D. W. Price, and J. M. Tour;
“Room-temperature negative differential resistance in nanoscale molecular junctions”;
APPLIED PHYSICS LETTERS, 77, (2000) 1224-1226.