

<http://physicsweb.org/article/news/11/6/19>

2007/06/29

پی‌وندگاه p-n از جنس گرافن

یک گروه فیزیک‌پیشه در ایالات متحده، برای اولین بار با گرافن یک پی‌وندگاه p-n با دریچه‌ی موضعی ساخته‌اند. گرافن یک لایه‌ی دو بُعدی کربن به کلفتی‌ی فقط یک اتم است. چگالی‌ی بار در این ابزار با اعمال ولتاژ به الکترودها بی‌کنترل می‌شود که به سطح این ماده متصل‌اند. شاید این روش ساخت دریچه‌ی باشد به ترانزیستورها‌ی کاربردی‌ی گرافن که بسیار کوچک‌تر و کارا تر از ابزارها‌ی سیلیسیمی‌ی فعلی باشد [1].

گرافن به‌عنوان ماده‌ی برای ساختن ابزارها‌ی الکترونیکی‌ی ریز پتانسیل زیاد‌ی دارد، چون هم رسانا‌ی الکتریکی‌ی بسیار خوب‌ی است و هم نیم‌رسانا می‌شود. ضمناً کلفتی‌ی فقط یک اتم است، که دیگر از این کوچک‌تر نمی‌شود. فیزیک‌پیشه‌ها حدس می‌زدند با گذاشتن الکترودها‌ی مثبت و منفی نزدیک سطح گرافن می‌توانند با آن پی‌وندگاه p-n بسازند. الکترودها‌ی مثبت الکترون‌ها را به ناحیه‌ی از گرافن که زیر آن است جذب می‌کند و به این ترتیب ناحیه‌ی ای با فزونی‌ی بار منفی (نیم‌رسانا‌ی نوع n) می‌سازد. الکترودها‌ی منفی هم الکترون‌ها را می‌راند و ناحیه‌ی ای با بار مثبت (نیم‌رسانا‌ی نوع p) می‌سازد. به این ترتیب در گرافن ناحیه‌ها‌ی بی‌از نوع p و n درست می‌شود و در ناحیه‌ی بین دو الکترودها هم یک پیوندگاه p-n مشخص ساخته می‌شود.

اما گذاشتن الکترودها‌ی ریز (دریچه‌ها‌ی موضعی) در فاصله‌ی بسیار کم از سطح گرافن چنان که خود گرافن خراب نشود و ویژه‌گی‌ها‌ی الکتریکی‌ی‌ش تغییر نکند دشوار است. راه واضح این است که اول یک لایه‌ی نارسانا‌ی بسیار نازک روی گرافن بگذاریم و بعد روی آن الکترودها‌ی فلزی بگذاریم. اما معلوم شده یافتن ماده‌ی نارسانا‌ی بی‌که یک

لایه ی فوق‌العاده نازک و منظم روی گرافن بسازد دشوار است.

چارلز مارکوس [2] و هم‌کاران آش از دانش‌گاه هاروارد [3] مشکل را به این شکل حل کرده‌اند که با استفاده از روش نشانندن لایه ی اتمی (ای‌ل‌دی) [4] لایه‌ها یی متوالی از نیتروژن اکسید، تری‌متیل‌آلمینیم، و آلمینیم اکسید روی گرافن نشانندن. بعد یک الکتروُد فلزی ی تیتانیم و طلا روی این نیم‌رسانا نشانندن.

مارکوس به فیزیکس‌وب [5] گفت این روش را از شیمی‌پیشه‌ها قرض گرفته‌اند، که آن را برای پوشش دادن به نانولوله‌ها ی کربنی به کار می‌برند. نانولوله‌ها ی کربنی اساساً صفحه‌ها ی لوله‌شده ی گرافن‌اند.

پابلُ خاری—ایرُ [6] فیزیک‌پیشه‌ای از دانش‌گاه کلمبیا [7] در نیویُورک است و عضو گروه دیگری که کاربردها ی ای‌ل‌دی در گرافن را بررسی می‌کند. او می‌گوید مزیت عمده ی این روش آن است که با استفاده از آن می‌شود لایه‌ی نارسانا یی با ثابت‌دی‌الکتریک نسبتاً بزرگ ساخت (در مقایسه با روش‌ها ی دیگری که سیلیسیم اکسید یا پلی‌متیل‌متا‌آکریلات به کار می‌برند). ثابت‌دی‌الکتریک بزرگ در ساختن ابزارها ی الکترونیکی ی بسیار کوچک مهم است، چون با آن می‌شود میدان‌ها ی الکتریکی ی بزرگی اعمال کرد بی آن که در نیم‌رسانا شکست الکتریکی رخ دهد.

خود لایه ی گرافن روی یک زیرلایه ی سیلیسیم با پوشش ی از یک لایه ی نیم‌رسانا ی سیلیسیم اکسید استوار است. این زیرلایه ی سیلیسیم کار الکتروُد دوم ی را می‌کند که پی‌وندگاه p-n را کنترل می‌کند. این پژوهش‌گران مقاومت گرافن بر حسب ولتاژ اعمال‌شده به الکترودها را سنجیدند و به این وسیله مطمئن شدند ناحیه‌ها ی نوع p و نوع n در گرافن ساخته شده.

این گروه برای اطمینان از این که کلفتی ی ابزارشان فقط یک لایه ی اتمی است یک میدان مغناطیسی ی بزرگ به ابزار اعمال کردند تا معلوم شود پدیده ی کوانتمی ی هال [8] رخ می‌دهد یا نه. این پدیده کوانتش رسانش حامل‌ها ی بار است و فقط در سیستم‌ها ی دو بُعدی رخ می‌دهد. مارکوس و هم‌کاران آش پدیده ی کوانتمی ی هال در هم‌حامل‌ها ی منفی و هم‌حامل‌ها ی مثبت را مشاهده کردند، به همان شکل که در یک مقاله ی نظری نوشته ی لیئید لیویُتف [9] و دیما آبانین [10] از مؤسسه ی فناوری ی ماساچوسیت [11] پیش‌بینی شده بود [12].

این گروه توانسته پی‌وندگاه گرافنی ی p-n بسازد، اما مارکوس یادآوری می‌کند این

ابزار بر خلاف نیم‌رساناها ی دیگر گاف انرژی ندارد. این یعنی این ابزار را نمی‌شود در ترانزیسترها ی عملی برا ی کلیدزنی ی جریان‌ها ی الکتریکی به کار برد. اما فیزیک‌پیشه‌ها می‌دانند گرافن اگر به شکل یک نوار بسیار باریک ساخته شود گاف نوار خواهد داشت. مارکوس دنبال این است که بتواند این روش ای‌ل‌دی را برا ی ابزارها یی به کار برد که با نوارها ی باریک گرافن ساخته شده اند، تا بشود ترانزیستر ساخت. در دانش‌گاه کلمبیا هم خاری-اِرر و هم کاران ش بر طرح ی کار می‌کنند که با استفاده از ای‌ل‌دی و نوارها ی گرافن ترانزیستر گرافنی بسازند.

- [1] Sciencexpress DOI: 10.1126/science.1144657
- [2] Charles Marcus
- [3] Harvard University
- [4] atomic layer deposition (ALD)
- [5] PhysicsWeb
- [6] Pablo Jarillo-Herrero
- [7] Columbia University
- [8] Hall
- [9] Lenoid Levitov
- [10] Dima Abanin
- [11] Massachusetts Institute of Technology
- [12] Sciencexpress DOI: 10.1126/science.1144672