

اللَّهُمَّ صَلِّ وَسَلِّمْ وَبَارِكْ عَلَى سَيِّدِنَا مُحَمَّدٍ



دانشکده مهندسی برق

سمینار درس نانوالکترونیک

نانوترانزیستورهای الکترومکانیکی مولکولی

استاد راهنما : پروفسور شهرام محمد نژاد

تیرماه ۹۶

- ❖ مقدمه
- ❖ مزیت‌ها و محدودیت‌های الکترونیک مولکولی
- ❖ ادوات مولکولی دو سر
- ❖ دیود مولکولی
- ❖ کلید دو سر
- ❖ ترانزیستور مولکولی
- ❖ با اتصال گیت و ایجاد ترانزیستور مولکولی
- ❖ نوسان‌های نانومولکولی در ترانزیستور مولکولی
- ❖ جمع بندی

الکترونیک مولکولی (نانو مولکولی):

- مطالعه فرایندهای الکتریکی در ابعاد مولکولی
- مطالعه یک لایه از مولکولها (در صورتی که هر مولکول مستقل از مولکولهای همسایه به هدایت جریان پردازد).

شاخه الکترونیک بر مبنای مولکولها:

- شامل ساختارهای تشکیل شده از مولکولها با هر نظم و ابعادی، مانند بلورها و پلیمرهای هادی
- در شاخه دیودهای نوری آلی توسعه یافته و در حال حاضر در حال توسعه در زمینه سلولهای خورشیدی است.

مزیت‌ها و محدودیت‌های الکترونیک مولکولی

مهم‌ترین مزیت الکترونیک مولکولی:

- ❑ ابعاد کوچک
- ❑ رفع مشکل محدودیت در ساخت المان‌های مدارهای نانومتری برای مدارهای مجتمع سیلیکونی
- ❑ ساخت قطعات الکترونیکی با ابعاد نانومتری و در حد چند اتم به کمک مولکول‌ها

مشکلات ساخت قطعات الکترونیک مولکولی:

- ❑ پیچیدگی در فناوری و نحوه ساخت

ادوات مولکولی دو

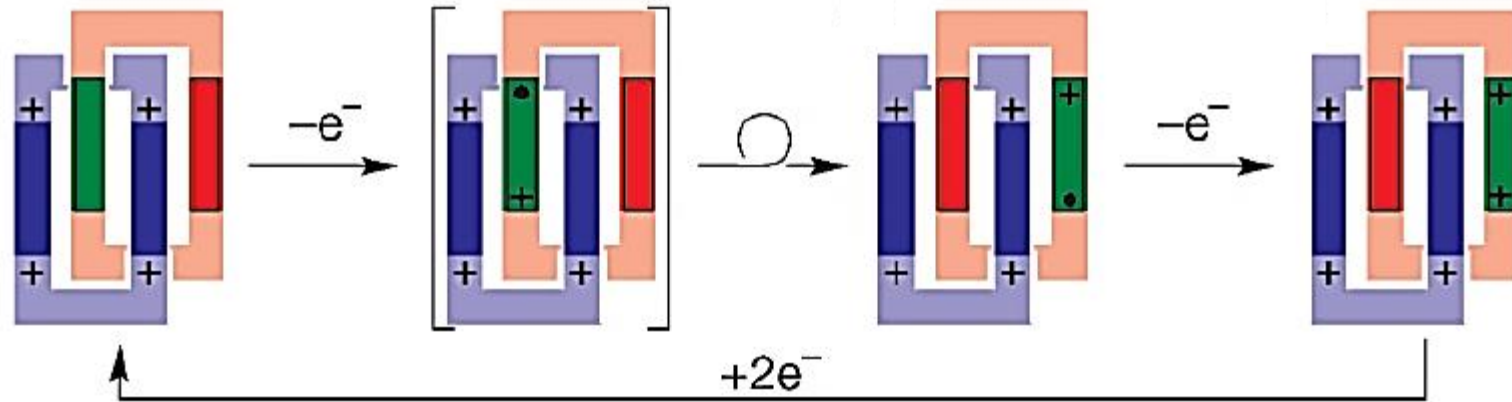
سر

- ✓ استفاده از یک مولکول
- ✓ برقراری اتصالات فلزی مناسب

ساخت دیود و کلید دو سر



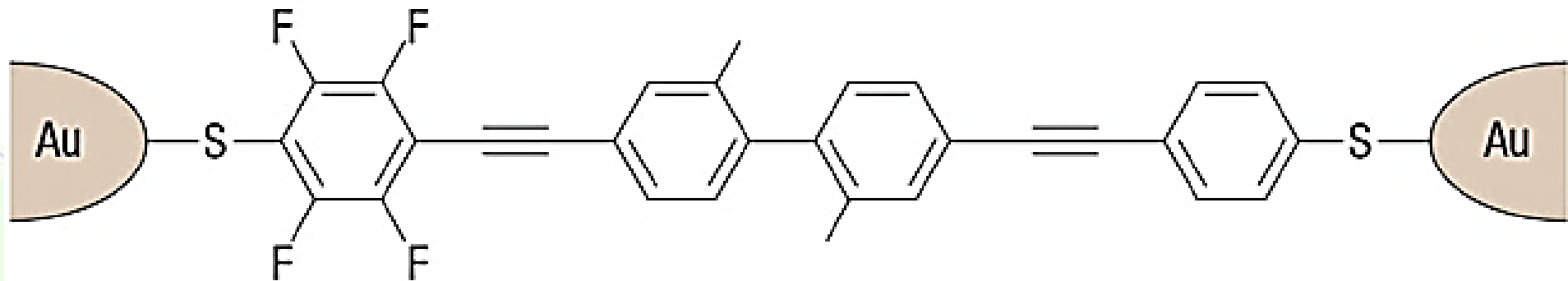
- ✓ به عنوان حافظه
- ✓ به عنوان کلید
- ✓ ساخت مدارهای مجتمع شبیه به FPGA (Field-programmable gate array)



رفرنس [۱]

دیود مولکولی

✓ شکل یک دیود مولکولی با اتصالات فلزی از جنس طلا



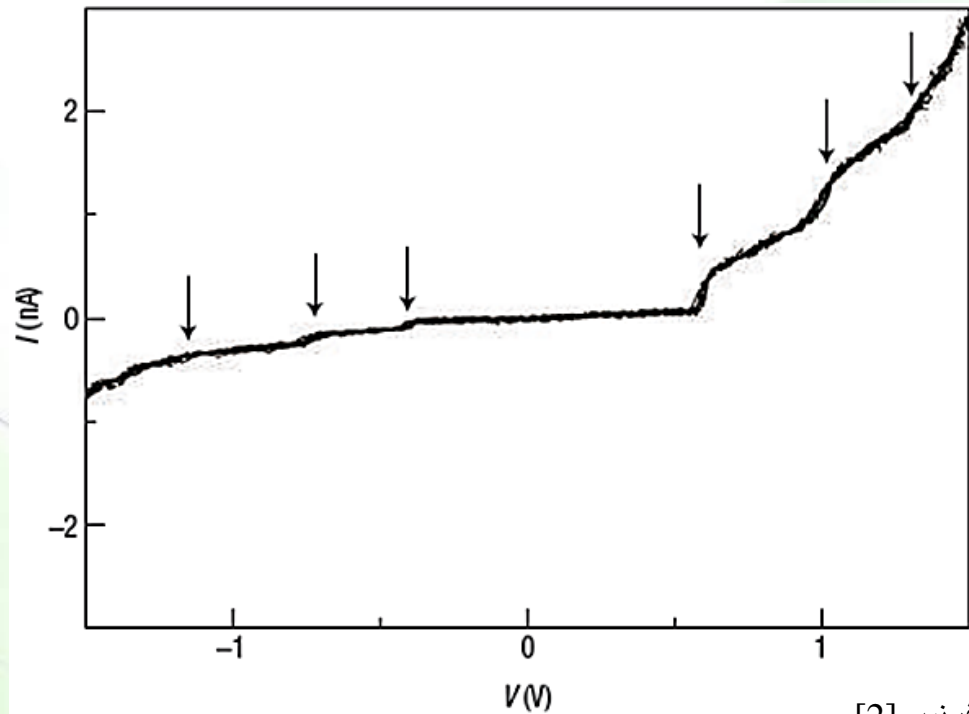
رفرنس [2]

دیود مولکولی

دو نکته قابل توجه شکل مشخصه ولتاژ-جریان دیود مولکولی :

(۱) تغییرات گسسته و ناگهانی جریان

(۲) جریان بسیار کمی در دیود برقرار شده



رفرنس [2]

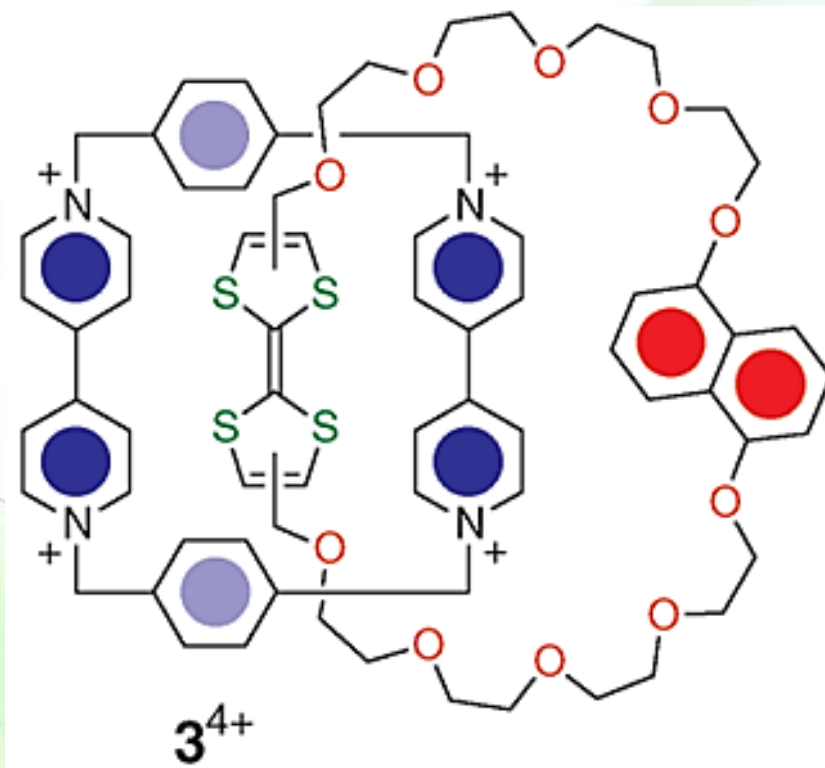


- علت
- فرایندهای انتقال بار
- ابعاد بسیار کوچک مولکول

کلید دو سر

✓ برای ساخت کلید دو سر و کاربرد آن به عنوان حافظه ← نیاز به مولکول‌های پیچیده‌تری

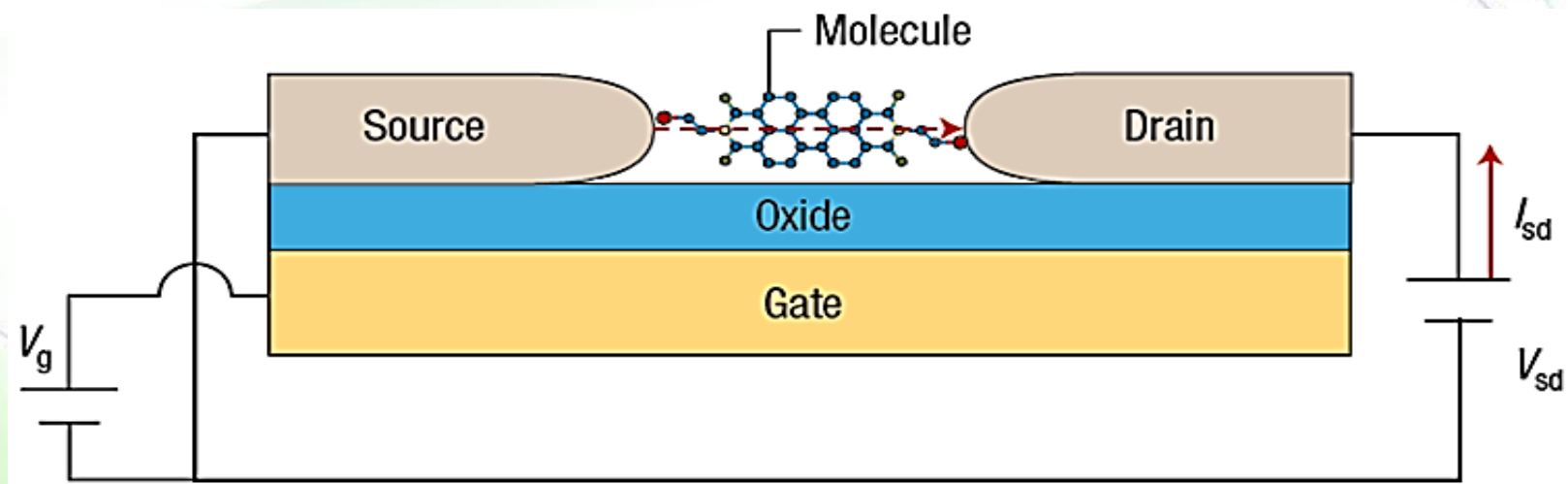
✓ شکل مولکول کتان به عنوان کلید و حافظه



رفرنس [1,7]

ترانزیستور مولکولی

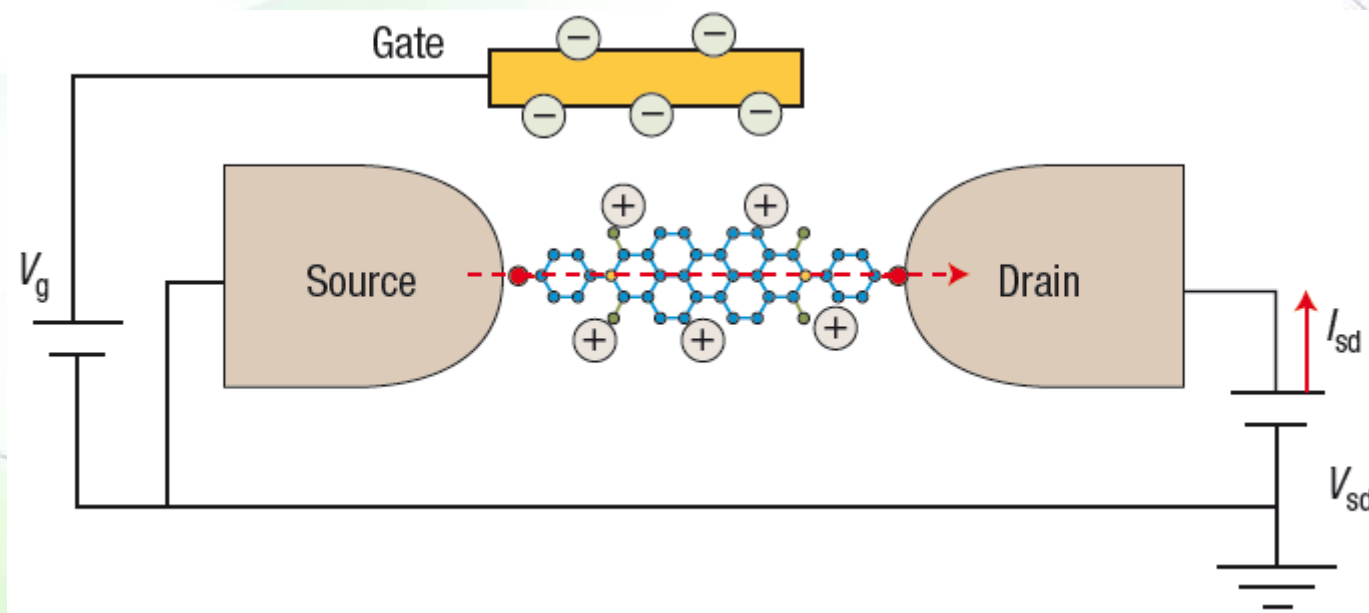
- ✓ ترانزیستور مولکولی با گیت مرسوم
- ✓ قابل کنترل بودن حرکت الکترون‌ها با اعمال ولتاژ به گیت



رفرنس [2]

ترانزیستور مولکولی

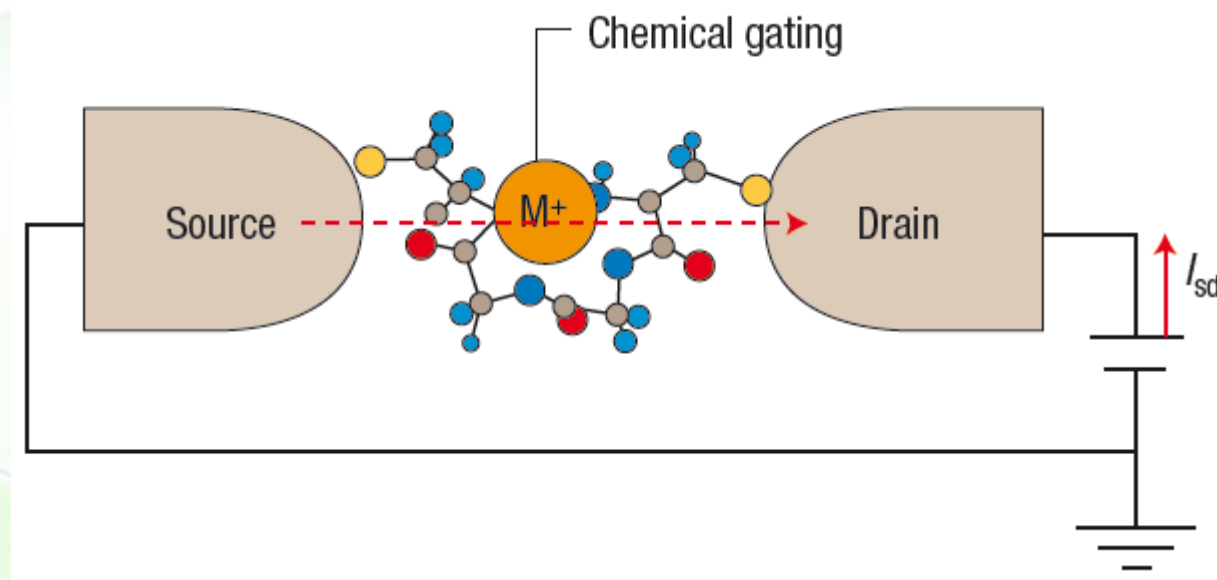
✓ استفاده از گیت الکتروشیمیایی ← کنترل حرکت الکترون‌ها در کانال مولکولی



رفرنس [2]

ترانزیستور مولکولی

✓ کنترل کانال ← با استفاده از فرایندهای شیمیایی مانند اضافه یا کم کردن گروه‌های مولکولی کانال

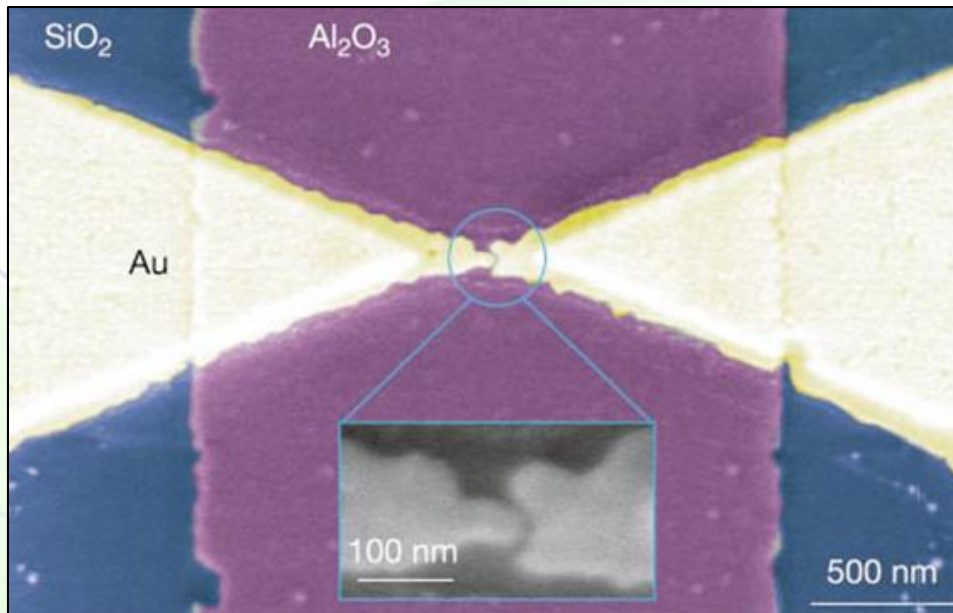


رفرنس [2]

نوسان‌های نانومولکولی در ترانزیستور مولکولی

✓ از فرایندهای مرتبط با حرکت الکترون ← نوسان‌های نانومولکولی

↓
اعمال میدان الکتریکی به مولکول کانال و کم و زیاد کردن الکترون



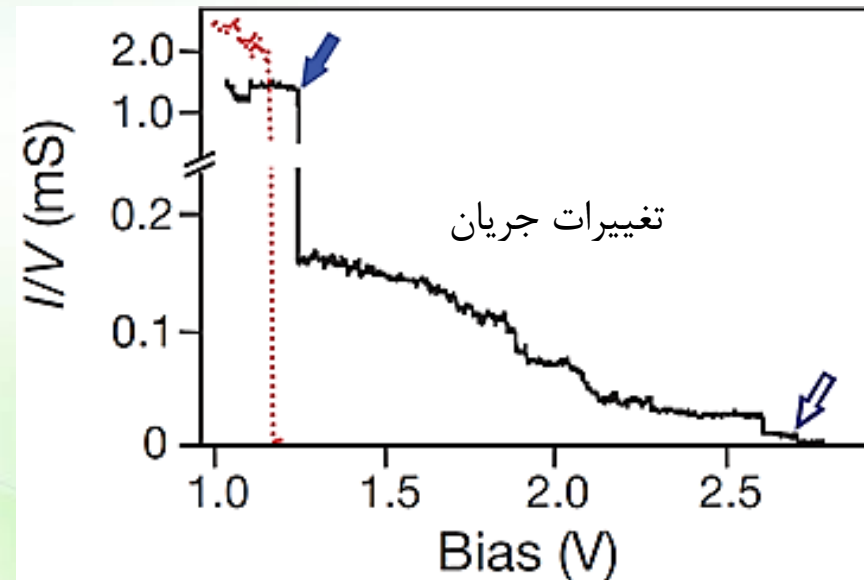
✓ تغییر حرکت الکترون در یک نقطه کوانتومی

- کم و زیاد کردن یک الکترون
- تغییر سطوح انرژی کوانتومی

رفرنس [3] ایجاد اتصالات مناسب و کانال نانومتری برای ساخت ترانزیستور مولکولی

نوسان‌های نانومولکولی در ترانزیستور مولکولی

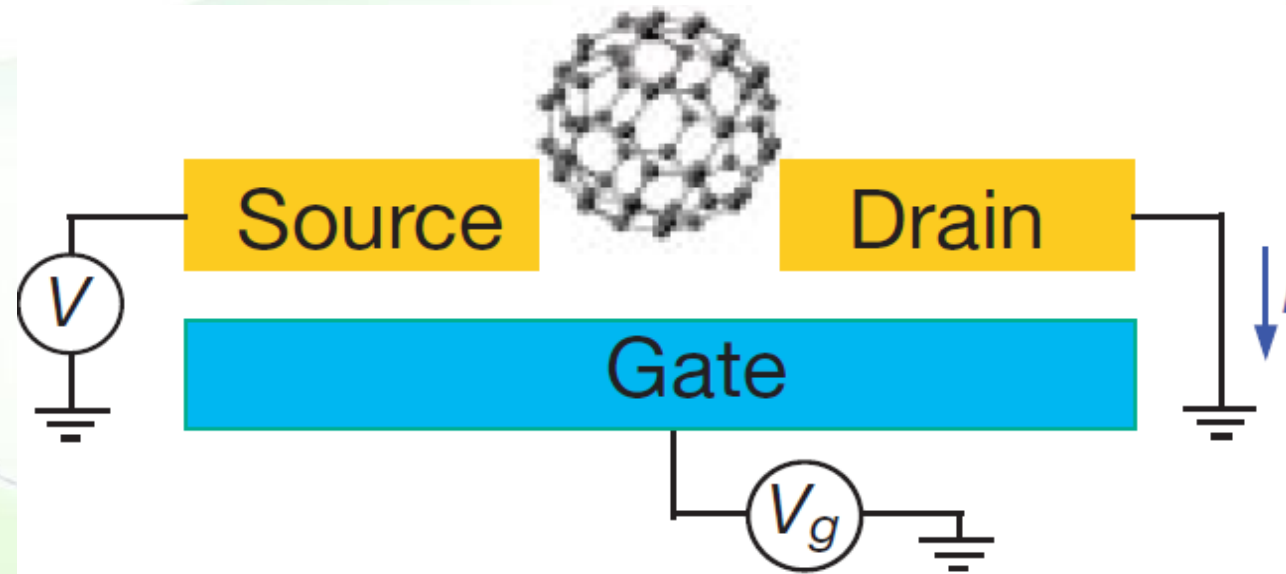
- اعمال ولتاژ ← ایجاد جریان خیلی زیاد ←
- (۱) موجب کنده شدن تعدادی از اتم‌ها در ناحیه با عرض کم
 - (۲) افت ناگهانی جریان
 - (۳) تونل‌زنی از طریق مولکول کانال برای برقراری جریان



ایجاد کانال نانومتری با اعمال ولتاژ رفرنس [3]

نوسان‌های نانومولکولی در ترانزیستور مولکولی

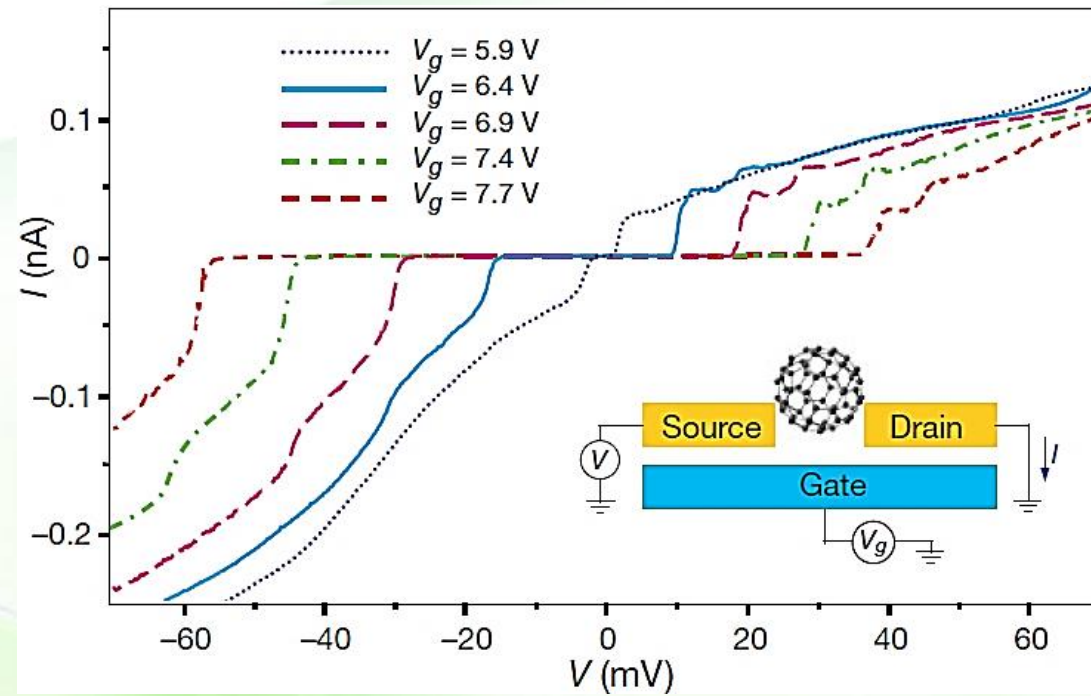
✓ ترانزیستور تک‌مولکولی با کانال مولکولی از جنس C_{60}



رفرنس [3]

نوسان‌های نانومولکولی در ترانزیستور مولکولی

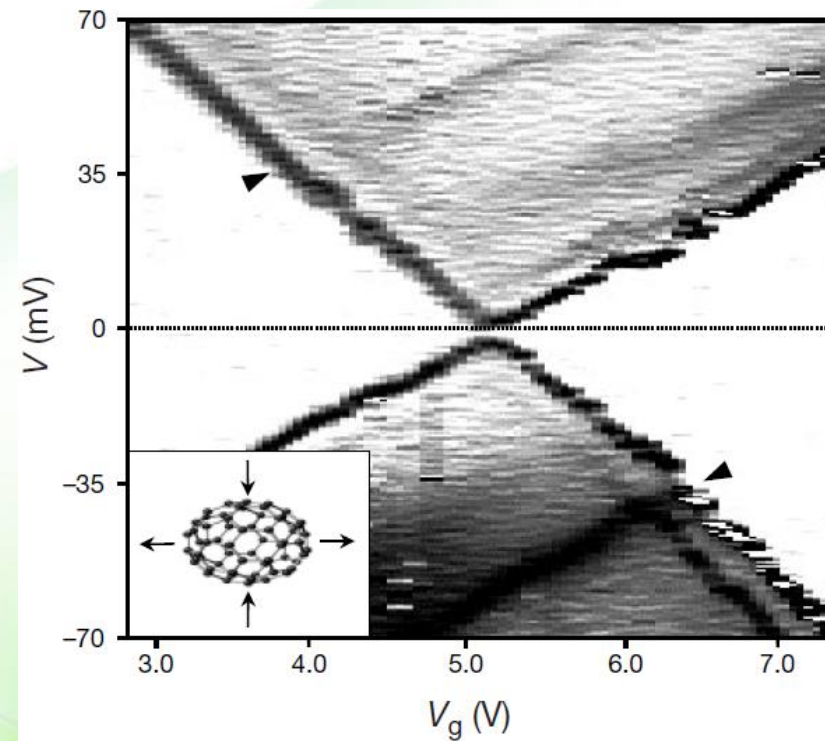
✓ تغییر در ولتاژ گیت ← موجب تغییر در مشخصه ولتاژ-جریان بین سورس و درین



مشخصه ولتاژ-جریان ترانزیستور تک‌مولکولی با کانالی از جنس C_{60} در دمای ۱,۵ کلوین رفرنس [4]

نوسان‌های نانومولکولی در ترانزیستور مولکولی

✓ وجود شکاف هدایت در مرکز نمودار و در نزدیکی ولتاژ صفر



هدایت الکتریکی با تغییر ولتاژ گیت و سورس-درین (فضای سفید نشان دهنده شکاف هدایت در هر ولتاژ گیت است).
 رفرنس [3,6]

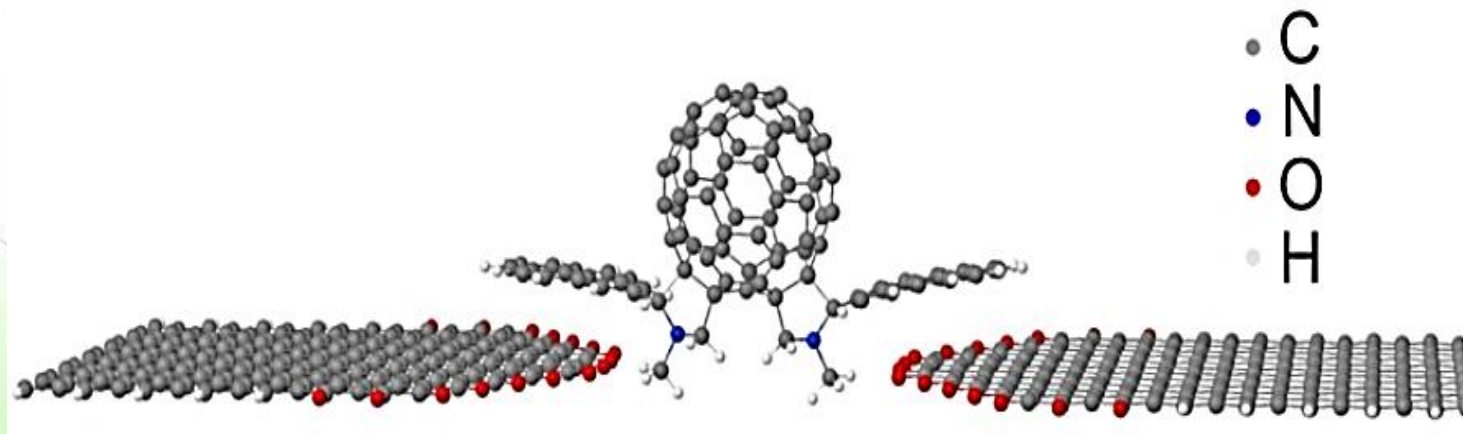
نوسان‌های نانومولکولی در ترانزیستور مولکولی

✓ تغییر در مولکول کانال ← تغییر در نوسان‌های آن



کوپل شدن این نوسان‌ها با الکترون‌های عبوری از کانال

✓ ترانزیستور مولکولی با الکترودهای گرافنی و کانال C_{60} مهندسی شده



رفرنس [5]

نتیجه گیری

- ساخت ترانزیستورهای مولکولی با فرآیندی پیچیده و با تکرارپذیری کم
- وجود پدیده‌های نا آشنای زیادی در زمینه الکترونیک مولکولی
- پویا بودن تحقیقات فیزیکدان‌ها در حوزه الکترونیک مولکولی
- پایین بودن دمای کاری فرآیند مولکولی

- 1) Pease, Anthony R., et al. "Switching devices based on interlocked molecules." *Accounts of chemical research* 34.6, 433-444, 2001.
- 2) Tao, N. J. "Electron transport in molecular junctions." *Nature Nanotechnology* 1.3, 173-181, 2006.
- 3) Park, Hongkun, et al. "Nanomechanical oscillations in a single-C60 transistor." *Nature* 407.6800, 57-60, 2000.
- 4) Liang, Wenjie, et al. "Kondo resonance in a single-molecule transistor." *Nature* 417.6890, 725-729, 2002.
- 5) Lau, Chit Siong, et al. "Redox-dependent Franck–Condon blockade and avalanche transport in a graphene–fullerene single-molecule transistor." *Nano letters* 16.1, 170-176, 2015.
- 6) Afshani, Amir, Abdolali Abdipour, and Rashid Mirzavand. "Field modeling and analysis of terahertz transistor." *Millimeter-Wave and Terahertz Technologies (MMWATT), 2014 Third Conference on. IEEE, 2014.*
- 7) Vicarelli, L., et al. "Graphene field-effect transistors as room-temperature terahertz detectors." *Nature materials* 11.10 (2012): 865-871. Knap, Wojciech, et al. "Nanometer size field effect transistors for terahertz detectors." *Nanotechnology* 24.21, 2013.

با تشکر فراوان از استاد پروفیسور محمدنژاد، و شما دانشجویان
عزیز

