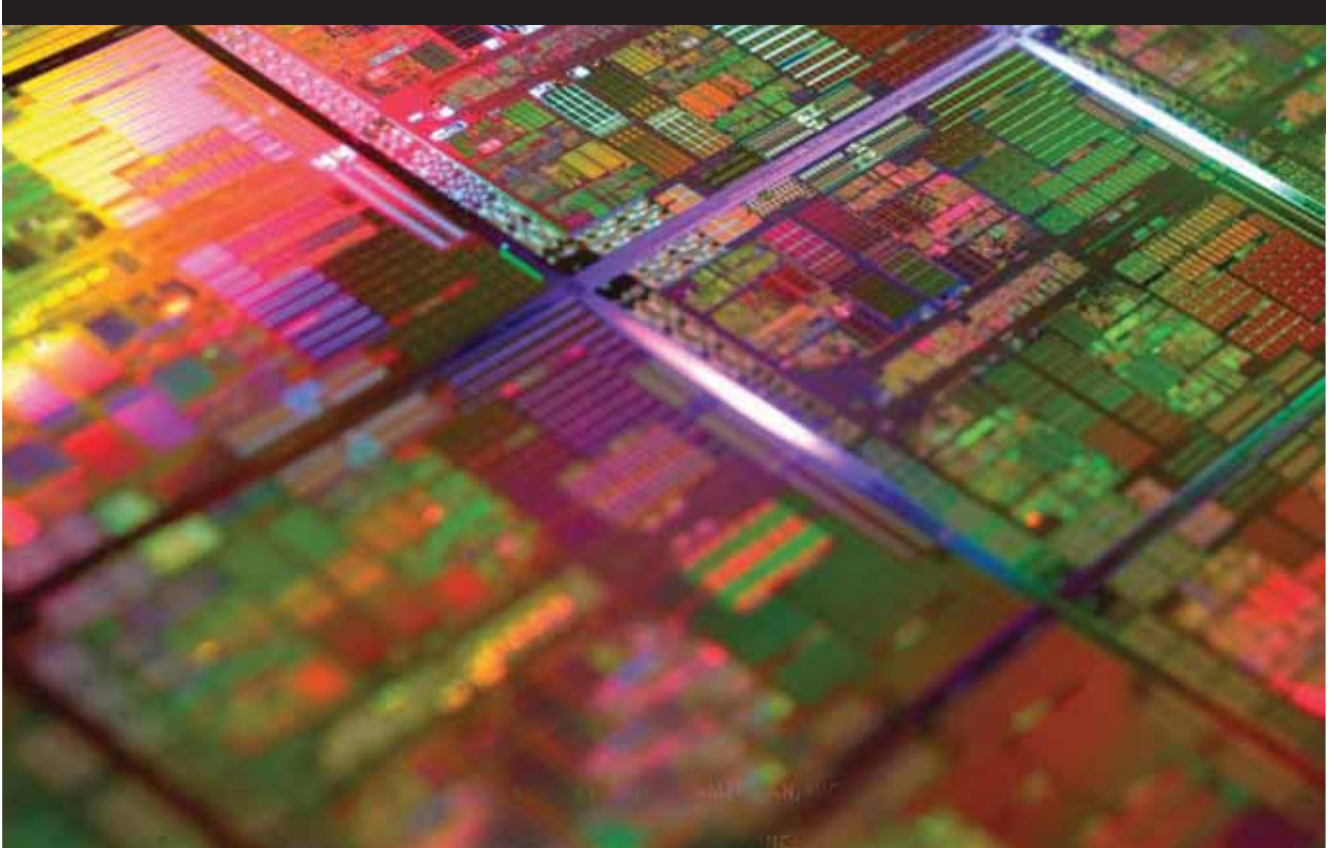




محققان با تلاش فراوان به دنبال توسعه مرزهای فناوری‌هایی هستند که مدارهای مجتمع را کوچک‌تر، سریع‌تر و ارزان‌تر می‌سازند.

مترجم: صادق مسیبی جیره‌نده،  
کارشناس ارشد فیزیک دانشگاه تهران

# ریزتراشه‌ها در ۲۰ سال آینده





## هر تراشه پردازنده PHENOM X4 ساخته شرکت AMD (در آرایه تصویر بالا)، ۷۵۸ میلیون ترانزیستور را در خود جای داده است.

که محاسبات کوانتومی و زیستی (بیولوژیکی) از این دست هستند.

در این مقاله ما نگاهی به دسته‌ای از پیشرفت‌هایی خواهیم داشت که بسیاری از آنها هم اکنون در مرحله آزمایش بوده و می‌توانند در دو دهه آینده محصولات رایانه ای را در مسیر «کوچک‌تر، سریع‌تر و ارزان‌تر شدن» حفظ کنند همان گونه که تاکنون چنین بوده است.

### اندازه: محل تقاطع میله

هم اکنون کوچک‌ترین ترانزیستور تجاری تنها ۳۲ نانومتر عرض دارد، به اندازه ۹۶ اتم سیلیکون که در کنار هم چیده شده‌اند. صنعت بیان می‌دارد که ساخت ابزارهای کوچکتر از ۲۲ نانومتر با استفاده از روش‌های لیتوگرافی (که برای چندین دهه استفاده شده و ارتقا یافته‌اند) ممکن است بی‌نهایت دشوار باشد.

یک گزینه که دارای مدارهایی در ابعادی مشابه بوده اما قدرت محاسباتی را ارتقا می‌دهد طرحی است که تحت عنوان طرح میله عرضی شناخته می‌شود. در این طرح به جای ساخت و قرار دادن ترانزیستورها در یک صفحه (همانند اتمیلهایی که در خطوط یک بزرگراه سیلیکونی فشرده در کنار هم قرار گرفته‌اند) مجموعه‌ای از نانوسیم‌های موازی که در یک صفحه قرار گرفته‌اند بر روی مجموعه دیگری از نانوسیم‌ها به صورت عمود قرار داده می‌شوند (دو بزرگراه عمود بر هم). یک لایه میانی با ضخامت یک مولکول در بین آنها قرار داده می‌شود. بسیاری از تقاطع‌های به‌وجود آمده بین دو مجموعه سیم مذکور می‌توانند همانند کلید عمل کنند. این کلیدها که ممریستور (memristor) نامیده می‌شوند نشان دهنده صفرها و یک‌ها (اعداد دودویی یا بیت‌ها) هستند، همانند آنچه که در مورد ترانزیستورها وجود دارد. اما این ممریستورها می‌توانند اطلاعات را نیز ذخیره نمایند. علاوه بر این قابلیت‌ها، آنها قادرند تا تعدادی از اعمال محاسباتی را نیز انجام دهند. اساساً یک ممریستور می‌تواند کار ۱۰ تا ۱۵ ترانزیستور را انجام دهد.<sup>۱</sup>

آزمایشگاه‌های هولت-پاکارد نمونه‌هایی آزمایشی از این ابزارهای میله عرضی را با استفاده از سیم‌های تیتانیومی و پلاتینی با عرض ۳۰ نانومتر ساخته‌اند. آنها برای این کار از مواد و فرایندهایی مشابه آنچه هم اکنون در صنعت نیمه‌رسانای ارتقا یافته به کار می‌رود استفاده کرده‌اند. محققان فعال در این شرکت‌ها معتقدند که هر سیم می‌تواند تا ۸ نانومتر کوچک شود

در سال ۱۹۷۵ محقق پیشرو گوردون مور در یک نظریه معروف، پیش بینی کرد که پیچیدگی تراشه‌های مدارهای مجتمع هر دو سال، دو برابر خواهد شد. پیشرفت‌های حاصل شده در روش‌های ساخت این امکان را به ترانزیستورهای تراشه می‌دهد تا کوچک و کوچک‌تر شوند، از این رو برای پردازش اطلاعات، سیگنال‌های الکتریکی فاصله کوچکتری را باید طی نمایند. برای صنعت الکترونیک و برای مشتریان، قانون مور (که با این نام شناخته می‌شود) به این معناست که ابزارهای رایانه‌ای به شکل وحشتناکی کوچک‌تر، سریع‌تر و ارزان‌تر خواهد شد. به دلیل وجود روند پیوسته و دائمی نوآوری در طراحی و ساخت نیمه‌رساناها، تراشه‌ها برای مدت ۳۵ سال به میزان چشم‌گیری به سیر تحولی مذکور نزدیک بودند.

با این حال مهندسان می‌دانستند که در نقطه‌ای به بن‌بست خواهند رسید. بالاخره ترانزیستورها روزی به ضخامتی در حدود ده‌ها اتم می‌رسند. در چنین مقیاسی قانون‌های بنیادی فیزیک، محدودیت‌هایی می‌آورند. حتی قبل از رسیدن به این بن‌بست، احتمالاً به دو مشکل عملی برخورد می‌کردند. قراردادن ترانزیستورهای تا این حد کوچک در نزدیکی یکدیگر به گونه‌ای که بازده کار بالا باشد (نسبت بالای تراشه‌های قابل استفاده به تراشه‌های معیوب) می‌توانست بسیار گران تمام شود. همچنین گرمای تولیدشده توسط این ترانزیستورهای انبوه و متراکم که خاموش و روشن می‌شوند می‌توانست آنچنان بالا رود که منجر به سوختن خود اجزا شود.

در حقیقت این موانع چندین سال پیش ظهور پیدا کردند. دلیل اصلی استفاده از تراشه‌های تجاری معروف «دو هسته‌ای» در رایانه‌های شخصی معمولی (به معنای استفاده از دو پردازنده کوچک به جای یک پردازنده) این است که چیدن تعداد مورد نیازی از ترانزیستورها بر روی یک تراشه واحد و خنک کردن آن بسیار مشکل‌آفرین شده بود. در واقع طراحان رایانه به دنبال آنند که دو یا تعداد بیشتری تراشه را در کنار یکدیگر قرار داده و آنها را طوری برنامه‌ریزی کنند که اطلاعات را به صورت موازی پردازش کنند.

به نظر می‌رسد که سرانجام قانون مور از اعتبار ساقط شده است پس چگونه مهندسان به ساخت تراشه‌های قدرتمندتر ادامه خواهند داد؟

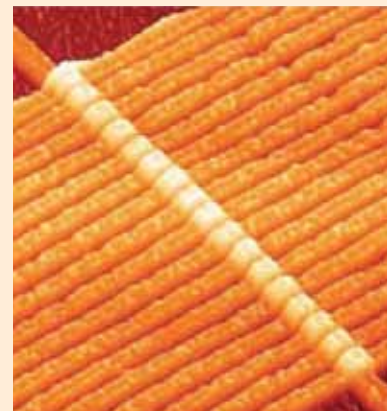
رفتن به سوی معماری‌های جایگزین و نانومواد بی‌عیب که می‌توانند اتم به اتم سرهم بندی شوند دو گزینه و راهکار است. یک راهکار دیگر یافتن راه‌های جدید و کارآمد برای پردازش اطلاعات است

### مفاهیم کلیدی:

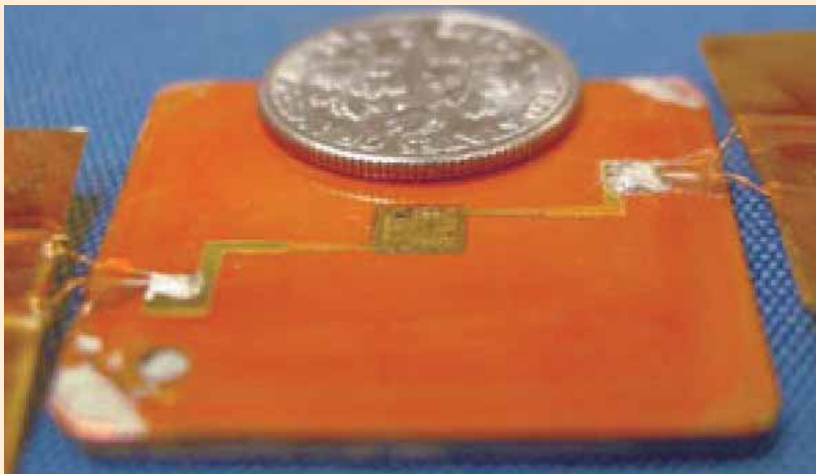
● ممکن است بزودی کوچک‌ترین ترانزیستورها بر روی تراشه‌های مدار-مجتمع به امری غیرممکن تبدیل شود. در این صورت، نیاز خواهد بود تا کارایی مواد و طرح‌های جایگزین برای تراشه‌ها ارتقا یابد.

● نانوسیم‌ها، گرافن، ذرات کوانتومی و مولکول‌های زیستی فناوری‌هایی هستند که به دنبال ساخت نسل‌های جدیدی از تراشه‌ها هستند. این تراشه‌ها از بهترین تراشه‌های کنونی قدرتمندتر هستند.

ممریستور ساخته شده در هولت-پاکارد، نوع جدیدی از اجزای مدار است که بر روی هر کدام از تقاطع‌های بالآمده ناشی از هم پوشانی نانوسیم‌ها ساخته می‌شود.



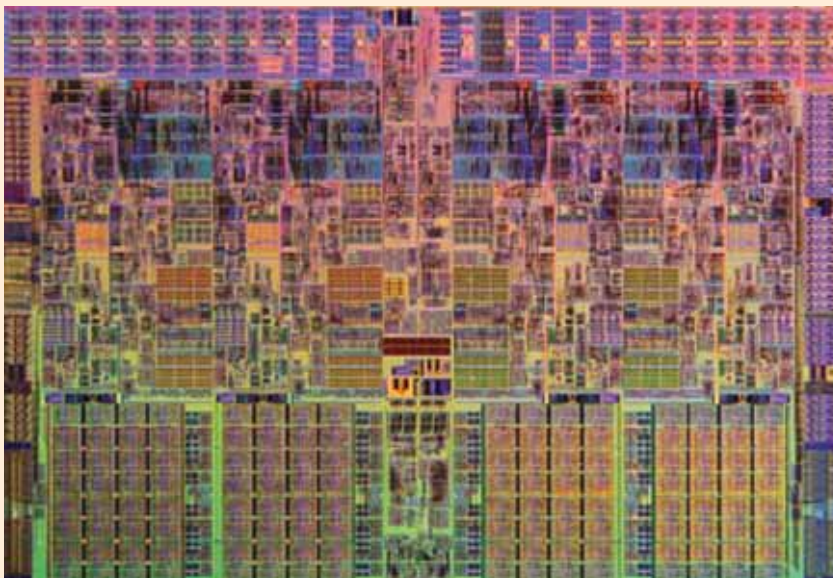




**وصله خنک‌ساز (مرکز، طلایی) که از تلورید بیسموت ساخته شده گرم را از تراشه بسیار بزرگتری که بر روی آن بسته شده به یک ورق اتلاف نازک (نارنجی) منتقل می‌کند. این مجموعه وصله و ورق نسبت به صفحات حرارتی کنونی فضای کمتری را اشغال کرده و توان کمتری مصرف می‌کند.**

#### معماری تراشه: چند هسته‌ای‌ها

ترانزیستورهای کوچک می‌توانند عمل روشن و خاموش شدن (که نمایشگر صفر و یک است) را سریع‌تر انجام دهند و این امر، سرعت تراشه را بیشتر می‌کند. اما نرخ زمان‌سنجی (تعداد دستوراتی که یک تراشه می‌تواند در عرض یک ثانیه پردازش نماید) به محض رسیدن تراشه‌ها به سقف دمایی، در سرعت ۳ الی ۴ گیگاهرتز به میزان یکنواخت و همواری رسیده و دیگر رشد نمی‌کند. برای دستیابی به عملکرد بهتر با وجود این محدودیت‌ها در دما و سرعت، طراحان به سوی قراردادن دو پردازنده، یا هسته، در درون یک تراشه واحد رهنمون گشتند. هر کدام از هسته‌ها دارای سرعت پردازنده‌های پیشین بودند اما از آنجایی که دو هسته به صورت موازی پردازش می‌کنند، قادرند تا در یک زمان مشخص و با مصرف توان کمتری، میزان بیشتری از داده‌ها را پردازش کنند. به دلیل مصرف توان کمتر، گرمای



**تراشه INTEL IV دارای چهار هسته است (پایین) که برای سرعت‌بخشیدن به محاسبات به صورت موازی کار می‌کنند.**

همچنین چندین گروه تحقیقاتی به دنبال شکلهای به میله عرضی‌های ساخته شده از سیلیکون، تیتانیوم و سولفید نقره هستند.

#### گرما: یخچال‌ها یا باد

با قراردادن حدود یک میلیارد ترانزیستور بر روی یک تراشه، دفع گرمای حاصل از طریق روشن و خاموش شدن ترانزیستورها به یک چالش بزرگ تبدیل شده است، رایانه‌های شخصی دارای محفظه‌ای برای پروانه (فن) هستند اما قدرت خنک‌کاری آنها به اندازه دفع توانی در حدود ۱۰۰ وات به ازای هر تراشه است. از این رو طراحان به دنبال ابداع راهکارهای جدید هستند. رایانه همراه مدل MacBook Air دارای یک قاب صیقلی است که از آلومینیوم رسانای حرارت ساخته شده است و به عنوان یک دافع حرارت عمل می‌نماید. در رایانه شخصی مدل Apple Power Mac G5، مایعی در درون میکروکانال‌های تعبیه شده در سطح زیرین تراشه پردازنده، جریان پیدا می‌کند.

ادغام سیالات و الکترونیک می‌تواند شانس برای موفقیت باشد گرچه در سطحی کوچکتر، ابزارهای کوچک همراه همانند گوشی‌های تلفن هوشمند معمولاً فضایی برای کانال‌کشی یا تعبیه پروانه ندارند. یک گروه تحقیقاتی که توسط شرکت اینتل هدایت می‌شود یک ابرشبهک لایه نازک از جنس تلورید بیسموت را در درون لفافی که سطح تراشه را می‌پوشاند قرار داده است. این ماده ترموالکتریک اختلاف دمایی را به الکتریسیته تبدیل نموده و به این شکل خود تراشه را خنک می‌نماید.

هم‌اکنون یک شرکت نوپا به نام Ventiva بر اساس دستاوردهای تحقیق در دانشگاه پورگو در حال ساخت یک «پروانه» حالت جامد بسیار کوچک است که فاقد هرگونه قطعه متحرکی بوده و با بهره‌گیری از اثر باد کورونا، یک باد ملایم تولید می‌کند، از این ویژگی در ساخت تصفیه‌کننده‌های هوای خانگی بی‌صدا نیز استفاده می‌شود. یک شبکه فلزی کمی مقعر دارای سیم‌های پویایی است که یک پلاسمای میکرومقیاس را تولید می‌کنند، این یون‌ها در ترکیب گاز شکل حاصله، مولکول‌های هوارا از مجاورت سیم‌ها به سمت یک بشقابک مجاور می‌رانند و با این کار، باد تولید می‌کنند. گرچه این پروانه بسیار کوچک‌تر از یک پروانه مکانیکی معمولی است اما جریان هوای بیشتری تولید می‌کند. سایر مبتکرین به دنبال ساخت پروانه‌های موتوری استرلینگ هستند؛ البته این پروانه‌ها هنوز تا حدی حجیم هستند. پروانه‌های استرلینگ بدون مصرف الکتریسیته، باد تولید می‌کنند و توان آنها با بهره‌گیری از اختلاف دمایی بین نواحی گرم و سرد تراشه تأمین می‌شود.



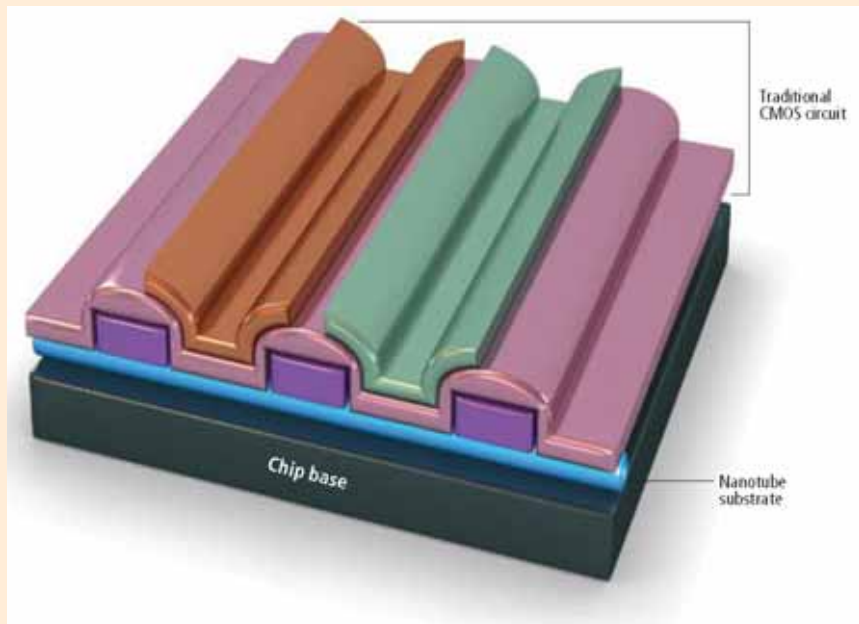
یک زبان اولیه به نام Erlang که از سوی شرکت سوئدی اریکسون عرضه شده الهام بخش ظهور زبان‌های جدیدتری همچون Clojure و Scala بوده است. مؤسساتی چون دانشگاه ایلینویز نیز توسعه برنامه نویسی موازی برای تراشه‌های چند هسته‌ای را دنبال می‌کنند.

اگر این راهکارها کامل شوند می‌توان در ابزارهای رومیزی و همراه، دوازده و یا تعداد بیشتری پردازنده موازی تعبیه کرد؛ چنین پردازنده‌هایی ممکن است به تنهایی نسبت به تراشه‌های کنونی دارای تعداد کمتری ترانزیستور بوده اما در کنار یکدیگر و به صورت گروهی، سریع‌تر از آنها خواهند بود.

### مواد نازک: نانولوله‌ها و خودآرایی

در ده سال گذشته، مبتکران از فناوری نانو به عنوان راه حلی برای تمام انواع چالش‌ها در پزشکی، انرژی و البته مدارهای مجتمع نام برده‌اند. برخی علاقمندان معتقدند که صنعت نیمه‌رسانا (صنعت سازنده تراشه‌ها) چنانچه به سمت ساخت نیمه رساناهای باز هم نازک‌تر پیش رود عملاً به حوزه فناوری نانو وارد خواهد شد.

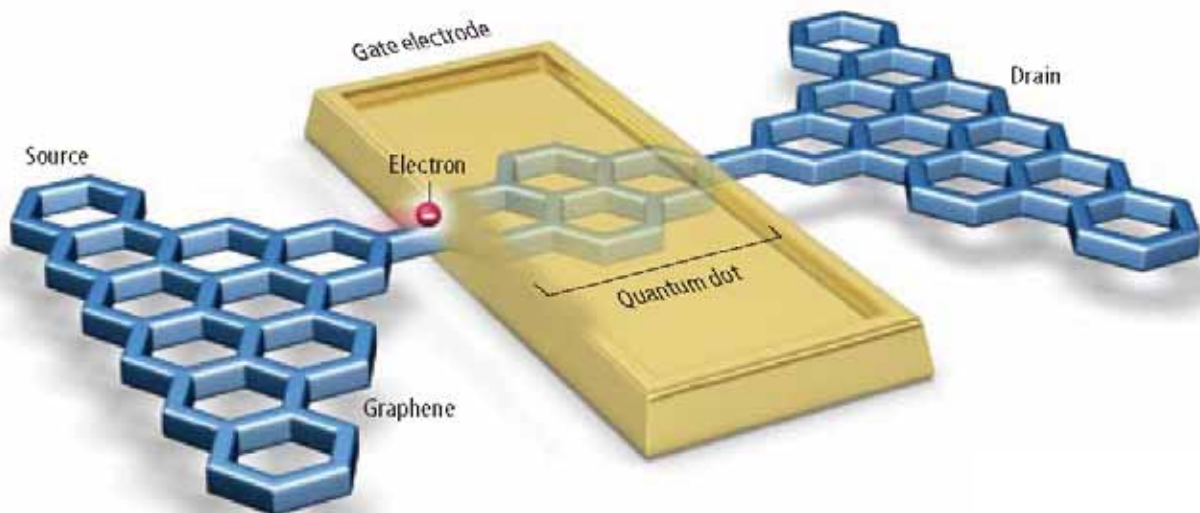
با این وجود، انتظار می‌رود که روش‌های نانویی به مهندسان امکان دهند تا مولکول‌های طراح را به روی هم سوار کنند. به عنوان مثال، ترانزیستورهای متشکل از نانولوله‌های کربنی خودآرا (به روی هم سوار شده) می‌توانند بسیار کوچکتر از گونه‌های کنونی باشند. اخیراً مهندسانی از IBM یک مدار فلز-اکسید-نیمه رسانای مکمل (CMOS) معمولی ساخته‌اند که در آن به جای سیلیکون از یک نانولوله کربنی به عنوان زیرلایه رسانا



### مدار نوسان‌ساز حلقه‌ای بر روی یک نانولوله کربنی منفرد که اجزای مدار را به یکدیگر متصل می‌کند ساخته شده است.

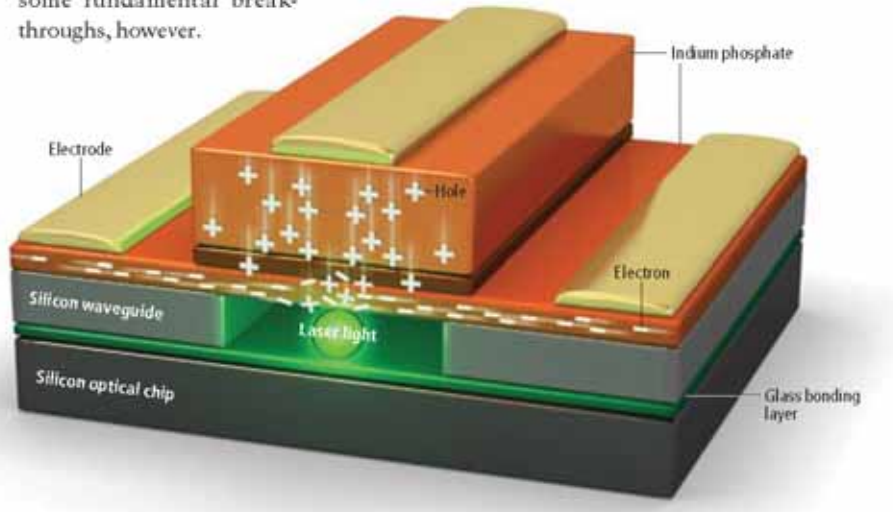
تولید شده نیز کاهش می‌یابد. هم‌اکنون مدرن‌ترین رایانه‌های شخصی از پردازنده‌های چهار هسته‌ای همانند AMD Phenom X۴ و Intel iv بهره می‌گیرند.

قدرتمندترین ابررایانه‌های دنیا دارای هزاران هسته هستند اما در محصولات خانگی، استفاده از تنها چند هسته شدیداً نیازمند روش‌های برنامه نویسی جدید و قدرتمند است که می‌توانند داده‌ها و عمل پردازش را قسمت بندی کرده و بین وظایف محوله هماهنگی ایجاد نمایند. در ابتدا برنامه نویسی موازی در دهه‌های ۱۹۸۰ و ۱۹۹۰ برای ابررایانه‌ها بنیان نهاده شد با این وجود چالش کنونی، ابداع زبان‌ها و ابزارهایی است که می‌توانند برای کاربردهای خانگی مورد استفاده نویسندگان نرم افزار قرار بگیرند. به عنوان مثال، Microsoft Research زبان برنامه نویسی F# را ابداع نموده است.



ترانزیستور گرافانی که در دانشگاه منچستر در انگلستان ساخته شده تنها یک اتم ضخامت دارد. یک نقطه کوانتومی تنها به یک الکترون اجازه می‌دهد تا از منبع به سمت درین حرکت کند که این، به صورت یک ۰ یا ۱ ثبت می‌شود.

some fundamental breakthroughs, however.



استفاده می‌شود. عضوی از این گروه به نام جورج آپنزلر که هم اکنون در دانشگاه پوردو حضور دارد در حال ساخت ترانزیستورهای جدیدی است که بسیار کوچک‌تر از ابزارهای CMOS بوده و قادرند تا به شکل بهتری از یک زیربنای نانولوله ای بسیار کوچک بهره بگیرند.

مرتب‌سازی مولکول‌ها یا حتی اتم‌ها می‌تواند چالش آور باشد (به ویژه با وجود نیاز به خودآرایی آنها در حجم‌های بزرگ در حین فرآیند تولید تراشه). یک راه حل می‌تواند بکارگیری مولکول‌هایی باشد که خودبه‌خود آرایش می‌یابند؛ چنانچه آنها را با یکدیگر ادغام کرده و سپس در معرض حرارت یا نور یا نیروهای سانتریفوژی قرار دهید، به صورت خودکار در یک الگوی قابل پیش بینی مرتب می‌شوند.

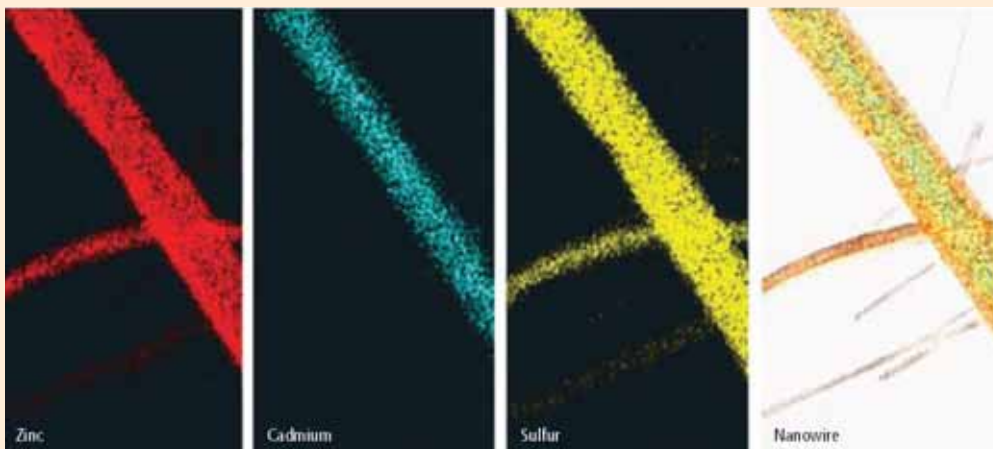
تراشه نوری می‌تواند بسیار سریع محاسبه نماید؛ البته به شرطی که دارای یک چشمه نور درونی و قابل کنترل باشد. الکترون‌ها و حفره‌ها در لایه‌های فسفات ایندیوم، در مرکز، باز ترکیب می‌شوند تا نور تولید کنند. این نور در درون یک موجبر سیلیکونی و از خلال یک لایه شیشه ای انتشار می‌یابد.

را به شکل یک کبک لایه‌ای باریک و مستطیل شکل در ذهن خود مجسم کنید، به گونه ای که یک لایه آلومینیومی (یا اخیراً پلی‌سیلیکونی) در بالا، یک لایه اکسید فلزی عایق در وسط و یک لایه سیلیکونی نیمه رسانا در پایین قرار گرفته باشد. گرافن (یک شکل جدید و مجزا از مولکول‌های کربن) یک صفحه مسطح است که از شش وجهی‌های هم‌شکل تشکیل یافته و شکلی مشابه با توری‌های سیمی دارد؛ با این وجود تنها یک لایه اتمی ضخامت دارد. با انباشته شدن صفحات گرافنی بر روی یکدیگر، گرافیت معدنی تشکیل می‌شود که برای ما شکلی مشابه با «مغز مداد» دارد. گرافن در شکل خالص بلوری و در دمای اتاق، الکترون‌ها را سریع‌تر از هر ماده دیگری هدایت می‌کند (بسیار سریع‌تر از ترانزیستورهای اثر میدانی). همچنین در این ماده، حامل‌های بار مقدار بسیار کمی از انرژی خود را در اثر پراکندگی و برخورد با اتم‌های شبکه از دست می‌دهند و بنابراین حرارت اتلافی تولید شده، کمتر خواهد بود. دانشمندان گرافن را در سال ۲۰۰۴ به عنوان یک ماده مجزا تولید کردند و این کار سابقه چندانی ندارد اما محققان مطمئن هستند که قادرند ترانزیستورهای

IBM نشان داده است که چگونه می‌توان با استفاده از پلیمرهای متصل به یکدیگر از طریق پیوندهای شیمیایی، مدارهای حافظه ساخت. هنگامی که این پلیمرها بر روی سطح یک ویفر سیلیکونی تنیده شده و گرم می‌شوند، مولکول‌ها کشیده شده و یک ساختار لانه زنبوری را با حفره‌هایی که تنها ۲۰ نانومتر عرض دارند به وجود می‌آورند. پس از آن می‌توان این ساختار را بر روی سیلیکون حک کرد تا یک تراشه حافظه با همان اندازه تولید شود.

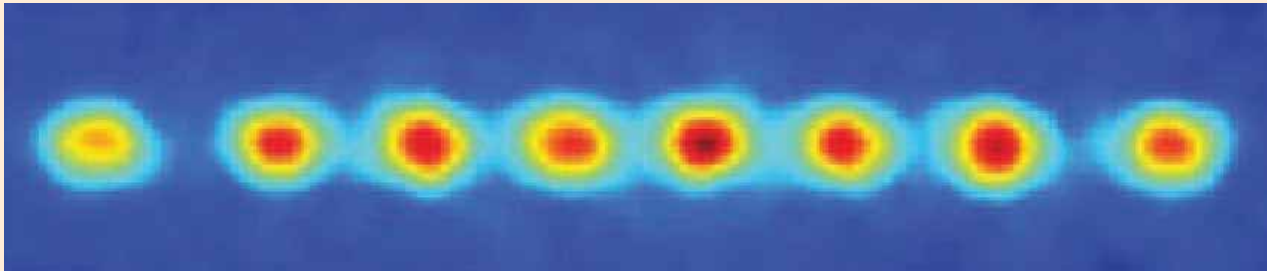
### ترانزیستورهای سریع تر: گرافن فوق نازک

نکته کلیدی برای ادامه روند کوچک‌سازی ترانزیستورها، کوتاه‌سازی مسیری است که سیگنال‌های الکتریکی باید در درون یک تراشه طی کنند. این کار، سرعت پردازش اطلاعات را افزایش می‌دهد. اما یک نانوماده ویژه به نام گرافن با توجه به ساختار ذاتی خاصش می‌تواند سریع‌تر از سایر مواد عمل نماید. بیشتر تراشه‌های منطقی‌ای که به پردازش اطلاعات می‌پردازند از ترانزیستورهای اثر-میدانی که با فناوری CMOS ساخته شده‌اند استفاده می‌کنند. یک ترانزیستور



نانوسیم‌های نازکی از جنس روی، کادمیوم و سولفور هنگامی که در معرض یک پالس نیم ثانیه ای بخار دیمتیلزینک قرار می‌گیرند در قالب یک نانوسیم ضخیم‌تر و پوسته (تصویر انتهایی سمت راست) خودآرایی می‌شوند تا یک مدار را به وجود بیاورند.





زیستی باشد، به این محاسبات، محاسبات زیستی گفته می‌شود (بخش «محاسبات زیستی»: تراشه‌هایی که زنده اند» را ببینید). برای روشن شدن مطلب، ممکن است مهندسان به محاسبات انجام شده به وسیله مولکول‌های غیرزیستی، منطبق مولکولی یا مولکرونیکی اطلاق نمایند.

یک ترانزیستور کلاسیک دارای سه پایانه است (شکل حرف Y را در ذهن مجسم کنید): منبع، گیت و درین. با اعمال یک ولتاژ به گیت (ساقه درخت Y)، الکترون‌ها بین منبع و درین شارش یافته و یک حالت صفر یا یک ایجاد می‌شود. از دیدگاه نظری، مولکول‌های شاخه شکل می‌توانند سیگنالی ایجاد نمایند که به همین شکل منتشر شود. ده سال قبل محققانی از دانشگاه‌های یال و رایس، کلیدهایی مولکولی ساختند که در آنها از بنزن به عنوان یک جزء سازنده استفاده شده بود.

مولکول‌ها می‌توانند بسیار کوچک باشند از این رو مدارهای ساخته شده با آنها می‌توانند بسیار کوچکتر از مدارهای ساخته شده با سیلیکون باشند. با این حال یکی از دشواری‌های این روش، یافتن راه‌هایی برای ساخت مدارهای پیچیده است. محققان امیدوارند که یکی از راه حل‌های این مشکل، خودآرایی باشد. در اکتبر سال ۲۰۰۹ گروهی از دانشگاه پنسیلوانیا با استفاده از تنها واکنش‌های شیمیایی‌ای که به خودآرایی منجر گردیدند، فلز روی و سولفید کادمیوم بلوری را به مدارهای ابرشبکه فلز-نیمه رسانا تبدیل نمودند.

### محاسبات کوانتومی: برهم نهی صفر و یک

دستیابی به اجزای مداری ساخته شده از اتم‌های مجزا، الکترون‌ها یا حتی فوتون‌ها دارای ضعیف‌ترین احتمال است. در این ابعاد، قوانین مکانیک کوانتومی (قوانین توضیح دهنده رفتار اتمی) بر روی اندرکنش‌های بین این اجزا حاکم است. رایانه‌های کوانتومی می‌توانند بی‌نهایت چگال (فشرده) و سریع باشند؛ اما در عمل ساخت آنها و کنترل اثرات کوانتومی ایجادشده، چالش‌های هراس‌آوری هستند.

خصوصیات اتم‌ها و الکترون‌ها می‌توانند حالت‌های متفاوتی به خود بگیرند و اتم‌ها و الکترون‌ها قادرند تا یک بیت کوانتومی یا qubit را به وجود آورند. چندین راهکار تحقیقاتی برای کنترل و اداره بیت‌های کوانتومی در دست بررسی است. در یکی از راهکارها که اسپینترونیک خوانده می‌شود از الکترون‌ها استفاده می‌شود. اسپین گشتاور مغناطیسی الکترون در یکی از دو جهت ممکن قرار دارد (یک توپ را در نظر بگیرید که می‌تواند در جهت ساعتگرد و یا پادساعتگرد بچرخد؛ چنین چرخشی نشان دهنده صفر یا یک است). این دو حالت مجزا می‌توانند به طور همزمان

گرافنی‌ای بسازند که تنها ۱۰ نانومتر عرض و به اندازه یک اتم ارتفاع داشته باشند. احتمالاً می‌توان مدارهای بسیار زیادی را در درون یک تک‌صفحه گرافنی بسیار کوچک حک نموده و تعبیه کرد.

### محاسبات نوری: سریع همانند نور

جایگزین‌های اساسی برای تراشه‌های سیلیکونی هنوز آنچنان ابتدایی هستند که ممکن است مدارهای تجاری برای یک دهه خاموش بمانند؛ اما کارشناسان بر این باورند که پس از آن، قانون مور به روند خود ادامه خواهد داد و برای این کار، شیوه‌های محاسباتی کاملاً متفاوتی در حال توسعه است.

در محاسبات نوری، الکترون‌ها اطلاعات را حمل نمی‌کنند بلکه این کار توسط فوتون‌ها انجام می‌شود. چنین محاسباتی بسیار سریع‌تر و با سرعت نور انجام می‌شود. البته کنترل نور بسیار دشوارتر است. توسعه فرآیندهای ساخت کلیدهای نوری که در امتداد کابل‌های فیبر نوری در خطوط ارتباطات از راه دور قرار می‌گیرند به محاسبات نوری نیز کمک نموده است. یکی از بزرگترین پیشرفت‌ها در این راه (که البته جنبه نمایشی دارد) تلاش برای ساخت یک اتصال میانی نوری در بین پردازنده‌های معمولی در تراشه‌های چند هسته‌ای است؛ مقادیر انبوهی از داده‌ها باید بین هسته‌هایی که به صورت موازی، اطلاعات را پردازش می‌کنند رد و بدل شود و سیم‌های الکترونیکی که به عنوان اتصالات میانی بین هسته‌ها به کار گرفته می‌شوند می‌توانند به یک چالش تبدیل شوند. اتصالات میانی فوتونی می‌توانند این شارش اطلاعات را بهبود دهند. هم‌اکنون محققانی از آزمایشگاه‌های هولت-پاکارد (HP) در حال بررسی طرح‌هایی هستند که می‌توانند تا چند صد برابر، اطلاعات بیشتری را تبادل نمایند.

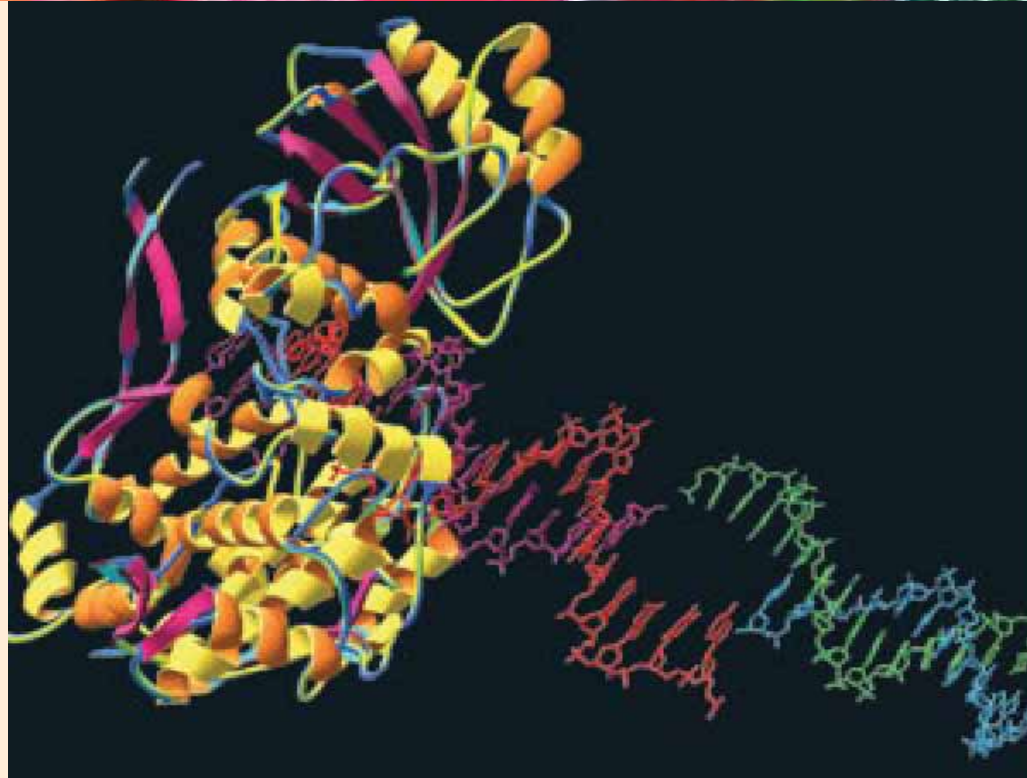
سایر گروه‌ها مشغول تحقیق بر روی اتصالات میانی نوری‌ای هستند که جایگزین سیم‌های مسی خواهند شد. سیم‌های مسی هم‌اکنون برای اتصال تراشه پردازنده به سایر اجزای درونی رایانه‌ها همانند تراشه‌های حافظه و درایوهای DVD به کار گرفته می‌شوند. مهندسانی از اینتل و دانشگاه کالیفرنیا در سانتا باربارا با استفاده از فرآیندهای معمولی ساخت نیمه رسانا، «لوله‌های داده» نوری از جنس فسفات ایندیوم و سیلیکون ساخته‌اند. با این حال، برای دستیابی به تراشه‌های رایانه‌ای کاملاً نوری به چندین اکتشاف مهم بنیادی نیاز است.

### محاسبات مولکولی: منطق آلی

در محاسبات مولکولی به جای ترانزیستورها، مولکول‌ها نشان دهنده یک‌ها و صفرها هستند. اگر چنین مولکولی همانند DNA،

رشته‌ای معلق از یون‌های کلسیم در یک محفظه خلأ می‌تواند محاسبات کوانتومی را انجام دهد.

محاسبات را میتوان  
در زمانی انجام داد که  
یک مولکول DNA  
(راست، سبز) داده‌ای  
در اختیار مولکول‌های  
دیانای نرمافزار (مرکز،  
قرمز) قرار می‌دهد  
که یک آنزیم Folk  
(نوار رنگی) می‌تواند  
پردازش نماید.



که اعمال حیاتی سلول‌های ما را هدایت می‌کنند. نکته شگفت‌آور این‌که در حالیکه تراشه‌ای در اندازه ناخن انگشت کوچک می‌تواند یک میلیارد ترانزیستور را در خود جا دهد؛ پردازشگری با همین ابعاد می‌تواند تریلیون‌ها رشته DNA را در خود جای دهد. این رشته‌ها، بخش‌های مختلف یک عمل محاسباتی را به طور همزمان پردازش نموده و با همکاری یکدیگر و از طریق به اشتراک گذاشتن نتایج، جواب نهایی را تعیین می‌کنند. علاوه بر اینکه تعداد اجزای یک تراشه زیستی، چندین هزار برابر بیشتر است؛ چنین تراشه‌ای می‌تواند امکان پردازش موازی را به شکلی وسیع فراهم آورد.

نخستین مدارهای زیستی از طریق تشکیل و شکستن پیوند در بین شاخه‌ها، اطلاعات را پردازش می‌کردند. هم‌اکنون محققان در حال توسعه «برنامه‌های رایانه‌ای ژنتیک» هستند که می‌توانند در درون یک سلول، حیات داشته و تکثیر شوند. چالش موجود در این راه، یافتن راه‌هایی برای برنامه‌ریزی مجموعه‌های متشکله از اجزای زیستی است تا به شکلی مطلوب رفتار نمایند. چنین رایانه‌هایی در نهایت قادرند تا به جای قرار گرفتن بر روی میز کار، در جریان خون شما قرار بگیرند. گروهی از محققان از مؤسسه علوم ویزمن در رهوت رژیم اشغالگر قدس، یک پردازشگر ساده از DNA ساخته‌اند و هم‌اکنون در تلاشند تا این اجزا را در درون یک سلول زنده راه‌اندازی نموده و به کار بگیرند و در عین حال، ارتباط اجزا را با محیط اطراف آن سلول برقرار سازند.

#### پی‌نوشت:

۱- مقاله مفصلی در این مورد در ماهنامه فناوری نانو شماره ۱۴۹، اسفند ۸۸ به چاپ رسیده است.

منبع: Scientific American, INC., ۲۰۰۹, p. ۸۲-۸۹

در یک الکترون منفرد نیز وجود داشته باشند؛ در این صورت، یک حالت کوانتومی منحصربه‌فرد به وجود می‌آید که یک برهم نهی از صفر و یک نامیده می‌شود. با بهره‌گیری از حالت‌های برهم نهی، یک مجموعه از الکترون‌ها می‌توانند نسبت به یک رشته از ترانزیستورهای سیلیکونی که تنها دارای حالت‌های بیت معمولی هستند به صورت نمایی، اطلاعات بیشتری را به نمایش بکشند. دانشمندان دانشگاه کالیفرنیا در سانتا باربارا با گیراندازی الکترون‌ها در محفظه‌های حک شده در درون الماس، چند گیت منطقی متفاوت تولید کرده‌اند.

در یک راهکار دیگر که توسط دانشگاه مرلند و مؤسسه ملی استانداردها و فناوری ایالات متحده دنبال می‌شود یک رشته از یون‌ها در بین بشقابک‌های باردار به شکل معلق قرار داده می‌شوند و لیزرها، جهت‌گیری مغناطیسی هر یون (qubit‌های آنان) را عوض می‌کنند. با توجه به اینکه نوع فوتونی که یک یون تابش می‌کند به نوع جهت‌گیری آن یون بستگی دارد؛ یک گزینه دوم، آشکارسازی انواع فوتون‌های تابشی از یون است.

علاوه بر بهره‌مندی از ویژگی برهم نهی، اجزای کوانتومی می‌توانند «همبسته» شوند؛ به این معنا که حالت‌های اطلاعاتی در بین تعداد زیادی از بیت‌های کوانتومی به یکدیگر وابسته و متصل می‌شود. به این شکل، ابزارهای قدرتمندی برای پردازش اطلاعات و انتقال آن از یک نقطه به نقطه دیگر فراهم می‌شود.

#### محاسبات زیستی: تراشه‌هایی که زنده‌اند

محاسبات زیستی، ساختارهایی که معمولاً در اجزای زنده یافت می‌شوند را جایگزین ترانزیستورها می‌نماید. مولکول‌های DNA و RNA از جمله محبوب‌ترین این ساختارها هستند. این مولکول‌ها در حقیقت مسئول ذخیره‌سازی «برنامه‌هایی» هستند