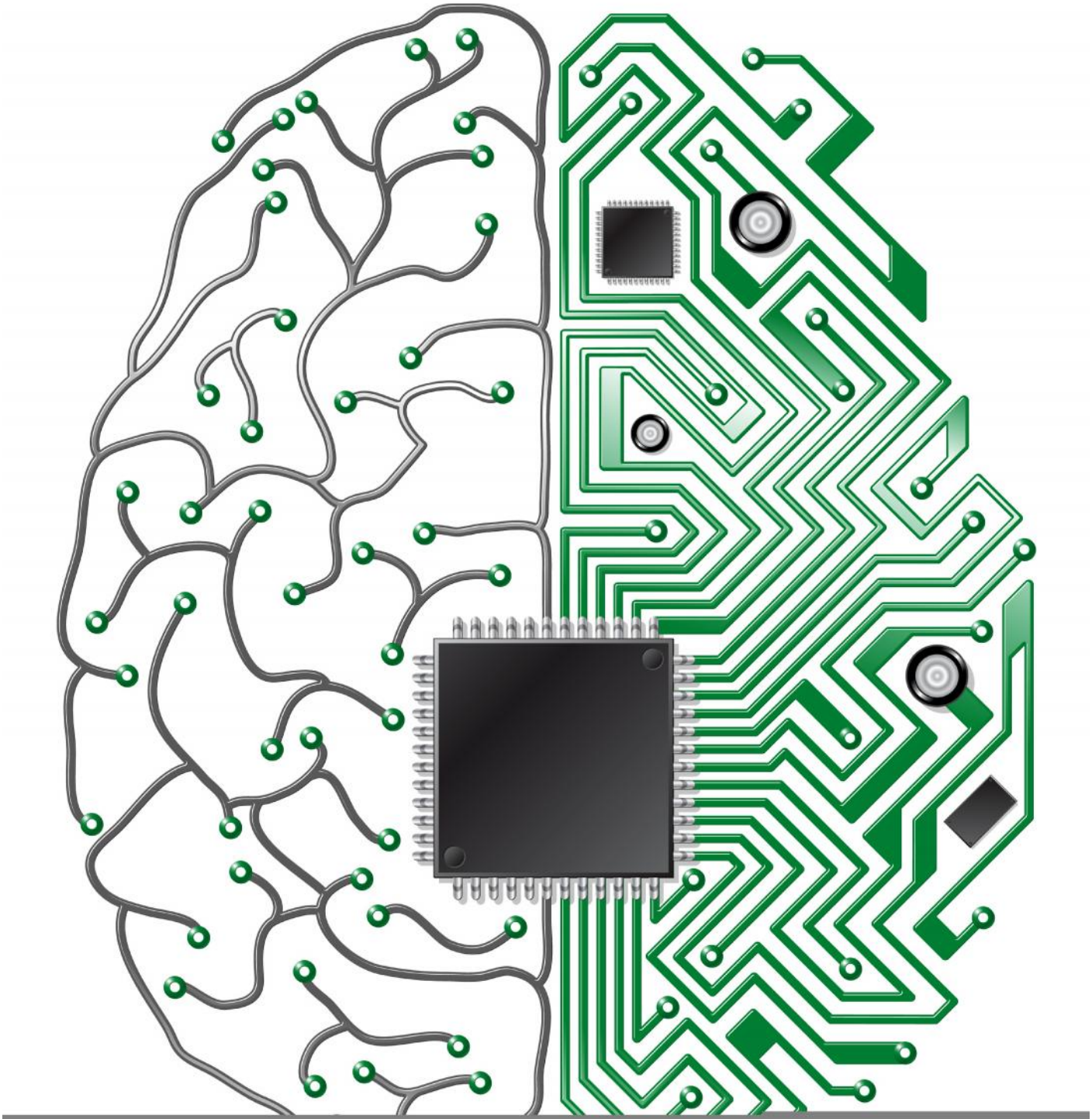


مغز رایانه ها، کوچکتر و باهوشتر

نوشته: پیمان برغندان

Peiman.barghandan@gmail.com

www.ketabnak.com

ری کرزویل[1]، مخترع، دانشمند و آینده پژوه امریکایی در بخشی از فیلم مستند "انسان برین" (Transcendent Man) که درباره زندگی، کارها و افکارش ساخته شده، می گوید:" در سال ۱۹٦۵ به دانشگاه MIT[2] وارد شدم و به این خاطر آنجا رفتم که در آن زمان به قدری پیشرفته بود که برای خودش یک رایانه داشت. رایانه نیمی از یک ساختمان را اشغال کرده بود، ۱۱ میلیون دلار قیمت داشت و بین هزاران دانشجوی مشتاق به اشتراک گذاشته شده بود، باید روابطی داشتید تا می توانستید به آن نزدیک شوید. رایانه ی موجود در گوشی همراهی که در جیب شماست امروزیک میلیون بار کوچکتر، یک میلیون بار ارزانتر و هزار بار قدرتمندتراست، این یعنی افزایش یک میلیارد برابری در نسبت هزینه به کارایی رایانه ها که ما در چهل سال گذشته شاهدش بوده ایم. پس ما ظرف ٤۰ سال از چیزی به اندازه ی یک ساختمان به چیزی رسیده ایم که در جیبتان جا میشود و در ۲۵ سال آینده از چیزی که در جیبتان جا میشود به چیزی به اندازه ی یک گلبول خون خواهیم رسید."

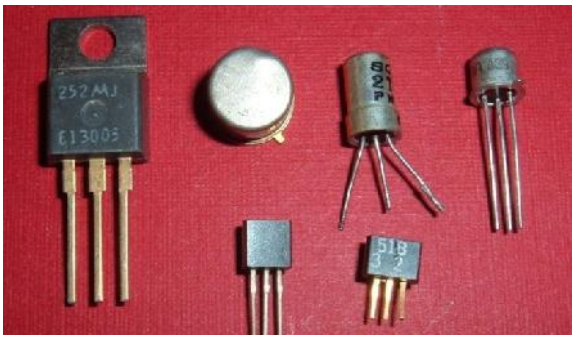
او ریز روباتهایی به اندازه ی گلبولهای خون را که در شریانهای ما شناور خواهند شد و ما را به ماشینها پیوند خواهند داد سنگ بنای پیشبینی های علمی خود درباره ی آینده میداند.اما اینکه آیا ساختن دستگاههایی هوشمند در این مقیاس شدنی است پرسشی است که دانشهای گوناگونی را به چالش میکشد که هرکدام باید بخش مربوط به خود را پاسخ دهند. ما در اینجا می کوشیم به بخشی از پاسخ این پرسش که به هوشمندی این دستگاه فرضی مربوط می شود،یعنی آنچه درباره کوچکتر شدن واحد پردازش مرکزی (CPU) آن است نگاهی بیاندازیم.

[1] Ray Kurzweil
[2] Massachusetts Institute of Technology انستیتو تکنولوژی ماساچوست

ترانزیستور، سنگ بنای کوچک سازی

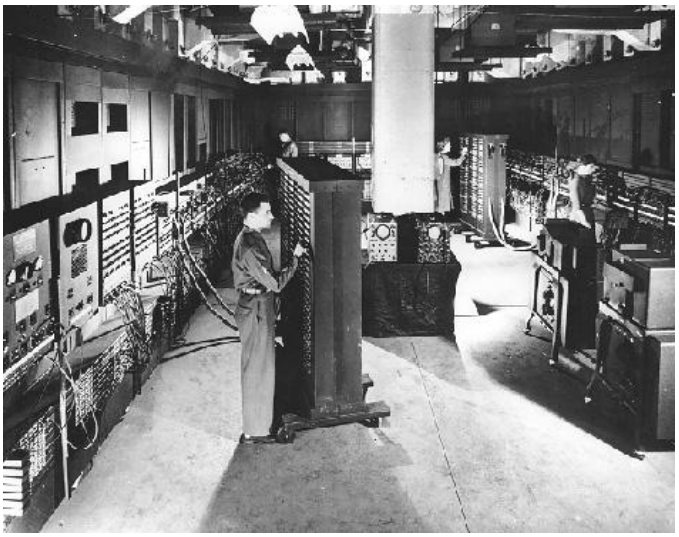
نخستین تصویری که در سالهای پیش از دبستان از تلویزون در ذهن من نقش بسته چیزی بود بزرگتر از یک جاکفشی امروزی، که در آن سن دستم به بالای آن هم نمیرسید، با بدنه و درهای چوبی که حتی قفل و کلید هم داشت، چند سال بعد دبستان بودم که یک تلویزیون چهارده اینچ که براحتی میتوانستم آن را بلند کنم، جایگزینش شد. قطعه ای که باعث شد صنعت بتواند تلویزیون را تا آن اندازه و حتی کوچکتر از آن بسازد وهمچنین رادیوی پدر بزرگ که دو، سه کیلو وزن داشت را به چیزی تبدیل کند که در کف دست جا بگیرد، یکی از بزرگترین دستاوردهای دانش در قرن بیستم به نام ترانزیستور است که در تمام طول قرن گذشته ی میلادی در حال پیشرفت بوده. از سال ۱۹۲۸ که نخستین ترانزیستور اثر میدان در آلمان ثبت اختراع شد تا سال ۱۹۵۴ که نخستین رادیوی ترانزیستوری در آمریکا به تولید انبوه رسید و سال ۱۹۵۵ که سونی اولین رادیوی ترانزیستوری خود را با خرید مجوز و دستورالعمل تولید ترانزیستور از آزمایشگاههای بل در آمریکا تولید کرد، تا به امروز تلاشی همه جانبه را می بینیم از سوی دانشمندان در سراسر جهان برای بهینه سازی ترانزیستور و دستگاههایی که در آنها به کار میرود.

چند نمونه لامپ خلاء


چند نمونه ترانزیستور

ترانزیستور در دستگاههایی مانند رادیو و تلویزیون، رادارها و ماشینهای محاسبه گر جانشین لامپهای خلا شد. مزیتهای ترانزیستور نسبت به لامپ خلا از جهت صنعتی این بود که در اندازه های کوچکتر تولید میشد بنا بر این دستگاههایی که در ساختشان بکار میرفت کوچکتر بودند، تولیدشان کاملا اتوماتیک بود و در حجم بالا تولید میشدند که در نتیجه هزینه ی تولید کاهش می یافت. از نظر کارایی هم ترانزیستور مزیتهای بسیاری داشت از جمله اینکه در ولتاژ کاری پایین تری کار می کرد، مانند لامپهای خلا دوره ی گرم شدن (بین ۱۰ تا ۶۰ ثانیه) نداشت و تلفات توان آن هم از نظر گرمایی و ولتاژ اشباع پایین بسیار کمتر بود. مزیتهای گفته شده و همچنین عمر بسیار بیشتر و توانایی کنترل جریانهای پر قدرت (ترانزیستورهای قدرت برای آمپرهای بالا)،

ترانزیستور را به جانشینی ایده آل برای لامپهای خلا تبدیل کرد و به تدریج از سال ۱۹۵۵ طی بیست سال در تمامی دستگاهها جای آن را گرفت.[۳]



انیاک، یکی از نخستین رایانه ها

با استفاده از ترانزیستور دستگاههای صوتی تصویری نه تنها کوچکتر شدند بلکه به دلیل مصرف بسیار کمتر توانستند از باطری هم استفاده کنند که این انقلابی در توانایی جابجایی آنها به وجود آورد و از آن به بعد این دستگاههای قابل حمل مانند واکمن سونی فرهنگ مردم جهان را تحت تاثیر قرار دادند و پیش قراول وسایل ارتباطی همراه کنونی شدند ، اما اینها دستگاههایی آنالوگ بودند که در مدارهای هر یک چند ترانزیستور جانشین لامپهای خلا شد که نقش تقویت کننده و تنظیم کننده ی جریان را بازی میکردند. در مقابل دستگاههای محاسبه گری بودند که براساس مدارهای منطقی دیجیتال ساخته شده بودند و در ساخت هر یک هزاران لامپ خلا بکار رفته بود. برای نمونه انیاک[۴] یکی از نخستین رایانه ها که در سال ۱۹۴۶ ساختش در امریکا به پایان رسید ۱۷۴۶۸ لامپ خلا داشت، تصور کنید که دستگاهی که این تعداد لامپ خلا را جا داده به چه بزرگی میتواند باشد و چه مقدار گرما تولید کند. در حقیقت انیاک ۲۷ تن وزن داشت ویکصد و پنجاه کیلو وات برق مصرف میکرد (به اندازه ی مصرف ۱۲۵ کولر گازی با توان ۱۲۰۰ وات) و با هزینه ی ۵۰۰ هزار دلار آن زمان (معادل تقریبی ۶ میلیون دلار امروزی) ساخته شد و مساحت ۱۶۷ مترمربع را اشغال میکرد. با این هیکل غول پیکر و مصرف بالای برق، این رایانه تنها میتوانست پنج هزار عمل جمع، ۳۵۷ عمل ضرب یا ۳۸ عمل تقسیم را در یک ثانیه انجام دهد و فرآیند برنامه ریزی آن توسط چند نفر بین چند ساعت تا چند روز زمان میبرد. با این حال در دوران کاریش تا سال ۱۹۵۵ از آن در عرصه های مختلفی مانند پیشبینی وضع هوا، بررسی اعداد تصادفی، تراکم گرمایی، طراحی تونل باد، محاسبه مسیر پرتاب گلوله های توپ و ... استفاده شد و طبق برآوردهای انجام شده در آن مدت محاسباتی که انجام داده بود بیش از کل محاسباتی بود که همه ی انسانها تا سال ۱۹۴۵ انجام داده بودند، از این رو در سال ۱۹۸۷

[۳] ترانزیستور از ویکی پدیای فارسی

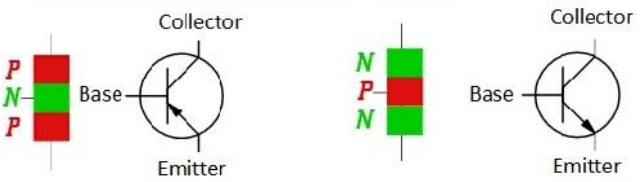
[۴] ENIAC

موسسه ی مهندسان برق و الکترونیک امریکا (IEEE) آنرا یکی از نقاط عطف [تاریخ برق و الکترونیک] نام نهاد.[5]

اینکه رایانه ی موجود در یک تلفن همراه هوشمند امروزی هزاران بار از انیاک سریعتر است، حافظه ی بسیار بیشتری دارد، تنها با مصرف ناچیز یک باتری کوچک کار میکند و از همه مهمتر زیر یک هزار دلار قیمت دارد،همه از برکت وجود ترانزیستور است. پیشرفت و نوآوری در ساخت ترانزیستور به پیشرفت برق آسای دستگاههای دیجیتالی منجر شده که در مدارهای مجتمعشان هزاران و حتی میلیونها ترانزیستور دارند.

شکل نمادین ترانزیستوراتصال دوقطبی (BJT)

نخستین ترانزیستوری که به تولید انبوه رسید، در دو نوع مثبت ومنفی



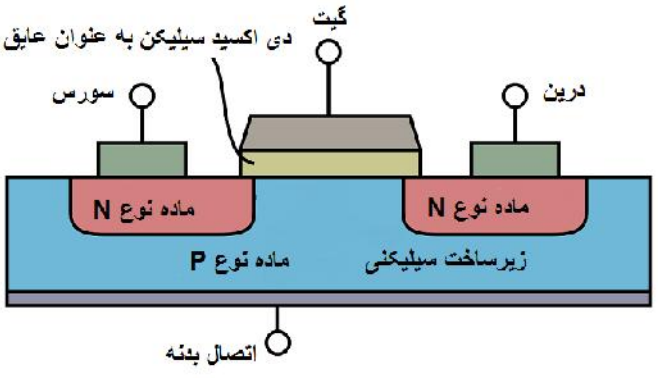
با اتصال جهت مثبت جریان به بیس جریان بین کلکتور و امیتر برقرار میشود

با اتصال جهت منفی جریان به بیس جریان بین کلکتور و امیتر برقرار میشود

در ساده ترین شکل ممکن میتوان ترانزیستور را دستگاهی نیمه هادی تعریف کرد که کار آن تقویت یا سویچ (قطع و وصل) سیگنال الکترونیکی و جریان الکتریکی است و بلورهای عناصری مانند ژرمانیوم و سیلیسیوم با درجات مختلف خلوص، که مواد نوع N و P نامیده می شوند، عناصر اصلی آن را تشکیل میدهند. ترانزیستورها سه پایه دارند که یکی گسیلنده ی الکترونها (Emitter) و دیگری جمع کننده ی آنهاست (Collector) و سومین پایه ی اتصال (Base) هم نقش کنترل کننده ی جریان را دارد، اساس کار آنها بر توانایی بلورهای نیمه هادی استوار است که در حالت عادی الکترونهای آزاد کمی دارند و رسانای الکتریسیته نیستند اما در صورتی که در یک سو که به پایه ی کنترل کننده (Base) متصل است جریان یا ولتاژ (اختلاف پتانسیل) ایجاد شود این بلورها توانایی عبور جریان از ورودی به خروجی را پیدا میکنند. ترانزیستورها گونه های مختلفی دارند، از جمله ی آنها ترانزیستور اثر میدان یا "Fet" (Field Effect Transistor) است، در این نمونه که سه پایه ی ورودی (به نام سورس معادل Emitter)، خروجی (به نام درین معادل Collector) و کنترل (به نام گیت معادل Base) دارد، پایه ی کنترلی یا همان گیت هیچ جریانی مصرف نمیکند و تنها با به وجود آمدن ولتاژ در آن جریان بین سورس و درین برقرار میشود، در واقع خود جریان الکتریکی گیت مستقیم به دو پایه ی دیگر متصل نمیشود و این اثر میدان مغناطیسی جریان در گیت است که قسمتی از نیمه رسانا را به رسانا تبدیل میکند وباعث

[5] http://en.wikipedia.org/wiki/ENIAC

می شود جریان الکترونها از ورودی (سورس) به خروجی (درین) برقرار شود. بنا بر این جریان در گیت هیچ تاثیری روی جریان بین سورس و درین ندارد و تنها مانند یک سویچ آن را قطع و وصل میکند.



برشی از یک ترانزیستور Mosfet نوع N

اما از طرفی ترانزیستورهای اثر میدان معمولا بسیار حساس هستند وحتی با الکتریسیته ی ساکن بدن هم تحریک میشوند بنابراین مدارهای ساخته شده با آنها دربرابر نویز آسیب پذیرند. برای کاهش آسیب پذیری این مدارها، گونه ای ترانزیستور اثر میدان به نام ترانزیستور اثر میدانی اکسید فلزی نیمه هادی یا به اختصار ماسفت (MOSFET[۶])ساخته شد که علاوه بر سه اتصال گفته شده برای ترانزیستورهای اثر میدان، برای کاهش نویز یک اتصال بدنه هم دارد. همچنین این گونه ترانزیستورها در دو نوع N , P تولید میشوند که در نوع N آن زمانی جریان از سورس به درین برقرار میشود که گیت نسبت به سورس مثبت باشد و در نوع P برعکس، زمانی که گیت منفی باشد جریان برقرار میشود. لا مپهای خلا تنها معادل گونه ی منفی ترانزیستورها هستند و گونه ی لامپ خلا معادل ترانزیستورهای مثبت وجود ندارد و این هم یکی دیگر از مزیتهای ترانزیستورهاست. فناوری ساخت مدارهای مکمل متقارنی که با استفاده از این دو نوع ترانزیستور ساخته میشوند "نیمرسانای اکسید فلزی مکمل" یا (CMOS[۷]) نامیده میشود.

توانایی سویچ کردن و تشکیل مدارهای مکمل متقارنِ ترانزیستورهای اثر میدان آنها را برای مجتمع شدن در مدارهای دیجیتال ایده آل میسازد جایی که چند عدد از آنها به هم می پیوندند تا یک گیت منطقی را تشکیل دهند که معرف یک تابع جبر بولی است و یک دستور مشخص را روی ورودی خود اعمال میکند. یک مدار مجتمع یا IC (Integrated Circuit) ممکن است از یک تا هزاران گیت منطقی تشکیل شده باشد. با پیشرفت فناوری و کوچک سازی هرچه بیشتر ترانزیستورها امکان اینکه تعداد هرچه بیشتری از آنها را در یک مدار مجتمع جا داد و در نتیجه توانایی انجام دستورات بیشتری را به آن داد، فراهم شده است. تراشه هایی که امروزه به عنوان واحد پردازش مرکزی (CPU) رایانه ها تولید میشوند از پیشرفته ترین و پرترانزیستور ترین مدارهای مجتمع هستند و در نتیجه تعداد دستورات بسیاری را در زمان کوتاهی اجرا میکنند.

[۶] Metal Oxide Semiconductor Field Effect Transistor
[۷] Complementary Metal Oxide Semiconductor (CMOS)

گوردن مور،از ترانزیستور تا تراشه

گوردن مور از بنیان گذاران اینتل

گوردن مور[۸]، مردی که نامش با صنعت تراشه سازی گره خورده، در سال ۱۹۲۹ در سان فرنسیسکو دیده به جهان گشود. او دوره ی لیساتس شیمی خود را تا سال ۱۹۵۰ در دانشگاه کالیفورنیا گذراند و دکترای شیمی خود را با رشته ی فرعی فیزیک از موسسه ی فناوری کالیفورنیا (Caltech) در سال ۱۹۵۴ دریافت کرد، پس از آن تا سال ۱۹۵۶ در آزمایشگاه فیزیک کاربردی دانشگاه جان هاپکینز فوق دکترای خود را گذراند. از سوی دیگر در همان سال ۱۹۵۶ ویلیام شاکلی که به همراه دو همکار دیگرش در آزمایشگاههای بل برای اختراع ترانزیستور جایزه ی نوبل فیزیک را دریافت کرد، شرکت ترانزیستور شاکلی را درکالیفرنیا بنیان نهاد، نخستین شرکت از این دست درجایی که بعدها با نام دره ی سیلیکن به شهرت جهانی رسید. گوردن مور هم به همراه تعدادی دیگر از موفق ترین دانش آموختگان بهترین دانشگاهها به او پیوستند، اما همکاری آنها دیری نپایید و تنها یک سال بعد در سال ۱۹۵۷ به دلیل مدیریت نامناسب شاکلی، گروهی موسوم به "هشت خیانتکار" که گوردن مور هم در میانشان بود از شرکت ترانزیستور شاکلی جدا شدند و با همکاری سرمایه داری به نام شرمان فیرچایلد شرکتی به نام "نیمه هادی فیرچایلد" بنیان نهادند که یکی ازتاثیر گذار ترین شرکتها در صنعت مدارهای مجتمع بوده و غولهای تراشه سازی امروزی از جمله اینتل و ای ام دی مستقیم یا غیر مستقیم از آن نشأت گرفته اند. در آن سالها رقابتی سخت و نفس گیر میان شرکتها و بین پرسنل درون شرکتها برای توسعه ی سریعتر و بهتر ترانزیستور که تازه اختراع شده بود و همچنین یافتن کاربردهای دیگر آن، جریان داشت. آن زمان ترانزیستورها به شکلی ساخته میشدند که یک لایه عنصر ژرمانیوم در وسط به عنوان نیمه هادی عمل میکرد و رابطه میان دو قطعه ی ورودی و خروجی که به آن پیوند خورده بودند را برقرار میکرد. نخستین ترانزیستور ساخت شرکت نیمه هادی فیر چایلد اما از نوع ترانزیستور مسطح بود که بر بستر سیلیکن ساخته میشد و چند ایراد داشت که در سال ۱۹۵۸ با یک پیشرفت بسیار بزرگ برطرف شدند و ساخت این ترانزیستورها که نسبت به ترانزیستورهای ژرمانیوم کارایی بالاتری هم داشتند آسانتر و ارزانتر شد. در همان سال ۱۹۵۸ جک کیلبی از شرکت تگزاس اینسترومنتز یک مدار مجتمع بر پایه ی عنصر ژرمانیوم ساخت در حالی که دوسال دیگر طول کشید تا رابرت نویس، فیزیکدانی که درگروه هشت خیانتکار همراه گوردن مور به "نیمه هادی فیرچایلد" آمده بود، برای این شرکت نخستین مدار مجتمع بر پایه ی سیلیکن را بسازد که شامل

[۸] Gordon Earle Moore

چهار ترانزیستور بود. با اینکه مدار مجتمع جک کیلبی دو سال پیشتر ساخته شده بود و حق اختراع ایالات متحده را هم دریافت کرده بود اما صنعت نیمه هادی مدار مجتمع شرکت فیرچایلد را بر تگزاس اینسترومنتز برگزید چرا که اتصال ترانزیستورهای مسطح در مدارهای مجتمع سیلیکنی از طریق لایه ی نازکی از سیلیکن که بر روی آن قرار گرفته اند برقرار میشود در حالی که در مدارهای مجتمع شرکت تگزاس اینسترومنتز اتصال ترانزیستورها با سیم کشیهای بسیار ظریفی انجام میشد که ساخت و توسعه ی آن را بسیار مشکل میکرد. ساخت مدار مجتمع سیلیکنی توسط رابرت نویس باعث رشد بسیار سریع شرکت فیر چایلد شد و این رشد بخش تحقیق و توسعه را به دنبال داشت که گوردن مور در آن مشغول به کار بود و بخشی از کار آن توسعه ی فناوری ماسفت بود، هرچند ساخت مدار مجتمع بر پایه ی فناوری نیمه هادی اکسید فلزی MOS در آن شرکت انجام نشد.[۹]

گوردن مور و قانون کوچک سازی

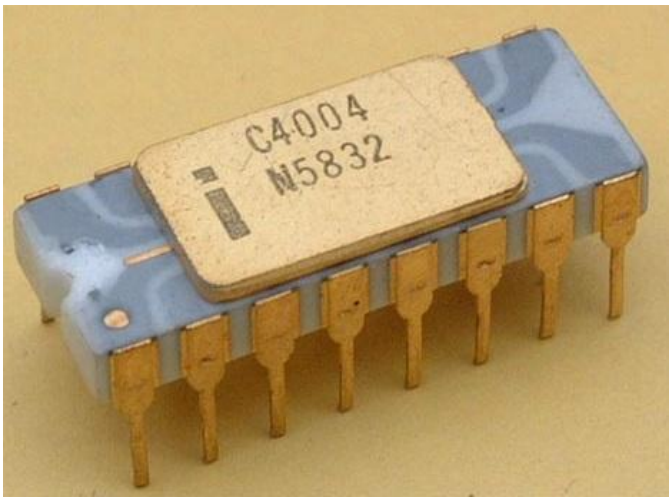
پیش بینی توانایی هر چه بیشتررایانه ها در انجام محاسبات و هوشمندی هر چه بیشتر آنها حتی در سالهای دهه ی ۶۰ میلادی هم چیز نادری نبود و دانشمندان و مهندسان و حتی نویسندگان داستانهای تخیلی در این باره می نوشتند. اما پیش بینی گوردن مور که خود شیمیدان و فیزیکدان بود و از ابتدای شکل گیری صنعت جوان و بسیار پویای ترانزیستور در بخش تحقیق و توسعه مشغول بود، با همه ی تخیلات دیگران در باره ی توانایی رایانه های آینده متفاوت بود چرا که نخست، پیش بینی او درباره ی یک جزء (هرچند بسیار حیاتی) از رایانه ها صورت گرفت و دوم اینکه پیش بینیش بر مشاهداتش از قلب این صنعت استوار بود و علاوه بر دانش فنی درباره ی ساختار مواد مورد استفاده، با تنگناهای مدیریت انسانی و سرمایه گذاری برای توسعه ی یک محصول بسیار پیشرفته هم آشنایی داشت. او به سال ۱۹۶۵ در نخستین مقاله ی خود در این باره در مجله ی الکترونیک با عنوان " انباشتن اجزای بیشتر در مدارهای مجتمع" نوشت حداقل هزینه ی ساخت هر یک از اجزای مدار مجتمع تا آن زمان هر یکسال کم و بیش نصف شده و او هیچ دلیلی نمیبیند که این روند اگر شتاب نگیرد، حداقل همینگونه ادامه پیدا نکند. گرچه در دراز مدت از نظر او اطمینان به ثبات این روند کمتر میشد اما از نظر فنی مانعی برای پیشرفت با این گام در ده سال آینده نمیدید، که بر این اساس او انتظار داشت ده سال پس از آن در سال ۱۹۷۵ تعداد اجزایی که بتوان آنها را با حداقل قیمت بر روی یک تراشه جا داد به ۶۵۰۰۰ عدد برسد.(مقایسه بکنید با تعداد اجزای نخستین مدار مجتمع سیلیکن ساخته شده در سال ۱۹۵۸ توسط رابرت نویس که از چهار ترانزیستور تشکیل شده بود و رشد نمایی و پرشتاب این صنعت را نشان می دهد.)

[۹] http://en.wikipedia.org/wiki/Fairchild_Semiconductor & http://en.wikipedia.org/wiki/Gordon_Moore

مور با گذشت زمان برای بالا بردن دقت قانون خود براساس مشاهدات وتجربیات جدیدش اندکی آن را دستکاری کرد از جمله مهم ترین آنها در سال ۱۹۷۵ بود که پیش بینی خود را به دو برابر شدن اجزای مدار مجتمع با همان هزینه در هر دوسال تغییر داد. با این حال مقاله ی نخست او در سال ۱۹۶۵ چنان اهمیتی داشت که شرکت اینتل در سال ۲۰۰۵ برای یک نسخه ی اصل از مجله ی الکترونیک که مقاله در آن چاپ شده بود، ۱۰ هزار دلار پراخت. [۱۰]

تولد غول تراشه ساز

رابرت نویس و گوردن مور تا سال ۱۹۶۸ در فیرچایلد باقی ماندند. در این سال رابرت نویس، که خود را برای رسیدن به پست مدیر عاملی شرکت آماده میکرد، با هیات مدیره دچار مشکل شد و به همراه گوردن مور که رییس بخش تحقیق و توسعه بود از آن شرکت جدا شدند. آنها به کمک سرمایه داری به نام آرتور راک شرکت اینتل را با سرمایه ی ۲/۵ میلیون دلاری بنا نهادند تا تنها بر روی رشته ی مورد علاقه ی خود یعنی تولیداتی بر مبنای مدارهای مجتمع سیلیکنی متمرکز شوند و به همین دلیل آن را الکترونیک مجتمع (Integrated Electronic) یا به اختصار اینتل نام نهادند. اندکی بعد اندرو گروو (که در دهه ی ۸۰ و۹۰ میلادی مدیر اجرایی شد) و لس واداس از همکارانشان در تحقیق و توسعه ی فیر چایلد هم به آنها پیوستند و به همراه خود فناوری گیت نیمه هادی اکسید فلزی (MOS Silicon Gate Technology-SGT) را هم، که یک فناوری انقلابی در آن زمان محسوب میشد و تازه در بخش تحقیق و توسعه ی فیر چایلد ساخته شده بود، برای اینتل به ارمغان بردند.



اینتل ٤٠٠٤
نخستین پردازنده ی تجاری که به بازار عرضه شد

با اینکه اینتل نخستین ریزپردازنده تجاری (اینتل ۴۰۰۴) را در سال ۱۹۷۰ به بازار فرستاد و در سال ۱۹۷۴ هم نخستین پردازنده ای که به شکل گسترده در صنعت مورد استفاده قرار گرفت (اینتل ۸۰۸۰) را ساخت، در تمام دهه ی ۷۰ میلادی تمرکزش بر ساخت تراشه های RAM بود تا اینکه در سال ۱۹۸۳ درآمد اینتل از این بخش به دلیل رقابت شدید تولیدکنندگان نیمه هادی ژاپنی کاهش بسیاری پیدا کرد. در همین زمان استقبال بازار از رایانه های شخصی

[۱۰] http://en.wikipedia.org/wiki/Moore%27s_Law

آی بی ام که اینتل تهیه کننده ی پردازشگرهای آن بود اندرو گروو مدیر اجرایی وقت را بر آن داشت که با چرخشی در سیاستهای شرکت همه ی توان اینتل را بر تولید تراشه های سیلیکن پردازشگر متمرکز کند.

یک ویفر ۳۰۰ میلیمتری که بر روی آن die های ساخته شده با فناوری ٤٥ نانومتری دیده می شوند.

در دهه ی هفتاد میلادی پردازنده های اینتل ۴۰۰۴، ۸۰۰۸ و ۸۰۸۰ درآمد زایی زیادی برای اینتل نداشتند. اما در اواخر آن دهه با ساخت پردازنده ی ۸۰۸۶ و گونه ی ۸۰۸۸ آن ، یک کارزار بازاریابی در اینتل برای یافتن مشتری برای تراشه های جدید به راه افتاد که نام مستعار "ماموریت ایجاد علاقه" را برروی آن نهادند. یکی از موفقیتهای این کارزار بازاریابی که در زمان خود اهمیتش دانسته نشد طرح جدید آی بی ام به نام رایانه ی شخصی یا به اختصار (PC) بود که قرار بود برای دستیابی این شرکت به بازار رایانه های شخصی چون کمودور PET ، آتاری ، Apple II و... ساخته شود چرا که تا آن زمان تمرکز آی بی ام تنها بر رایانه های بزرگ (مین فریم) بود که آنها را به شرکتها اجاره میداد یا می فروخت. در سال ۱۹۸۱ نخستین رایانه ی شخصی آی بی ام (IBM PC) با پردازنده ی ۸۰۸۸ اینتل به بازار عرضه شد وبه سرعت به موفقیت بسیار زیادی دست یافت، این موفقیت اینتل را تشویق کرد که در سال ۱۹۸۲ پردازنده ی ۸۰۲۸۶ را بسازد که ماندگاریش را در قلب رایانه های آی بی ام در طول دهه ی ۸۰ تضمین کرد. نقش حیاتی بخش پردازنده برای شرکت اینتل زمانی مشخص شد که همانگونه که گفتیم در سال ۱۹۸۳ درآمد اینتل از بخش رم به مقدار زیادی کاهش یافت و این شرکت بخش بزرگ نیروی خود را تا به امروز بر ساخت تراشه های پردازنده متمرکز کرده است.

اینتل از جمله معدود شرکتهایی است که علاوه بر طراحی پردازنده هایش خود نیز به ساخت آنها می پردازد و کارخانه ساخت تراشه (Fab مخفف Fabrication Plant) دارد. بسیاری از شرکتهای تراشه ساز دارای فناوری پیشرفته که غیر سازنده (Fabless) نامیده می شوند تنها به طراحی تراشه های خود میپردازند و ساخت آنها را به بخش دیگر صنعت به نام ریخته گری نیمه هادی (Semiconductor Foundry) می سپارند. تراشه های نیمه هادی در تعداد بسیار بر روی بسترهایی گرد از سیلیکن به شیوه ای ساخته می شوند که با لیتوگرافی نوری [۱۱] و

[۱۱] در فرآیند لیتوگرافی نوری یا طرح نگاری نوری (به انگلیسی: Photolithography) پس از نشاندن یک لایه پلیمری حساس به نور (پلیمر واسط یا پلیمر مقاوم) روی سطح زیرلایه، پرتو نور همگن از یک ماسک عبور کرده و طرحی روی پلیمر ایجاد می کند. در فرآیند طرح نگاری نوری پس از ایجاد طرح روی

فرایندهای شیمیایی مدارها و اجزای طراحی شده، لایه لایه بر روی آن بستر تشکیل شوند. بستر سیلیکونی که اجزای مدار روی آن پیاده شده است را ویفر (Wafer) می گویند و شامل شمار زیادی تراشه خام است به نام (Die) که باید از هم جدا شوند تا بر روی قطعاتی از فلز یا پلاستیک قرار بگیرند و اتصال آنها با پایه هایشان برقرار شود. محصول نهایی IC ها و پردازنده هایی هستند که در بازار می بینیم. قطر ویفرها بر خلاف اندازه ی Dieها با پیشرفت فناوری بیشتر و بیشتر می شود بنا بر این از هر ویفر تعداد بیشتری تراشه بدست می آید و سود آوری برای شرکتهای سازنده مانند اینتل افزایش پیدا می کند. هم اکنون پیشرفته ترین تراشه ها با فناوری ۲۲ نانو متری بر روی ویفرهای ۳۰۰ میلیمتری ساخته می شوند و قرار است در نسلهای آینده قطر ویفرها به ۴۵۰ میلیمتر افزایش پیدا کند. اما پیشرفت فناوری به سادگی هم امکان پذیر نیست و نیازمند پژوهش و تلاشی پیگیر است.[۱۲]

مصائب کوچک سازی

نخستین پردازنده ی تجاری جهان (اینتل ۴۰۰۴) که در سال ۱۹۷۰ به بازار عرضه شد با فناوری ۱۰ میکرومتری ساخته شده بود، در حالی که هر میکرومتر 10^{-6} متر یا به عبارتی یک میلیونیم متر برابر با یک هزارم میلی متر است، این به آن معنی است که کوچکترین جزء آن پردازنده تنها ۱۰ میکرومتر طول داشته، یعنی به اندازه ی قطر گلبول سفید بدن انسان و کمی بزرگتر از قطر ۷ میکرو متری گلبول قرمز. در مقایسه، ضخامت موی انسان که کوچکترین چیزی است که با چشم غیر مسلح میتوانیم ببینیم، ده برابر بیشتر از ترانزیستورهای آن پردازنده یعنی ۱۰۰ میکرومتر است.

از آن زمان تاکنون روندی نفس گیر در کوچک سازی اجزای پردازنده جریان دارد که شرکت اینتل یکی از پیشگامان آن است و تلاش میکند قانون گوردن مور، از بنیان گزاران خود، را که پیشبینی کرده بود با گذشت هر دوسال میتوان انتظار داشت که دو برابر اجزای بیشتری را با همان هزینه روی یک پردازنده جا داد، همچنان معتبر نگاه دارد.

هم اکنون جدید ترین پردازنده های اینتل ، سری Core که شامل i7,i5,i3 و با نام رمز Ivy Bridge خوانده شده با فناوری ۲۲ نانومتری تولید میشوند که جایگزین نسل قبلی با نام رمز Sandy Bridge شدند که با فناوری ۳۲ نانومتری تولید میشدند. هر نانومتر 10^{-9} متر یا به عبارتی یک میلیادم متر، یک میلیونیم میلی متر و هزار بار از

پلیمر واسط، نواحی نور دیده، با مقاومت در برابر خوردگی، واسطه انتقال طرح به لایه زیرین می شوند؛ این فرآیند بسیار شبیه به مهرسازی با نور فرابنفش است و در صنعت ساخت ادوات الکترونیک نقش مهمی بازی می کند.-طرح نگار نوری از ویکی پدیای فارسی

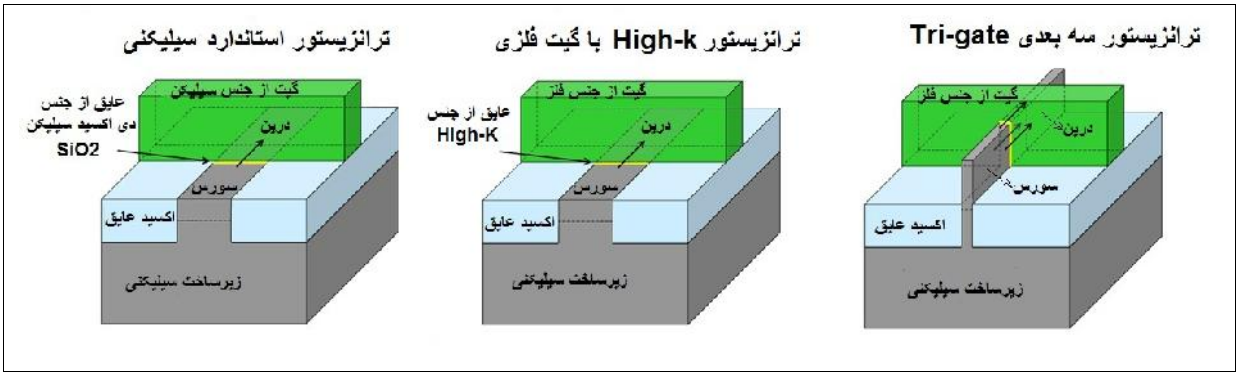
[۱۲] http://en.wikipedia.org/wiki/Intel

یک میکرو متر کوچکتر است. بنا بر این اگر پردازنده ای با فناوری ۱۰ نانومتری تولید شود (چیزی که اینتل وعده آن را برای سال ۲۰۱۵ داده است) ترانزیستورهای آن پردازنده هزار بار از نخستین پردازنده ساخت اینتل کوچکتر خواهند بود، دستاوردی که طی سالهای ۱۹۷۰ تا ۲۰۱۵ یعنی ظرف ۴۵ سال بدست آمده است.

روند کوچک سازی اجزای پردازنده هرگز کاری با یک روال مشخص نبوده و در هر زمان نیازمند پشتیبانی قوی پژوهشی و نوآوریهای پی در پی بوده، چرا که در هر مرحله، کوچک سازی مشکلات جانبی خرد و کلان دیگری را به همراه داشته که گاهی چشم انداز ادامه ی این روند را تیره و تار می کردند و اعتبار قانون مور را به چالش می کشیدند. از جمله ی این مشکلات که پژوهشگران شرکت اینتل با غلبه بر آن توانستند پردازنده های نسل پیش از Sandy Bridge یعنی Penryn را در سال ۲۰۰۷ با فناوری ۴۵ نانو متری به تولید برسانند، مشکل نشت جریان الکتریکی از گیت ترانزیستور با کوچک شدن هر چه بیشتر آن بود.

این فناوری که کای بزرگ (high-K) نام گرفت شامل دگرگونی در مواد تشکیل دهنده ی ترانزیستور بود، کاری که گوردن مور آن را " بزرگترین تحول در فناوری ترانزیستور" از اواخر دهه ی ۶۰ میلادی دانست و کارکرد مناسب پردازنده هایی با اجزای کوچکتر از ۴۵ نانو متر را تضمین کرد.

گفتیم که ترانزیستور اثر میدان اکسید فلز یا ماسفت که به عنوان سویچ در ساخت تراشه های پردازنده به کار میرود دارای سه اتصال است که برقراری جریان در اتصال گیت باعث برقراری جریان میان دو اتصال دیگر یعنی منبع (source) و مسیر تخلیه (Drain) خواهد شد. اما حالت ایده آل در این نوع ترانزیستور این است که اتصال گیت هیچ جریانی مصرف نکند و تاثیری بر جریانی که از منبع به مسیر تخلیه جاری میشود نداشته باشد تا ترانزیستور تنها به عنوان یک سویچ قطع و وصل کار کند. برای اینکار از لایه ای عایق از جنس دی اکسید سیلیکن (SiO_2) استفاده میشد که در اواسط دهه ی ۹۰ میلادی پژوهشگران اینتل و دیگر شرکتهای صنعت تراشه سازی متوجه شدند با کوچک شدن ترانزیستورهای تراشه این لایه هم به انتهای حد کوچک سازی خود نزدیک می شود. در تراشه هایی که از سال ۲۰۰۱ تولید شدند ضخامت این لایه به پنج اتم رسیده بود که تقریبا خصوصیت نارسانایی خود را از دست داده بود و الکترونها تا حدودی از خلال آن نشت می کردند و باعث هدر رفتن توان و ایجاد گرمای ناخواسته می شد. پژوهشگران اینتل پس از سالها تحقیق برای رفع این مشکل لایه ی اکسید گیت را با ماده ای که ضریب نارسانایی بیشتری داشت (High – K) جایگزین کنند و جنس خود گیت را هم برای ترکیب بهتر با آن از سیلیکن به فلز تغییر دادند.



برای مقابله با یکی دیگر از مشکلات کوچک سازی ترانزیستورها، در سال ۲۰۱۱ مهندسان اینتل نوآوری دیگری به نام ترانزیستور سه بعدی (Tri-Gate) را معرفی کردند که انتقال از فناوری ۳۲ نانو متری به ۲۲ نانو متری و کوچکتر از آن را ممکن کرد. تمامی کارکرد ترانزیستور بستگی به لایه ی نیمه رسانای آن دارد که در میان سه اتصال گیت، منبع (source) و مسیر تخلیه (Drain) قرار می گیرد و با تبدیل شدن به رسانا در هنگام برقراری جریان در گیت اتصال منبع و مسیر تخلیه را برقرار می کند. اما با کوچک شدن اندازه ی تراشه ، تمامی اجزای آن از جمله گیتها هم کوچک و کوچکتر می شوند تا جایی که مقداری از نیمه رسانا که میتوانند به رسانا تبدیل کنند، برای برقراری جریان، به اندازه ای کوچک می شود که جریان کمی از آن عبور میکند. از آنجا که همیشه مقداری نشت جریان هم در ترانزیستورهای تراشه وجود دارد زمانی که جریان در حالت روشن بودن ترانزیستور(وصل بودن آن) بسیار کم شود دیگر به سختی می توان تفاوتی میان جریان اصلی و جریان نشت گذاشت و تشخیص داد که آیا ترانزیستور در حالت روشن است یا خاموش. برای افزایش سطحی از نیمه رسانا که تحت تاثیر جریان گیت به رسانا تبدیل می شود و بالا بردن توانایی انتقال جریان ترانزیستور پژوهشگران اینتل طراحی ترانزیستور تخت را تغییر دادند و با بزرگ کردن اتصال گیت قسمتی از نیمه رسانای ترانزیستور را به شکل یک برآمدگی در آن فرو بردند و با این ترفند توانستند سطحی از نیمه رسانا که در مجاورت جریان رسانا میشود را بیشتر کنند. این تغییر معماری از آن جهت اهمیت زیادی دارد که در نسلهای بعدی تراشه ها که ترنزیستورها باز هم کوچکتر خواهند شد این طرح قابل گسترش است به شکلی که در هر ترانزیستور دو یا سه برآمدگی در داخل گیت قرار بگیرند تا سطح قابل تبدیل به رسانا با وجود کوچک شدن کلی ترانزیستور کم نشود.

فناوریهای کای بزرگ (High – K) و ترانزیستور سه بعدی (Tri-Gate) دو نمونه مهم از نوآوریهایی هستند که هر روزه در سراسر جهان توسط پژوهشگران شرکتهای صنعت تراشه سازی انجام می گیرد تا این صنعت همچنان به پیشرفت خود ادامه دهد.

کوچک سازی تا بی نهایت و فراتر از آن

با وجود تمام نوآوریهایی که برای کوچک کردن روز افزون اجزای تراشه های سیلیکنی و برقرار ماندن قانون مور در شرکت اینتل و بسیاری شرکتهای دیگر صورت میگیرد به جایی خواهیم رسید که دیگر ترانزیستور سیلیکنی توان فراتر رفتن از آن را نخواهد داشت و آن مرزهای اتم است که جایی در نزدیکی یک نانو متر مانند خط پایانی برای شرکت کنندگان در مسابقه ی کوچک سازی اندازه ی ترانزیستورهای ترشه ی سیلیکنی کشیده شده است. اندازه ی اتم ها با مقیاس انگستروم بیان می شود که یک دهم نانو متر است و با اینکه اتمها اندازه های گوناگونی دارند، طول هیچ یک از یک انگستروم کوچکتر نیست.از آنجا که کوچکترین جزء ماده اتم است و تنها تعداد انگشت شماری اتم (بسته به اندازه) به زحمت در جایی به طول یک نانومتر جا می گیرند، می توان تصور کرد که کوچکترین اجزای ساخت بشرتقریبا می توانند یک نانو متر اندازه داشته باشند. (مگر اینکه روزی بشر بتواند ذرات زیر اتمی را برای ساخت مواد جدید بکار بگیرد!)

توانایی رسیدن این صنعت به ترازیستوری در مقیاس تک اتمی، حداقل در مرحله ی آزمایشگاهی، توسط گروهی از پژوهشگران دانشگاه پیتزبورگ به اثبات رسیده، همچنین با توجه به زمان بندی اعلام شده از سوی اینتل برای تولید تراشه با فناوری ۱۴ نانو متری قبل از سال ۲۰۱۵ و قرار داشتن فناوری ۱۰ نانو متری در دست تحقیق، میتوان انتظار داشت که پیش از سال ۲۰۳۰ میلادی صنعت ساخت تراشه هم به این خط پایان برسد.

اما آیا با توقف کوچک ساختن سخت افزار تراشه ها پیشرفت کارایی محاسباتی آنها هم متوقف شود؟ به نظر میرسد پاسخ به این پرسش "خیر" می باشد، چرا که حتی با توقف کوچک سازی اجزای اصلی تراشه ها هنوز راه برای نوآوری در معماری تراشه ها باز است و بالا بردن کارایی آنها در اجرای هم زمان و بهتر دستورالعملها برای چند دهه پژوهشگران را مشغول خواهد کرد.

از سوی دیگر روشهای محاسباتی گوناگون دیگری هم با بهره گیری از خواص گوناگون مواد و پدیده های فیزیکی هم اکنون درحال توسعه هستند که از میان آنها میتوان به فوتونیک[۱۳]، اسپینترونیک[۱۴]، کوانتوم[۱۵] و بهره گیری از توان محاسباتی مواد آلیی چون اسیدهای آمینه، پروتئینها وحتی دی ان ای اشاره کرد. باید دید کدام یک از این روشها به حدی توسعه خواهد یافت تا تولید محصولاتی بر پایه ی آن از نظر صنعتی قابلیت رقابت با تراشه های سیلیکنی را پیداکند.

[۱۳] در فتونیک **(photonics)** فتونهای نور مانند الکترونها در دستگاههای الکترونیکی به کار گرفته می شوند و کار جابجایی داده ها و دستورات را انجام می دهند.

[۱۴] در اسپینترونیک **(Spintronics)** از حالتهای مختلف گردش الکترون به دور هسته ی اتم جهت ذخیره سازی داده ها استفاده می شود.

[۱۵] دانش محاسبات کوانتومی از خواص مواد در مقیاس اتمی و زیر اتمی برای ذخیره سازی و پردازش اطلاعات استفاده می کند.

روی صندلیِ داغِ قانون مور :

مایک مایبری از اینتل (بخش تحقیق و توسعه)[۱۶]

ترجمه – پیمان برغندان

این معاون اینتل در ده سال آینده ی فناوری ساخت تراشه زندگی میکند، مسیر پیشرفت صنعت محاسبات را ترسیم می کند و ایده های تحقیقاتی را به تولیدات سطح بالا تبدیل می کند. مایک مایبری شاید بیش از هر کسی مسوول برقرار ماندن قانون مور باشد.

به عنوان معاونی که تیم تحقیقاتی اینتل را رهبری میکند، او مسوولیت اطمینان از اینکه شرکتش مدارهای الکترونیکی هرچه بیشتری را روی تراشه های رایانه ها جا بدهد، به دوش میکشد. گوردن مور از بنیان گذاران اینتل ۴۷ سال پیش ضرباهنگی را مشاهده کرد که طی آن ترانزیستورهای یک تراشه دو برابر میشوند و مایبری مسوولیت نگهداری این میراث را بر عهده دارد.

بسیاری روی قانون مور، که در به روز رسانی سال ۱۹۷۵ (از روی نوشته ی اصلی مور در سال ۱۹۶۵) پیش بینی میکند که شمار ترانزیستورها ی تراشه هر دوسال دوبرابر میشوند، حساب میکنند. این به معنای آن است که یک تراشه با همان اندازه میتواند کارهای محاسباتی بیشتر و بیشتری را انجام دهد، یا اینکه شما میتوانید همان عملیات محاسباتی را با استفاده از یک تراشه ی کوچکتر، ارزانتر و کم مصرف تر انجام دهید.

به یمن قانون مور، توانایی یک ابر رایانه به رایانه های شخصی وحالا هم به تلفنهای هوشمند سرایت کرده. ثابت شده که طول عمراین قانون به شکل شگفت آوری زیاد است، علیرغم همه ی بحرانهایی که تحدید به متوقف کردن گامهای ثابت پیشرفتش کرده اند.

اینتل، "ایوی بریج" آخرین خانواده ی هسته ی تراشه هایش را با یک فناوری روند تولید ۲۲ نانو متری میسازد. این یعنی کوچکترین جزء تراشه تنها به اندازه ی ۲۲ میلیاردم متر است، که میتوانیم بگوییم ۷۵۰۰ تا از آنها میتوانند

[۱۶] http://news.cnet.com/8301-11386_3-57526582-76/on-the-moores-law-hot-seat-intels-mike-mayberry-q-a/

میتوانند در پهنای نقطه ی حرف " ز " جا بگیرند. هر دو سال یکبارغول تراشه سازی از میان آنچه استراتژی تیک – تاک مینامد به سمت روند کوچک سازیی میرود که شمار ترانزیستورهایی را که میتواند روی سطح پیشین جا بدهد، دو برابر میکند.

برای بازار، تراشه های ۲۲ نانو متری تازه هستند ولی برای مایبری کهنه شده اند. او در آینده زندگی میکند، روالهای جدیدی را آزمایش میکند تا روشن کند چگونه روند تولید را به اندازه ی ۵ نانو متر برساند، و پس از آن چه کند.

استفان شنکلند از بخش خبر وبگاه سی نت به عنوان بخشی از نگرشی به وضعیت امروز قانون موربا مایبری مصاحبه کرده:

شنکلند: بسیاری روی قانون مور حساب میکنند، نه تنها صنعت محاسبات بلکه دیگرانی که کارشان به رایانه وابسته است هم همینطور.آیا این چالش معتبر نگه داشتن قانون مور شما را بیخواب میکند؟

مایبری: جواب خیر است. ولی جواب طولانی تری هم هست. پیشتر هم از من چنین پرسشی شده که: یکی دو چیزی که موجب بی خوابی شما میشود چه هستند؟ من از نعمت نگرانی درباره ی یکی دو چیز محرومم، ما باید نگران پیشرفت تدریجی در بسیاری از زمینه های متفاوت باشیم. شما کارها را تجزیه میکنید و آنها را به افراد تخصیص میدهید درحالی که افراد کارآمدی دارید که روی اینها کار میکنند. پس این واقعا من را بیخواب نمیکند.

سالهای سال است که شنیده ام پایان این قانون فرا میرسد و هرگز حقیقت نداشته. این شغل من است که نگذارم به حقیقت بپیوندد.

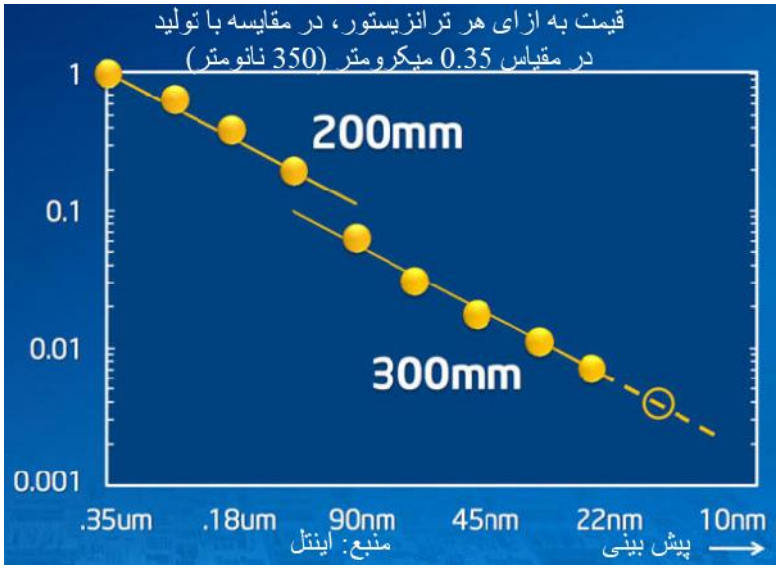
شنکلند: به یاد دارم گاهی که مردم پیش بینی میکردند این یا آن روند تولید انتهای خط است مثل زمان ۱۸۰ نانومتری. شما چند بار شنیده اید که مردم میگفتند چیزی قانون مور را متوقف خواهد کرد؟

مایبری: من ۲۸ سال است در اینتل هستم و ۲۸ سال است درباره ی پایان قانون مور میشنوم. شاید سالی دو سه بار گزارشگرهایی با من تماس میگیرند به این خاطر که چیزی خوانده اند که پایان قانون مور را پیش بینی کرده. همیشه رگه هایی از واقعیت در چیزهایی که به آنها استناد میکنند هست اما اینکه آنها "احتمال دارد" اتفاق بیافتند ناگفته میماند. در مورد ۰,۱۸ میکرونی (۱۸۰ نانومتری) ما دو نگرانی داشتیم. یکی توانایی چاپ ویژگیهای مدارها بود که لیتوگرافی باشد. دیگری مشکل اثر میانبر نشت کانال بود. هرچه شما طول الکتریکی ترانسیستورها را کوچکتر کنید

آسانتر روشن میشوند، که خوب است، ولی به سختی خاموش میشوند، که بد است.تا پایان دهه نود میلادی نگرانی نشت برق بود: شما مجبور بودید کاهش اندازه [ترانزیستورها] را متوقف کنید چون نمیتوانستید بدون گرم شدن بیش از حد قطعات را خاموش کنید.

ما کار زیادی روی عمق کانال کردیم. کانالها را خیلی کم عمق ساختیم که کنترلشان را ساده تر میکرد. این به ما امکان داد مشکل را حداقل برای مدتی دور بزنیم. با اینکار شما فقط مشکل را کنار گذاشته اید آن را حل نکرده اید. چالش بعدی نشت برق از عایق گیت [ترانزیستور] بود. که ما با HIGH-K (لایه ی نازکی میان گیت ترانزیستور و کانال آن که از ماده ای با ضریب نفوذ ناپذیری الکتریکی بالا ساخته شده) آنرا حل کردیم. سپس مشکل نشت گیت به وجود آمد که با فناوری TRI-GATE آن را حل کردیم.

اگر شما همیشه از همان فناوری استفاده کنید قطعا به محدودیت بر خواهید خورد. حقیقت این است که ما ۴۰ سال است هر پنج یا هفت سال در فناوری تجدید نظر کرده ایم و پایانی برای انجام آن دیده نمی شود.



پروسه ی تولید جدید، کاهش هزینه ی ساخت هر ترانزیستور را ادامه میدهد. این نمودار نشان میدهد که چگونه گذار از ویفر سیلیکن به قطر ۲۰۰ میلی متر به ویفر ۳۰۰ میلی متری هم هزینه را کاهش می دهد. صنعت تراشه برنامه ی گذار به ویفرهای ۴۵۰ میلی متری را در سالهای آینده دارد آنهم برای کاهشی شبیه به پایین آوردن هزینه ی ساخت ترانزیستور.

شنکلند: بودن در صنعت ساخت چیپ ظاهرا تجارت خوبی است، به شرطی که از شرکتهایی نباشید که زیر فشار له شده اند. اینتل این فشار ممتد را تاب آورده ولی هر نسل جدیدی از فناوری نیاز به بودجه ی تحقیق و توسعه ی بیشتری دارد. آیا در این صنعت سطح سرمایه گذاری در زمینه ی تحقیق و توسعه ثابت میماند و تنها به تعداد کمتری تعلق میگیرد؟

مایبری: بگذارید قسمت به قسمت پاسخ بدهم. پیشرو ماندن در بخش حافظه فرق میکند با پیشرو ماندن در بخش منطق مدارها و با بخش فناوری ریخته گری نیمرسانا. نگاه کنید به سه نمونه ی، اینتل (که بر مدارهای منطقی

متمرکز شده)، سامسونگ (یک پیشرو در زمینه ی حافظه)، و TSMC (شرکت تولید نیمه رساناهای تایوان، ریخته گری برتری که برای دیگر شرکتها ریز پردازنده میسازد). میزان درصد بار بودجه ی توسعه و تحقیق در صنعت حافظه بیش از دوتای دیگر است. این بودجه در نیمه راه رسیدن به نقطه ی سربه سری سود و زیان تمام میشود. به عبارت دیگر در قسمت بالای چرخه ی سودآوری شما به قدر کافی پول در میاورید تا جبران قسمت پایین چرخه که سود آوری کم شده است را بکند. مدتهاست که به همین شکل بوده.

اقتصاد لزوما چیز شگفت انگیزی نیست. در زمینه ی منطق مدارها و ریخته گری، تعداد ترانزیستورها زیاد میشود، پس سیمها بیشتر میشوند، عمق الگوها بیشتر میشود که خود لایه های مدار بیشتری را به وجود می آورد، پس هزینه ی تحقیق و توسعه به طور ثابت افزایش پیدا میکند. ولی اگر بتوانید حجم سهام خود را افزایش دهید (سرمایه ی بیشتری جذب کنید) و تعداد واحدهایتان را زیاد کنید، آنوقت شما در یک وضعیت ثابت هستید. گاهی که شرکتها کاملا ورشکسته میشوند و برای قطعه قطعه شدن واگذار میشوند به این خاطر است که بازارشان همگام با سرعت رشدشان گسترش پیدا نکرده.

در کل پیشرفت هر روز سخت تر میشود و گرانتر، اما فرصتهای فروش هم افزایش می یابند. از یک موقعیت تجاری مناسب وضعیت بازار شما حداقل به اندازه ای که بتوانیدهزینه ی تحقیق و توسعه ی خود را بدهید گسترش خواهد یافت.

شنکلند:چه اتفاقی میافتد اگر قانون مور به پایان برسد؟

مایبری: پاسخ غیر جدی این است که پیرها باید بازنشسته شوند تا جوانها شغلهای جدید بگیرند.

فناوری ثابت نمی ماند. افراد روی چیزهای مختلفی کار میکنند. من یک کارخانه دار سنتیِ متعهد هستم، ممکن است بازنشسته شوم و مرغ پرورش بدهم.

در اواخر دهه ۸۰ میلادی ما از طراحی ترانزیستور تراشه ی دوقطبی به سمت CMOS رفتیم. برخی طراحان دوقطبی بودند که نتوانستند خودشان را سازگار کنند. همین امر [بازهم] اتفاق می افتد، اگر ظرفیتهای یک فناوری مرسوم به انتها برسند مردم به یک فناوری دیگر رو میکنند.

اگر هشداری درباره ی اتمام ظرفیتهای یک فناوری نباشد، این بد است. واقعیت این است که ما به پیش رو نگاه میکنیم و به همین خاطر است که خودمان را برای گذار از فناوریهای قدیمی آماده میکنیم. برای افرادی که نمیدانند این چرخه چگونه عمل میکند ترسناک تر به نظر میرسد.

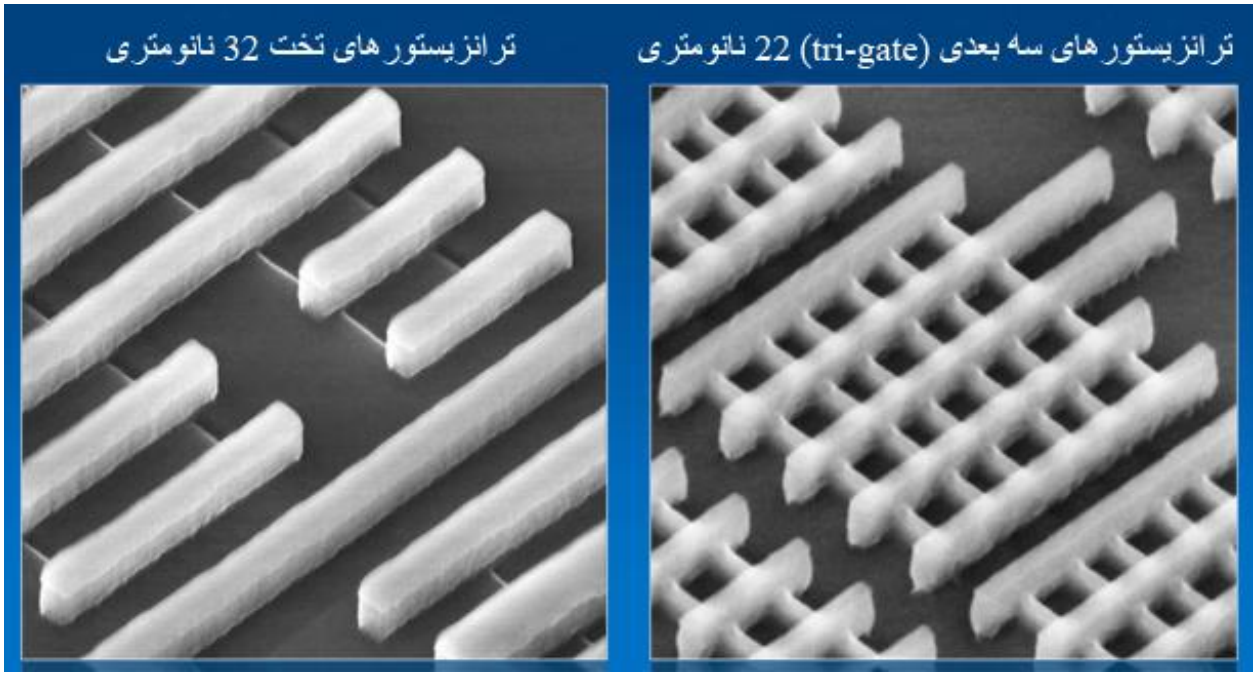
به سازندگان خودرو نگاه کنید. ابتدا چیزی را عرضه کردند که درکل کار میکرد، سپس چیزی که مردم میتوانستند بخرند، بعد هم برای آنها با شگردهای بازاریابی جذابیت ایجاد کردند. آنها بیش از ۱۱۰ سال تکامل داشته اند. همچنین صنعت ما هم تکامل پیدا میکند.

شنکلند: مشکلاتی که در کوتاه مدت پیش روی قانون مور است چه هستند؟

مایبری: برای ادامه داشتن بهره ی مورد انتظار، شما میتوانید آن [موارد لازم] را به پنج چیز کاهش بدهید:

(۱- نخست) ما باید نگران مدیریت نشت باشیم که در آن جریان الکتریکی گرمای زیادی تولید میکند و باعث کاهش سرعت تراشه میشود. این به معنای دگرگونی در ساختار است که Tri-Gate نمونه ای از آن است.

(۲- دوم،) ما مسیر چگونگی انجام کنترل الکترواستاتیکی قطعات را طی میکنیم. میدانیم که هرچه به ابعاد کوچکتری برسیم، پراکندگی الکترونها در مواد بیشتر خواهد بود و اتفاقات بیشتری هم هست که به این خاطر که شما چیزها را کوچک کرده اید روی میدهند. تونل زدن جریان و پراکندگی، اینها چالشهای مهندسی هستند.



این نما آخرین نسل روند تولید ۳۲ نانو متری را که برای ساخت تراشه های "سندی بریج" اینتل استفاده شده با روند ۲۲ نانومتری امروزی برای تراشه های "ایوی بریج" مقایسه میکند. جایی که تراشه ۲۲ نانو متری باله های برآمده ای برای کانال جریان الکتریکی دارد، طرح ۳۲ نانو متری از یک طرح سنتی تخت استفاده میکند که در آن کانال درون سطح تراشه تخت است. عکس از اینتل

شنکلند: پراکندگی چیست؟

مایبری: اگر شما یک سیم خیلی بزرگ داشته باشید جریان [الکتریکی] در میان آن خواهد بود و مشکلی ندارید. همچنین که سیم را کوچک میکنید محیط آن نسبت به سطح مقطع بزرگتر و بزرگتر میشود. شما هر وسیله ای که داشته باشید، سیم یا ترانزیستور، پراکندگی [الکترونها] را خواهید داشت که به شکل موثری قابلیت انتقال [الکترون] ماده را کاهش میدهد. ما مواد را مهندسی میکنیم تا این قابلیت [انتقال] را برگردانیم.

(۳- سوم) چیزهایی هستند که انجام میدهیم در پیوند با افزایش دقت تولید. وقتی ما تا جایی پایین میرویم که با یکی دو اتم سروکار داریم ما قطعا در فضایی از علم شیمی هستیم که شما یک مولکول مشخصی را می سازید. درحالی که چنین چیزهایی در روند تولید ما هست، اگر نتوانید اسبابی دقیقا با همان اندازه را ترلیاردها بار روی یک ویفر بسازید آنگاه اینکار صرفه اقتصادی ندارد.

(۴-) زمینه ی چهارمی هم هست که نگرانی درباره ی ترکیب همه ی کارکردهای خواسته شده است. آیا شما میخواهید دستگاهی داشته باشید که ارتباط بیسیم داشته باشد، صدای شما را رمز برداری کند، کارهای گرافیکی انجام دهد؟ چنین دستگاهی روی یک تراشه (SOC)[۱۷] پیچیده است، البته نه به شیوه ای که کوچک کردن یک پردازنده [پیچیده] به نظر میرسد.

(۵-) پنجم، ما همیشه میدانیم که میتوانیم چیزها را بهتر کنیم، ولی [همچنین] میدانیم که همیشه به چیز دیگری هم نیاز داریم. پیشنهادهای زیادی در خارج [از صنعت تراشه] هست، ولی یک برنده یا بازنده ی مشخص نداریم.ما باید به گستره وسیعتری از چیزهایی که در گذشته مشاهده کرده ایم بها بدهیم. [اینکه] به چه چیزهای مناسبی باید نگاهی بیاندازیم تا آنها را برای زمانی که نیازشان داریم آماده کنیم؟

شنکلند: پس برای شماره پنج شما درباره ی آینده ی پس از سیلیکون صحبت میکنید؟

مایبری: دستگاههای پیشنهادیی هستند که متفاوت از آنچه ما به آن عادت داریم کار میکنند. متفاوت ممکن است بهتر باشد، یا ممکن است بهتر نباشد. این ممکن است به نوآوری در ۹ زمینه ی دیگر نیاز داشته باشد تا بتوانیم از آن بهره مند شویم. فناوریهایی براساس مغناطیس تا ارتباط اطلاعات اسپین ترونیک ، ولی یک موج چرخشی اسپین با سرعتی کمتر از موج الکترونی سیر میکند. اگر کند تر است چگونه میخواهید از آن استفاده کنید؟ شما باید شیوه ی نوشتن (تغییر وضعیت قطعات الکترونیکی از روشن به خاموش یا صفر به یک) را تغییر بدهید، شیوه ی لیتوگرافی (چاپ مدار روی سطح سیلیکون) را عوض کنید، شما باید در بسیاری زمینه های مختلف نوآوری داشته باشید.

[۱۷] system on a chip

چرخ صنعت تراشه درگیر دنباله ای همیشگی از چالشهاست. اینتل تاکنون توانایی خود برای پیشبینی آنچه حدود ده سال آینده رخ می دهد را حفظ کرده است.-عکس از اینتل

شنکلند: نامزدهای رفتن به فراسوی فناوریهای چیپ امروزی چه هستند؟

مایبری: آنها دستگاههایی هستند بر اساس اثرات کوانتومی. دستگاههای امروز هم اثرات کوانتومی دارند اما آنها دستگاههای کوانتومی نیستند. برای نمونه، تونل زدن، نشت کردن جریان الکتریکی است (امروزه یک مشکل بزرگ کوچک کردن تراشه هاست). دستگاههایی پیشنهاد شده اند که بر اساس تونل زدن کار کنند. آنجا هدف تلاش برای یافتن چیزی با بهره وری انرژی بیشتر است.

در زمینه ی مغناطیس، فناوریهای پاک نشدنی بالقوه ای وجود دارند سازوکارهای حافظه یی که داده ها را بدون نیاز به یک منبع تغذیه ی دایمی ذخیره میکنند. زمانی که خاموش هستند وضعیت خود را به یاد خواهند داشت، پس از آن میتوانند به حالت قبل برگردند.اینکار به ویژه بیشتر برای دستگاههایی که با باطری کار میکنند مناسب است، ولی نه لزوما برای چیزهایی که در ابر محاسباتی علاقمند به انجام آنها هستید.

دستگاههای کوانتومی دیگری هم پیشنهاد شده اند اما مردم باید مطمئن شوند رفتار آنها با آنچه تئوری میگوید مطابقت دارد. اگر شما دو لایه ی گرافین را کنار هم بگذارید، وضعیت جالبی خواهید داشت. با قطع و وصل ولتاژ

میتوانید آنرا روشن و خاموش کنید. از لحاظ نظری این یک سویچ است، اما نمایش کارکرد دستگاهها با آنچه پیش بینی شده تفاوت داشت.

یک کنسرسیوم صنعتی به نام "پیشگام پژوهش نانوالکتریک[۱۸]" بوده که تقریبا شش سال برای یافتن دستگاههای جانشین CMOS پژوهش میکرده. آنها رد چیزی در حدود ۱۸ نامزد مختلف را گرفتند. برنده ی مشخصی وجود نداشت، ولی گرایشهای مشخصی به چشم میخوردند که پژوهشهای آینده را جهت دهی میکنند.

شنکلند: چند مرحله ی دیگر با چیپهای CMOS خواهیم داشت؟ چند بار دیگر میتوانیم روند کوچک کردن را انجام دهیم؟

مایبری: کسی که در حال صعود به مرحله ی ۲۲ نانو متری است میگوید:" پسر، این مشکله و بعدش سخت تر هم میشه!"، اما مرحله ی ۲۲ نانومتری برای کسی که در بخش تحقیقات است مثل این است که: "عجب، اون که مال دو سه نسل پیشه!".

نقشه ی راه فعلی ساخت تراشه ی اینتل که تا رسیدن به مرحله ی روند ۵ نانومتری ساخت تراشه در سال ۲۰۱۹ زمان بندی شده.– عکس از اینتل

گروه من در مرحله ی تحویل چیزی هستند که مرحله ی ۱۰ نانومتری ما خواهد بود و روند سال ۲۰۱۵ ماست. یکی از بخشهای تمرکز ما زیرساختهای معماری برای مرحله ی سال ۲۰۱۷ است و کسانی هم هستند که نگاهی به مرحله

[۱۸] Nanoelectronics Research Initiative

ی سال ۲۰۱۹ دارند. حداقل تا آن زمان ما نگرش درستی نسبت به شکل کلی روال کار داریم. کاملا اطمینان داریم در این مسیر تغییراتی هم خواهیم داشت. حداقل تا سال ۲۰۱۹ مشکلی در مشاهده ی [مسیر پیش رو] نداریم.

از نظر نامگذاری، انتهای آن مرحله ی ۵ نانو متری خواهد بود.

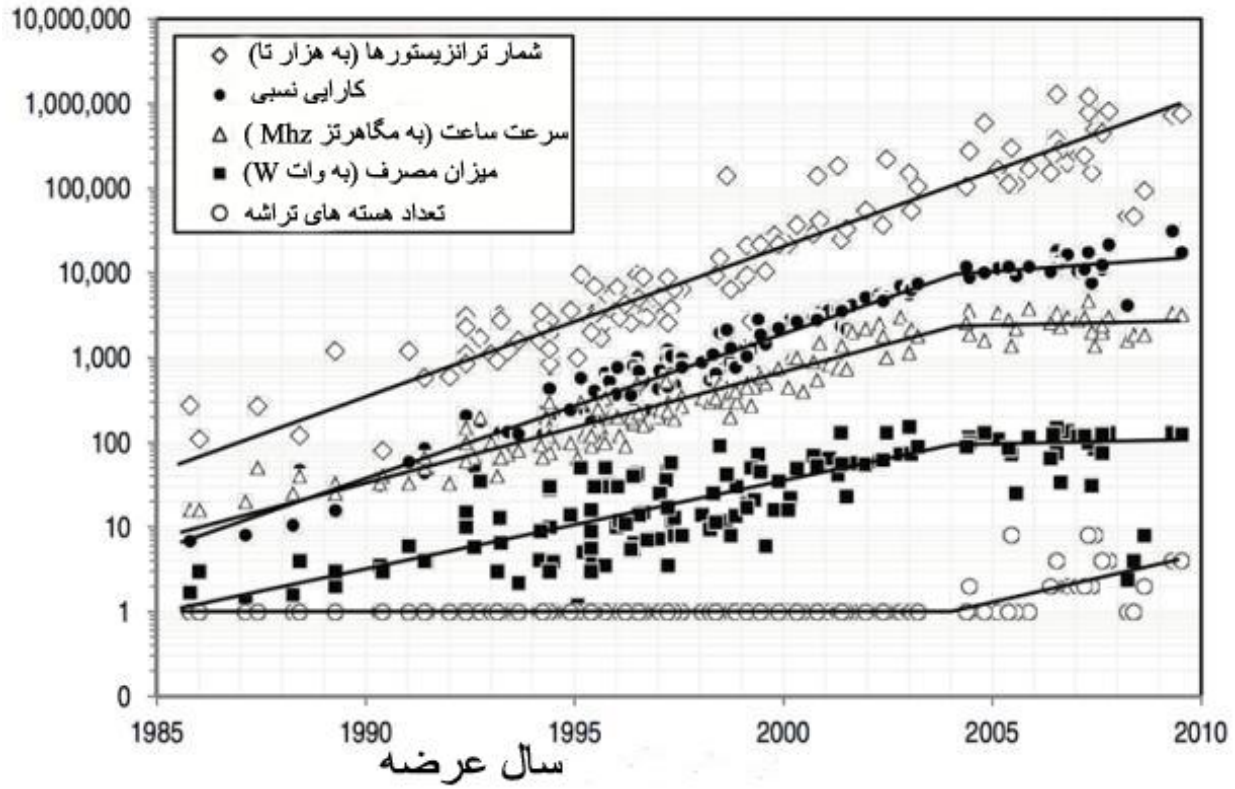
شنکلند: در حالیکه واقعا صنعت تراشه خود کنترل گامهایش را در اختیار دارد، آیا بازهم میتوان گفت قانون مور یک پیشگویی است که خود به خود برآورده میشود (چیزی که برنامه ریزی شده در برابر چیزی که مشاهده شده)؟

مایبری: درست است، این قانون ابتدا یک مشاهده بود. مشاهده ی اصلی یک دوره ی۱۲ ماهه بود. سپس به یک انتظار بدل شد. این حقیقت که اینتل در دوره های دوساله کار میکند بیشتر به خاطر نیاز به هماهنگ سازی بخش طراحی با بخش تولید است تا هر دلیل دیگری برای انتخاب این زمان. اگر طراحان شتاب لازم را نداشته باشند آنگاه ما زمانبندی را تغییر میدهیم.

برخی جاها ما آهسته رفته ایم سپس تندتر، از [زمان] طراحی پردازنده ما باید یک ضرباهنگ را نگه داریم چرا که طراحی زمان زیادی طول میکشد تا انجام شود.

شنکلند: در دهه ی گذشته صنعت تراشه به سد محکمی برخورد، زمانی که فرکانس ساعت تراشه نمی توانست بدون مصرف برق شدید و اتلاف گرما افزایش پیدا کند. همین ما را به سمت همه ی این طراحیهای چند هسته ای که امروز میبینیم هدایت کرد. آیا اینکار مقداری از مشکلات پیشرفت تراشه ها را به نرم افزار منتقل نکرده، تا جایی که حالا برنامه نویسها مجبورند با برنامه نویسی موازی برای پردازنده های چند هسته ای کنار بیایند؟

مایبری: سد محکمی در دهه ی ۸۰ [میلادی] بود، یک سد محکم در اواخر دهه ی ۹۰ [میلادی]، یک سد محکم در دهه ی اول هزاره که این یکی مورد نظر شماست. اگر شما فراتر از تعداد ترانزیستور یک پردازنده نگاه کنید، خواهید دید که مابه میزان کردن مصرف برق پردازنده ادامه داده ایم ویک منحنی ثابتی دارد. این چیزی است که باید مراقب آن باشید. زمانی که ما به معماری پنتیوم پرو رفتیم اولین پردازنده ی سرور اینتل که در سال ۱۹۹۵ معرفی شد، به سمت موازی سازی در داخل هسته رفتیم اما آنرا از چشم کسانی که برنامه مینوشتند پنهان کردیم. ما خیلی پیش از این از اوایل دهه ی ۹۰ میلادی به سمت موازی سازی رفتیم. حالا به نقطه ای رسیده ایم که نیاز داریم کد نویسی موازی را آشکارتر انجام دهیم.



گزارشی از آکادمی ملی علوم نشان میدهد که درحالیکه فرکانس پردازنده ثابت مانده است اما افزایش شمار ترانزیستورها ادامه دارد. ترانزیستورها اکنون برای ساخت ترشه هایی با ماشینهای پردازش موازی بکار می روند. گرچه کارایی نسبی با شتاب کافی افزایش پیدا نمی کند، مصرف برق در همان سطح باقی می ماند.- عکس از آکادمی ملی علوم

یک راه برای انجام اینکار پردازش برداری است. این کاری بود که ابر رایانه های قدیمی به طور موثری انجام میدادند. پردازشگرهای گرافیکی پیشرفته هم به عبارتی پردازش برداری انجام می دهند. اینکار نیازمند این است که شما به شیوه ی ویژه ای بار کاری خود را ایجاد کنید. برخی بارهای کاری با آن معماری به خوبی کار نمیکنند و از طرف دیگر برخی چیزها هم به طور خنده داری موازی هستند. موازی کردن دسته جمعی ترسیم پیکسلها به سادگی انجام میشود به همین خاطر ما پردازنده های گرافیکی را برای اینکار میسازیم. وقتی شما با چیزی مثل شبیه سازی آب و هوا سروکار پیدا می کنید یک عنصر محاسبه ی برداری دارید، ولی در جایی که هر تکه ی آب وهوا به قطعه ی مجاور چسبیده، پیوستگی درونیی هم بین قطعات وجود دارد. چالش بزرگتر به یاد داشتن این موضوع است. کسی که میداند یک برنامه ی جاوا را چگونه بنویسد برای اندیشیدن در این شرایط آموزش ندیده. ولی ما ابزارهایی را توسعه میدهیم که به طور طبیعی موازی فکر کنند. ما به جایی رسده ایم که باید ببینیم چگونه مفسرها ی برنامه (کامپایلرها) را بسازیم و شما چگونه کد برنامه ها را به صورت موازی بنویسید.

شنکلند:آیا چنین چالش رایانه ای بوده که صنعت در گذشته بر آن چیره شده باشد؟

مایبری: بله، هیچ مشکلی آسان نیست. اگر شما برنامه های کاربردی برای تلفن همراه می نویسید و انتظار دارید ۹۹ سنت در ازای آن به شما بپردازند، انرژی خودتان را صرف بهینه سازی هر ذره از کارایی منابع سیستم نخواهید کرد. پس ساده ترین راه برایتان استفاده از ابزارهای توسعه دهندگان است. اما اگر چیزی مینویسید که در ابر محاسباتی اجرا میشود و در یک روز بارها استفاده میشود، منابع سخت افزاری و نرم افزاری را به گونه ای تخصیص میدهید که اجرای موثرتری داشته باشید.

شنکلند: یک راه برای بهره وری بیشتر از یک روند تولید تراشه افزایش اندازه ی ویفر سیلیکنی است که تراشه ها روی آن چاپ میشوند. هزینه ی فرستادن یک ویفر به روند تولید تقریبا یکسان می ماند، درحالی که شما انتظار تراشه های بیشتری را از یک ویفر بزرگتر دارید. ما از مرحله ی ویفر ۳۰۰ میلی متری گذر کرده ایم، چه زمانی ویفرها به قطر ٤٥٠ میلی متر خواهند رسید؟

مایبری: این طولانی ترین زمان گذاری خواهد بود که تاکنون داشته ایم. گذار به قطر ۳۰۰ میلی متر کمی بیش از یک دهه ی پیش بود و طبق پیشبینی انجام نشد. تردیدهای زیادی بود، همین هم برای ۴۵۰ میلی متری اتفاق می افتد.

شاید زمان بیشتری از گذر ۲۰۰ میلی متری به ۳۰۰ میلی متری طول بکشد، و از ۱۰۰ میلی متری به ۲۰۰ میلی متری، و حتی از زمانی که من یک مهندس کوچک بودم از ۳ اینچی به ۴ اینچی. قانون مور در باره ی اقتصاد است، اگر شما چیزهای بیشتری را هم زمان بسازید بهای هر دانه ترانزیستور کمتر میشود. ساخت یک ویفر بزرگتر یک جنبه ی اقتصادی است ، اینکه شما چیزهای بیشتری را هم زمان میسازید. اگر شما تاریخچه ی منافع اقتصادی ما از کاهش اندازه ی قطعات الکترونیکی روی تراشه و آنچه ما از افزایش اندازه ی ویفر بدست آورده ایم را بشکافید، [خواهید دید] مقدار غیر قابل چشم پوشیی از افزایش اندازه ی ویفر بدست آمده. شاید ۸۰ درصد از کاهش اندازه ی قطعات بوده باشد، اما ۲۰ درصد از افزایش اندازه ی ویفر بوده.

شنکلند: آیا به این خاطر است که تراشه های بیشتری را از یک ویفر بدست می آورید؟

مایبری: همچنانکه ویفری را می سازید، همان مراحل را در همان زمان انجام میدهید. هزینه ی هر مرحله [ی ساخت] به اندازه ی هزینه ی تولید هر ویفر افزایش نمی یابد. این مثل بردن دسته ی بزرگتری نان به درون تنور است، درآمدتان به اندازه ی کوچک کردن چیزها افزایش پیدا نمیکند ، ولی بالاخره از اینکار سود میکنید. من گفتم هشتاد به بیست این رقم واقعی نیست، اما اینکار یعنی افزایش قطر ویفر، جزیی از سیاست دراز مدت صنعت تراشه سازی است.

هزینه ساخت یک "fab" (کارخانه ی ساخت تراشه) برای هر نسل جدیدتر از پردازنده ها و استفاده از هر سطح بزرگتر سیلیکون به طور ثابت افزایش پیدا میکند. هر ویفر گرد به چیپهای زیادی بریده میشود و استفاده از ویفرهای بزرگتر هزینه ساخت هر چیپ را کاهش می دهد، ولی ساخت خود fab گرانتر تمام میشود. اینتل انتظار دارد تولید fab های آینده که ویفرهای ۴۵۰ میلی متری را جا میدهند، هر کدام ۱۰ میلیارد دلار هزینه داشته باشد.- عکس از اینتل

شنکلند: بهترین زمانی که میتوانید تخمین بزنید گذر تولید به ٤٥٠ میلیمتری اتفاق بیافتد کی است؟

مایبری: من فکر میکنم اینکار در نیمه ی دوم این دهه اتفاق بیافتد، بین سالهای ۲۰۱۵ و ۲۰۲۰. میدانم که ضرب الاجل هایی داریم. گرچه در دسترس بودنشان در پایان این ضرب الاجل ها خارج از کنترل ماست، ولی در صنعت تراشه روی این زمان بندی اتفاق نظر هست.

شنکلند: ساخت یک ویفر سیلیکونی که ۵۰ درصد پهن تر است چقدر مشکل تر است؟

مایبری: در اصل شما یک شمش سیلیکون را پرورش میدهید، سپس شمش را به ویفرهایی میبرید. شما با یک کریستال پایه ی کوچک آغاز میکنید سپس به شکل مخروط رشد میکند تا به قطر دلخواه برسد، آنگاه شما یک استوانه ی عمودی دارید که سر و ته آن را جدا میکنید. وقتی که شما ویفری با اندازه ی ۵۰ درصد قطر بیشتر داشته

باشید شمش سیلیکون ممکن است ۳ برابر بیشتر وزن داشته باشد. با وزن بیشتر شما به ماشینهای بزرگتری برای نگه داشتن آن نیاز دارید، وقتی [هم] که ویفر را میبرید به تیغ اره های بزرگتری نیاز دارید.

از دید اقتصادی، شما امید دارید که در انتها آمیزه [ای از روشها] هر چه بیشتر بر هزینه ها اثر گذار باشد.شما چیزی حدود ۳۰ تا ۴۰ درصد سطح بیشتری را بدست می آورید و در قبالش حدود ۳۰ تا ۴۰ درصد بیشتر هزینه میکنید. تامین کنندگان [لوازم تراشه سازیی] هم که این کار را میکنند میخواهند از رقبا پیشی بگیرند. سوال اینجاست که چه کسی هزینه ی تحقیق و توسعه را میپردازد؟ آیا شما این پول را پیش پرداخت میکنید؟ آیا در انتها می پردازید؟ چگونه به اتفاق نظری برسیم بر سر اینکه طرفها چطور هزینه ها را پرداخت کنند و منافع را تقسیم کنند؟

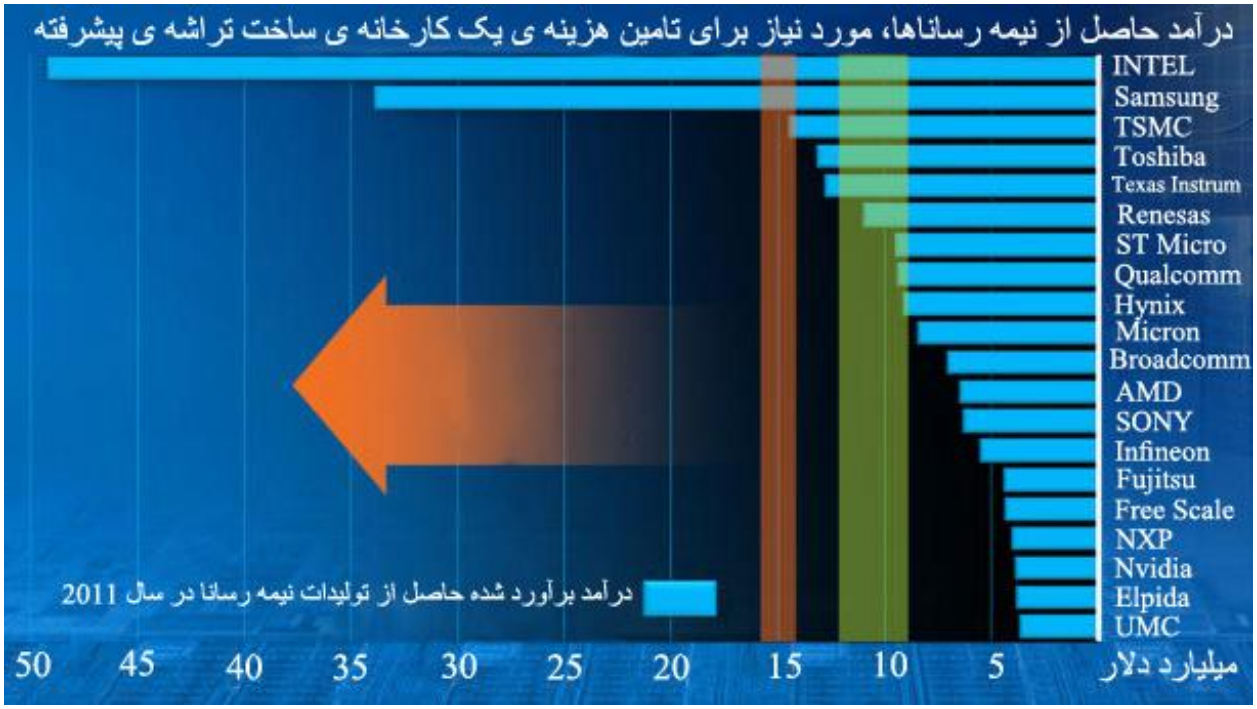
شنکلند: با تراشه های کوچکترما دیده ایم که پردازنده ها از ابر رایانه ها تا رایانه های کوچک تا رایانه های شخصی تا تلفنهای همراه سرازیر شده اند.آیا این تا جایی ادامه خواهد یافت که، همانطور که ری کرزویل پیشبینی کرده ما ریز روبوتهایی داشته باشیم که در جریان خونمان شناور باشند.

مایبری: امروزه قدرت محاسباتی بیشتری در یک تلفن هوشمند هست از آنچه که ناسا برای پرتاب به ماه در اختیار داشت. درخواست برای توان محاسباتی روز به روز بیشتر و بیشتر میشود. در روزهای خیلی قدیم شما باید یک دسته کارت پانچ شده را تحویل رایانه میدادید. حالا شما با دستگاهتان صحبت میکنید و آنهم به نحوی میفهمد شما چه میخواهید بکنید. این مورد آخر به محاسبات زیادی نیاز دارد. اگر شما آن را به عهده ی ابر محاسباتی بگذارید،این تنها مشکل را پخش میکند، درخواست برای توان محاسباتی بیشتر و بیشتر و بیشتر میشود.

قسمت دوم این است که شما چگونه آن محاسبات را انتقال میدهید. محدودیتی هست در جایی که مردم نمیتوانند روی صفحه ای با یک اندازه ی مشخص بنویسند یا بخوانید، باید چشمتان را درهم بکشید تا آن را ببینید. خوب، دستگاهی که فکرتان را بخواند؟ اگر به بیست یا سی سال آینده نگاهی بیاندازید غیر قابل تصور نخواهد بود که کسی بتواند چنین کاری کند. کارهای زیادی در زیست عصب شناسی انجام میشود که تلاش میکنند بدانند چه در مغزتان می گذرد. نتایج بسیار مبهمی بدست می آورید، ولی محاسبات به بهتر شدن ادامه میدهند.

من به گونه ای تردید دارم که شما بتوانید در آینده ای نزدیک چنین چیزهایی در جریان خونتان تزریق کنید. ولی چیزی که روی سرتان بپوشید ممکن است زودتر رخ دهد. عینک گوگل یکی از پروژه هایی است که مردم دنبال میکنند، در جستجوی اینکه آیا راههای دیگری هم برا ی ارایه ی اطلاعات هست؟ اینها ممکن است زودتر رخ دهند. چگونه میتوانید چیزهایی را بدون مختل کردن زندگی یک فرد به او ارایه کنید؟

عنصر سومی هم هست در مورد اینکه شما چگونه اطلاعات را ارایه میکنید، با در نظر گرفتن اینکه زمینه ی انتقال آن چگونه است. این بخشی از محاسبات ادراکی، محاسبات کنشگرانه و محاسبات انطباقی است که شما نه تنها کار خواسته شده را از دیدگاه محاسباتی انجام میدهید بلکه ارایه ی اطلاعات با در نظر گرفتن زمینه ی رخدادن آن تعدیل میشود. آهنگهای پیشواز زننده برای شنونده ی مناسب جالب هستند، خوب است که تلفن بتواند تشخیص بدهد: "این مناسب است، این مناسب نیست."



همچنان که کارخانه های کشت تراشه (fab) ساختشان گرانتر میشود، شرکتهای کمتری میتوانند از عهده ی [هزینه های] آن برآیند. در این نمودار اینتل، نوار سبز نشان دهنده ی شرکتهایی است که میتوانند مخارج ساخت یک کارخانه کشت تراشه (fab) که بتواند از یک ویفر سیلیکون ۳۰۰ میلی متری تراشه تولید کند، را تامین کنند. نوار نارنجی شمار کمتری را نشان میدهد که میتوانند مخارج ساخت تراشه هایی با روند ساخت سال ۲۰۱۵ را تامین کنند.

(این نمودار بر اساس تخمین ۴۰ تا ۵۰ درصد سود ناخالص و درآمد این شرکتها از [ساخت] تراشه در سال ۲۰۱۱ میباشد.)- عکس از اینتل

شنکلند: کرزویل پیشبینی کرده که تکینگی زمانی اتفاق میافتد که قانون مور محاسبات را برای هوش مصنوعی به اندازه ی کافی ارزان کند. پس از آن ما دیگر نمیتوانیم آینده را پیشبینی کنیم. آیا به این ایده باور دارید؟

مایبری: من شاید دیدگاه سنجیده تری نسبت به چیزها داشته باشم، دیدگاهم همیشه محدود بوده. در آینده ی نزدیک، چیزها به همین شکل امروز خواهند بود، اما بهتر. قطعا دگرگونیی خواهیم داشت ولی تا زمانی که آن نوآوری را انجام نداده ایم دقیقا نمیدانم چگونه خواهد بود.
یک جنبه از تکینگی این است که ما نمیتوانیم ورای تکینگی را ببینیم (پیشبینی کنیم)، چراکه هنوز آن نوآوریها را انجام نداده ایم. جنبه دیگرش ماشینها هستند که میروند از شیوه ی فکر کردن ما پیشی بگیرند. مدتهاست که این مساله پیشبینی شده اما هرگز اتفاق نیافتاده. اندکی شک دارم که بتوانیم بگوییم در یک نقطه ی مشخص از تاریخ چنین چیزی اتفاق بیافتد.

شنکلند: شمار سازندگان تراشه مدام آب میرود، یکپارچه سازی کجا تمام میشود، با یک سازمان غول پیکر؟

مایبری: فکر نمیکنم بتوانیم چنین چیزی را پیش بینی کنیم. ما همه ی کار تحقیق و توسعه را خودمان انجام نمیدهیم. ما برای تحقیق و توسعه به تامین کنندگان ابزار و موادمان وابسته هستیم، ما با دانشگاهها در ارتباطیم. زیست بوم (اکوسیستم) صنعت ساخت تراشه بسیار گسترده تر از شمار شرکتهایی است که محصول نهایی را ارایه میکنند.

پایان