دگرگونی‌های شگرف در تکنولوژی IC
و اثرات آن در تکامل میکروپروسسورها

دکتر اکبر ادیبی
استادیار دانشکده مهندسی برق دانشگاه صنعتی امیرکبیر

چکیده

ساخت میکروپروسسورها که شامل هزاران ترانزیستور(MOS) بر روی یک Chip می‌باشد خود گواه ساده و روشنی از پیشرفت سریع و عظمت تکنولوژی IC است.

در بستر این پیشرفت و تحول، میکروپروسسورها نیز بصورت غیر منتظره و جهشی تکامل پیدا کرده‌اند. به طوری‌که در زمانی کمتر از ۱۰ سال از ۴ بیت به ۸ بیت و ۱۶ بیت رسیده‌اند. اخیرا" مینی کامپیوترها، با ۳۲ بیت امکاناتی نظیر کامپیوترهای بزرگ پیدا کرده‌اند.

بررسی چگونگی این تحول و دانستن علل این دگرگونی‌های شگرف، تحقیق پیرامون پیشرفت تکنولوژی IC را موجب می‌گردد. اهمیت این مقاله و تازگی موضوع از این نظر است که بین تغییرات و پیشرفت در پارامترهای مختلف، فرآیند ساخت IC و مراحل مختلف تکامل در میکرو — پروسسورها، مورد بررسی واقع شده است.

تحولات و پیشرفت بشر در تکنولوژی IC به‌قدری غیرمنتظره و عظیم است که بدون اغراق می‌توان گفت که اگر تمام پیشرفتهای تمدن بشر را از ابتدای شروع تا سال ۱۹۶۰ یکجا جمع کنیم در مقابل سیر سریع صعودی تکنولوژی در ۲۰ ساله اخیر چندان قابل توجه به نظر نمی‌رسد.

برای نشان دادن عظمت این تحولات کافی است بین اولین کامپیوتر الکترونیک ENIAC که در سال ۱۹۴۶ به بازار عرضه شد و HP—67 ماشین حساب جیبی که در سال ۱۹۷۷ ارائه گردیده است مقایسه‌ای به‌عمل آید:

در حالی‌که از لحاظ Word Size هر دو دارای ۱۰ Digit دهدهی (decimal) می‌باشند کامپیوتر قدیمی دارای ۵۰۰۰ سوئیچ دستی بوده و ماشین حساب جیبی فقط ۳۵ سوئیچ دارد. اندازه حجمی ENIAC در حدود ft^3 ۴۰۰۰ بوده و در مقابل HP—67 فقط دارای حجمی برابر با in^3 ۲۷ می‌باشد. از لحاظ وزنی کامپیوتر ENIAC ۳۰ تن وزن را به‌خود اختصاص داده است در حالی‌که HP—67 فقط ۲۹۸ گرم وزن دارد. توان مصرفی ENIAC برابر ۵۰۰۰۰ وات است و از آن HP فقط $\frac{1}{2}$ وات توان مصرفی است و بالاخره قیمت کامپیوتر سنگین وزن حجیم در حدود ۵۰۰٫۰۰۰ دلار بوده و قیمت ماشین حساب جیبی HP در حدود ۴۰۰ دلار می‌باشد. (۱۹۸۰).

وقتی توجه کنیم که ENIAC فضائی در حدود ۳۰۰ متر مربع را اشغال کرده و دارای ۱۸۰۰۰ Vaccum Tube می‌باشد در حالی که Z8000 Chip با ۱۷۵۰۰ ترانزیستور در سطح $40mm^2$ جا گرفته است آن وقت عمق این دگرگونی شگرف که در طی ۳۰ سال اتفاق افتاده است برای ما روشن می‌گردد. برای نشان دادن سیر تکامل تکنولوژی IC از ۱۹۶۰ به‌بعد کافی است اشاره کنیم که در اواسط دهه ۱۹۶۰ یک ماشین حساب معمولی از ۹۰ تا ۱۵۰ چیپ bipolar تشکیل شده بوده است. در حالی‌که در سال ۱۹۶۹ یعنی حدود ۴ سال بعد ۴ چیپ MSI کار ۱۵۰ چیپ قبلی را انجام می‌داد و در سال ۱۹۷۱ یعنی ۲ سال بعد فقط یک چیپ MSI باقیمت حدود $\frac{1}{50}$ کافی بوده است.

برای بررسی این سیر تحول ابتدا به پیدایش سیلیسیم در سال ۱۸۲۳ اشاره می‌کنیم:

توسط (Belzelius , Babbage) سیلیسیم کشف گردید و سپس رشد بلورهای سیلیسیم انجام پذیرفت (۱۸۵۳ توسط Deville) سیلیسیم خالص در سال ۱۹۳۹ توسط Dupont به دست آمد.

ترانزیستور Bibpolar توسط Shockley, Bardeen در سال ۴۸—۱۹۴۷ اختراع گردید و ترانزیستور Field Effect در سال ۱۹۵۱ توسط Pfann به وجود آمد و در سال ۱۹۵۶ ایجاد Mask توسط اکسیداسیون انجام شد و در سال ۱۹۵۷ فتولیتوگرافی به‌وجود آمد. مدارهای مجتمع توسط Kilby, Noyce در سال ۱۹۵۸ اختراع گردید و بالاخره ترانزیستور سیلیسیم به‌روش هم‌سطحی در سال ۱۹۵۹ ایجاد شد همچنین RTL در این سال پیدا شد. استفاده از Epitaxi در ساخت ترانزیستور و همچنین پیدایش DTL مربوط به سال ۱۹۶۰ است.

ـ در سال ۱۹۶۱ ECL و TTL اختراع گردید.
ـ در سال ۱۹۶۲ ECL توسط موتورالا معرفی شد.
ـ در سال ۱۹۶۳ MOSFET توسط RCA مورد مطالعه قرار گرفت.
ـ در سال ۱۹۶۴ P-MOS IC پیدایش یافت. دینامیک MOS و شاتکی TTL در ۱۹۶۶ به منصهٔ ظهور رسیدند.
ـ سال ۱۹۶۷ مقارن با پیدایش چیپ MSI–TTL است و ECL و C–MOS IC توسط RCA و n–MOS IC و P–MOS به‌صورت LSI در سال ۱۹۶۸ معرفی شدند.
ـ سال ۱۹۷۰ مقارن با عرضه MOS به بازار به‌صورت LSI و پیدایش CCD در Bell Lab. است.
ـ اولین میکروپروسسور چهار بیتی ۴۰۰۴ با ۲۲۵۰ ترانزیستور P–Channel MOSFET توسط Shima و کمپانی Intel در سال 1971 ساخته شد.

اکنون با توجه به تاریخچه فوق و با در نظر گرفتن این که Bipolar ترانزیستور قبل از ترانزیستور MOS به‌وجودآمده، پس چرا میکروپروسسور چهار بیتی Intel از P-MOS ساخته شده است؟

برای پاسخ به‌این سوءال باید به حقایقی که ذیلا" می‌آید توجه کنیم:

ابتدا باید بدین سئوال پاسخ دهیم که چرا جمع‌آوری یک شبکه بزرگ نظیر یک processor با قریب ۲۵۰۰ ترانزیستور بر روی یک چیپ اهمیت دارد؟ و یا اگر این Network را به چندین قسمت بکنیم و هرکدام را بر روی یک چیپ بسازیم و توسط PC Board بهم وصل کنیم چه اشکالی بوجود می‌آید؟

به عنوان مثال کامپیوتر Amdahl 470v/6 که از ۲۰۰۰ چیپ LSI و هر چیپ از ۱۰۰ گیت ECL تشکیل شده است در نظر می‌گیریم در حالی‌که Propagation Delay گیت‌ها در حدود ۵۰۰ الی ۶۰۰ پیکو ثانیه است ولی به علت استفاده از اتصالات در PC Board سرعت کل مدار به خاطر اتصالات زیاد در PC بالا نیست. بنابراین راه حل در بزرگ کردن اندازه هر چیپ و لذا کم کردن تعداد کل چیپ‌ها است تا سرعت کلی سیستم بهتر شود. و از اینجا است که ایدهٔ ایجاد میکروپروسسور بر روی یک چیپ مطرح شده است البته مساله قیمت نیزعلاوه بر سرعت مطرح بوده است زیرا در این‌صورت اتصالات به‌حد کافی کوتاه شده Propagation سیگنال با سرعت انجام می‌شود. و اما چرا میکروپروسسورها را با bipolar transistor نمی‌سازند، موضوعی است که مربوط به مسأله حرارت در چیپ می‌گردد. معمولا" هر چیپی ماکزیمم در حدود ۴ الی ۵ وات توان را بیشتر تحمل نمی‌کند و با توجه به تکنولوژی موجود حرارت بیش از این چیپ را از بین خواهد برد و نمی‌توان به تعداد بسیار زیادی گیت‌های ECL و یا TTL را در یک چیپ به خاطر محدودیت حرارتی فوق جمع کرد. درمورد P–MOS و n–MOS این محدودیت وقتی پیش می‌آید که چیپ بیش از ۱۰۰۰۰۰ MOS fets داشته باشد.

بنابراین میکروپروسسور چهار بیتی Intel را با ترانزیستور Bipolar و یا ECL نمی‌توان ساخت به خاطر محدودیت‌های حرارتی این چیپ‌ها و ترانزیستور MOS به‌منظور ظرفیت حرارتی بالاتر جواب مسأله است منتهی ترانزیستور MOS در مقام مقایسه با Bipolar از سرعت کمتری برخوردار است و در بعضی از کاربردها میکروپروسسور را از ترانزیستور Bipolar می‌سازند و چون تمامی المان‌ها را در یک چیپ نمی‌توانند قرار دهند لذا در هر چیپ چند بیت را در نظر می‌گیرند و بدین‌وسیله کامپیوتری با هر تعداد بیت می‌توان ساخت. این نوع میکروپروسسورها را Bit–Slice می‌نامند و یقینا" دارای اشکالات Multi–Chip می‌باشند.

نمونه این نوع میکروپروسسورها ریزپردازنده ۲۹۰۰ توسط Mick و Brick در ۱۹۸۰ ساخته شد (Advanced Micro Devices) که درحدود ۵۰۰ گیت می‌باشد که از ۲۰۰۰ ترانزیستور ساخته شده است.

سیستم‌های ۲۹۰۰ از قسمتهای زیر تشکیل شده است (TTL Packages):

AM 2901 ۴ بیت میکروپروسسور Slice و AM2902 تولید کننده Carry با سرعت بالا و AM 2909 میکروپروگرام Sequencer و غیره.

در اواخر سال ۱۹۷۱ (December) کمپانی Intel میکروپروسسور ۸ بیتی ۸۰۰۸ را معرفی نمود.

بهبود روشهای تکنولوژی IC از یک طرف نظیر بهبودی در روشهای ایجاد MASK و فتولیتوگرافی و روشهای Etching و کنترل بهتر این روشها و بهبودی Resulutions و تحول در روشهای طراحی مدارات در ریز پردازنده‌ها از طرف دیگر فاصله زمانی بین میکروپروسسور چهار بیتی ۴۰۰۴ و ۸ بیتی ۸۰۰۸ را کوتاه نمود.

باتوجه به این‌که هر دو میکروپروسسور با استفاده از تکنولوژی P–Channel MOS ساخته شده‌اند سویچ کردن از ریزپردازنده ۴ بیتی به ۸ بیتی ظرف مدتی کمتر از یکسال خود پیشرفت غیرقابل انتظاری را در طراحی و تکنولوژی نشان می‌دهد به خصوص تعداد ترانزیستورهای P–MOS که در ۸۰۰۸ بکار رفته ۳۰۰۰ درمقابل ۲۲۵۰ در ۴۰۰۴ می‌باشد، با ۲۵٪ اضافه Hard–Ware کارائی و ظرفیت ۲۰۰٪ بدست داده‌اند، اگرچه پیدایش ۸۰۰۸ یک تحول بود ولی به علت محدودیت‌های اساسی که در این Chip بود تلاش در جهت رفع اشکالات ادامه یافت از جمله محدودیت‌های میکروپروسسور ۸۰۰۸:

۸ خط آدرس که هم به‌عنوان Address Bus و هم به‌عنوان Data Bus بوده و با استفاده از روش Multiplexing از یک طرف اطلاعات آدرس آن هم در دو نوبت و هم Data و هم سیگنالهای کنترل می‌بایست به‌صورت Time Sharing از این ۸ خط آدرس استفاده نمایند.

این موضوع موجب کندی میکروپروسسور شده و زمان اجرای Instruction را طولانی می‌نماید (20 μsec) زمان Instruction cycle می‌باشد.

ارتباط این ریزپردازنده ۸ بیتی با دنیای خارج فقط با ۱۸ pin انجام می‌شود، و این محدودیت با دنیای خارج است که اشکال در

سیستم Bus این پروسسور ایجاد کرده است. این محدودیت‌ها طراحان کمپانی Intel را بر آن داشت که از یک طرف با ایجاد توسعه بیشتر ارتباط با دنیای خارج (40 pin به‌جای (18 pin) و از طرف دیگر با گزینش تکنولوژی n-channel MOS به جای P-MOS به کارآئی و سرعت میکروپروسسور بیفزایند نتیجه این پیشرفت بصورت میکرو-پروسسور 8080 در سال ۱۹۳۷ اعلام گردید.

در این پروسسور مسأله Multiplexing که در ۸۰۰۸ بود با ایجاد ۱۶ خط آدرس و ۸ خط Data حل شده است و علاوه برآن یک Bank از RAM به‌صورت ۶ رجیستر ۱۶ بیتی در یک قسمت از Chip به‌صورت ۶ عدد Gen eral purpose رجیستر در نظر گرفته شده است که کارآئی فوق‌العاده‌ای نسبت به Chip ۸۰۰۸ به ۸۰۸۰ نشان می‌دهد. تعداد ترانزیستورها به‌کار رفته در ۸۰۸۰ در حدود ۴۵۰۰ N-MOS در مقابل ۳۰۰۰ ترانزیستور P-MOS در ۸۰۰۸ می‌دهد.

از لحاظ مساحت Chip میکروپروسسور ۸۰۸۰ ۴۶% بیشتر از ۸۰۰۸ جا اشغال کرده است ولی این موضوع بیشتر در رابطه با افزایش توان محاسباتی در واحد Alu می‌باشد.

زمان اجرای دستورالعمل در ۸۰۸۰ نسبت به ۸۰۰۸ خیلی سریع‌تر است ۲ میکروثانیه به ۲۰ میکروثانیه این ۱۰ برابر افزایش سرعت همراه با توان محاسباتی و کارآئی بیشتر چیپ ۸۰۸۰ در ظرف مدتی کمتر از دو سال خود مبین پیشرفت سریع در طراحی و تکنولوژی ریزپردازنده‌ها است.

گرچه ریزپردازنده‌هائی نظیر ۶۸۰۰ که فقط با منبع ۵ ولت کار می‌کرد توسط موتور الا در سال ۱۹۷۴ اعلام گردید و اولین میکرو-پروسسور C-MOS ۱۸۰۲ توسط RCA معرفی شد و اولین میکروپروسسور ۱۶ بیتی بر روی یک چیپ به‌نام PACE توسط National Semi... در همین سال به‌اطلاع همگان رسانده شد. ما در بررسی روند تکنولوژی میکروپروسسور ۸ بیتی ۸۰ Z را که از لحاظ کارآئی و تطابق نرم-افزاری با ریزپردازنده ۸۰۸۰ قابل مقایسه است مورد توجه قرار می‌دهیم. این میکروپروسسور در سال ۱۹۷۶ توسط Zilog ساخته شده است با مقایسه با ۸۰۸۰ که آن هم از N-MOS و Silicon qate بوده ولی باولتاژ بالاتر کار می‌کند و از سه منبع ولتاژ ۵+ ولت و ۱۲ ولت استفاده می‌نماید در صورتی‌که ۸۰-Z با ولتاژ پائین‌تر کار می‌کند و فقط یک منبع ۵ ولت برای Chip آن کافی است. در ۸۰ Z برای مقاومت با راز Depletion Mode MOSFET استفاده شده است. تعداد ترانزیستورهای بکار رفته در ۸۰ Z در حدود ۸۰۰۰ در مقابل ۴۵۰۰ در ۸۰۸۰ می‌باشد. اندازه Chip ۸۰ Z در حدود $27\ mm^2$ و ۸۰۸۰ در حدود $22\ mm^2$ است.

این موضوع که با تقریبا" تعداد ترانزیستورهای دو برابر در ۸۰ Z فقط مساحتی بیش از ۲۰% نسبت Chip به ۸۰۸۰ لازم داشته است نشانه کوچکتر شدن المان‌های بکار رفته در تکنولوژی N-channel و پیشرفت در طراحی است.

تعداد ترانزیستورهای به‌کار رفته برای اجرای Instruction Decoder و به‌وجود آوردن Micro code در ۸۰ Z برابر با ۳۷۰۰ ترانزیستور بوده در حالی‌که در ۸۰۸۰ برابر است با ۱۸۰۰ ترانزیستور و این مقایسه‌برتری ۸۰ Z را از لحاظ قدرت دستورالعمل‌ها نسبت به ۸۰۸۰ نشان می‌دهد. در حالی‌که هر دو چیپ دارای ۴۰ pin هستند وقتی این پایه را با هم مقایسه کنیم و قابلیت‌هائی را نظیر پایه N M I (non Maskable Intrupt) و BUSRQ و BUSAK و نظائر آن ملاحظه نمائیم که در ۸۰۸۰ نیست آن وقت اهمیت ترانزیستورهای بیشتری‌که در سخت افزار ۸۰ Z به‌کار رفته، بیشتر روشن می‌شود.

از لحاظ سیستم Clock نیز ۸۰۸۰ با سیستم دوفازه و ماکزیمم فرکانس در حدود 2MHz کار می‌کند در حالی که ۸۰ Z دارای سیستم Clock یک فازه با ماکزیمم فرکانس ۴ مگا هرتز کار می‌کند.

تعداد رجیسترهای همه منظوره (General purpose) در ۸۰ Z برابر ۱۴ عدد بوده و در ۸۰۸۰ برابر با ۸ عدد می‌باشد. فاصله بین ۸۰ Z و Z-8000 در حدود ۳ سال بوده است و ظرف این مدت تکنولوژی ساخت IC دچار یک تحول عمیق شده که سوپچ از 80 Z را به Z-8000 ممکن ساخته است. اگر به ارقام تشکیل دهنده دو سیستم نگاه کنیم و آنها را هم مقایسه کنیم، عمق این تحول برایمان روشن خواهد شد.

تعداد ترانزیستورهای تشکیل دهنده ۸۰ Z برابر با ۸۰۰۰ و ۸۰۰۰ Z برابر با ۱۷۵۰۰ می‌باشد که کمی بیش از ۲ برابر است ولی مساحت‌های تشکیل دهنده دوچیپ به‌ترتیب برابر با 27.1 و 39.3 میلی مترمربع یعنی کمتر از ۱/۵ برابر است.

تعداد ترانزیستورهای به کار رفته برای Decode کردن Instruction و بوجود آوردن مایکرو کد در ۸۰ Z حدود 3700 و در Z-8000 در حدود 8700 یعنی بیش از ۲ برابر می‌باشد. چنانچه به تعداد Instruction های Chip نگاه کنیم ۸۰ Z دارای ۱۲۸ دستورالعمل و Z-8000 دارای ۴۱۴ دستورالعمل می‌باشد یعنی در حدود ۴ برابر است. مقایسه این ارقام حقایق زیر را روشن می‌سازد:

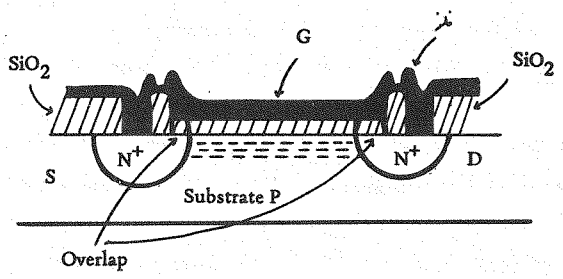
۱- در حالی‌که تعداد ترانزیستورهای دو چیپ یکی بیش از ۲ برابر دیگری است ولی مساحت کمتر از ۱/۵ بوده است نشان می‌دهد که درساختمان N-channel MOS از سال ۱۹۷۶ تا ۱۹۷۹ تغییرات اساسی رخ داده است اگرچه Chip های Z-80 و Z-8000 هر دو از Silicon gate و N-channel MOS هستند ولی طول Channel در Z۸۰ در حدود ۵ میکرون و در Z-8000 در حدود ۳ میکرون می‌باشد. این موضوع علاوه بر کم کردن مساحت ترانزیستور در سرعت آنها نیز تاثیر دارد. بخصوص کم شدن طول Channel خازنهای CGC یعنی خازن Gate و Channel و CBC یعنی خازن Bulk و Channel موجب افزایش سرعت MOS FET می‌گردد. ماکزیمم فرکانس Clock در دو چیپ 4 MHz برای Z-80 و 8-MHz از آن Z-8000 است. کاهش اندازه‌های N-MOS همراه با طول Channel به‌نام Scaledown نامیده بود، می‌شود و MOS FET در این مورد H-MOS یعنی

High Performance MOS خوانده می‌شود بنابراین Z-8000 از H–MOS حته شده است.

علاوه بر مساله تکنولوژی پیشرفت در طراحی آرشیتک سخت ـ افزار و نرم افزار نیز حاصل شده است که قابلیت Z–8000 Chip را نسبت به Z–80 نشان می‌دهد. یکی از قابلیت‌ها که خیلی اهمیت دارد تعداد Instruction های دو چیپ است که در Z–8000 این تعداد چهار برابر Z–80 می‌باشد. سیستم Memory Management که در Z–8000 وجود دارد ۲۳ خط آدرس را که می‌توانـد تـا 8M–Byte حافظه را آدرس نماید به ۲۴ خط آدرس تبدیل می‌نماید و تا 16–M Byte آدرسینگ را امکان‌پذیر می‌سازد علاوه بر این Memory Management این امکان را بوجود آورده است که برنامه‌ـ نویس به آدرس واقعی و فیزیکی حافظه کاری نداشته باشد و توسط این واحد آدرس‌های فرضی به آدرس‌های حقیقی تبدیل می‌شود. بنابراین این تبدیل توسط سخت افزار به سادگی حل شده است این قابلیت‌ها و قدرت‌ها مرهون پیشرفت و تحول هم در تکنولوژی IC و هم در طراحی سیستم می‌باشد (درمورد میکروپروسسورهای موتورآلا (Motorala) به‌اختصار مقایسه‌ای به‌عمل آمده است. چیپ 6800 دارای 5000 MOS و 6802 که RAM به 6800 اضافه شده دارای ۱۲۰۰۰ و 6809 MC دارای ۱۵۰۰۰ و 6801 MC که RAM و ROM به‌صورت ورودی و خروجی اضافه شده دارای ۴۰۰۰۰ و بالاخـره 68000 M دارای 68000 MOS FET می‌باشد.

اکنون به‌طور اختصار به‌تشریح تحول و پیشرفت در تکنولوژی IC می‌پردازیم:

چون پایه تکنولوژی میکروپروسسورها بر روی MOS FET است لذا ابتدا به معرفی ترانزیستور MOS می‌پردازیم:

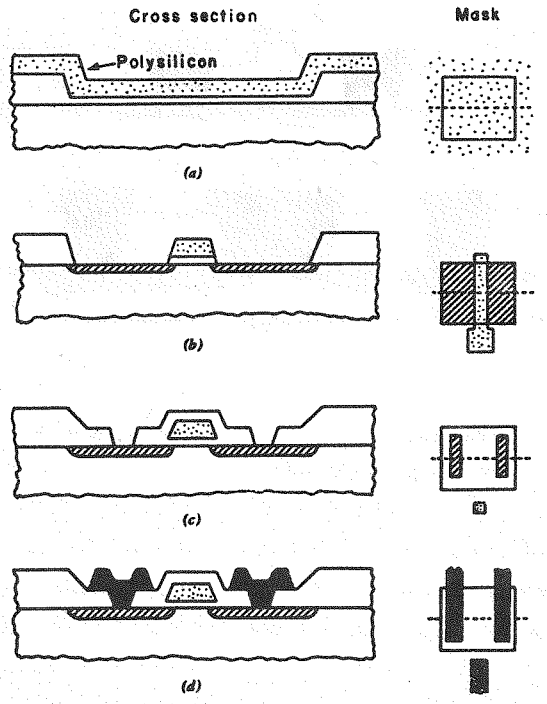


N–channel MOS

یک ترانزیستور N–MOS از نفوذ دو ناحیه N^+ در داخل Substrate نوع P با فاصله معین از هم که طول Channel را تعیین می‌کند، تشکیل شده است این دو ناحیه N^+ یکی Source N^+ و یکی Drain N^+ نامیده می‌شود. در فاصله بین S و D اتصال فلزی Gate بر روی عایق SiO_2 قرار دارد و اتصالات فلزی S و D مستقیما" به N^+ می‌رسد مطابق شکل زیر:

با توجه به شکل (۱) ملاحظه می‌شود: ناحیه Gate با Source و Drain بایستی ناحیه مشترک داشته باشد وگرنه Channel تشکیل نخواهد شد ولو پتانسیل کافی مثبت به Gate اعمال شود. ولی خاصیت خازنی ناحیه‌های over lap زیاد است و با زیاد شدن ناحیه overlap این خازن‌ها مقادیر زیادتری پیدا می‌کنند که موجب کندی MOSFET می‌گردد. به‌علت مساله Align کردن Mask و تلرانس لازم به‌خاطر Mis alignment ناچار به‌حد کافی باید overlap ایجاد کرد تا اطمینان از تشکیل Channel حاصل شود و لذا خازنهای CCD و CGS مربوط به overlap زیاد می‌شود لذا تکنولوژی وارد مرحله دیگری می‌گردد تا این امکان را رفع نماید و متدی به‌نام Self – Aligned Gate Structre به شرح زیر مطرح می‌گردد:

مراحل مختلف تکنولوژی در شکل (۲) در قسمت‌های (a) و (b) و (c) و (d) مشخص گردیده است.

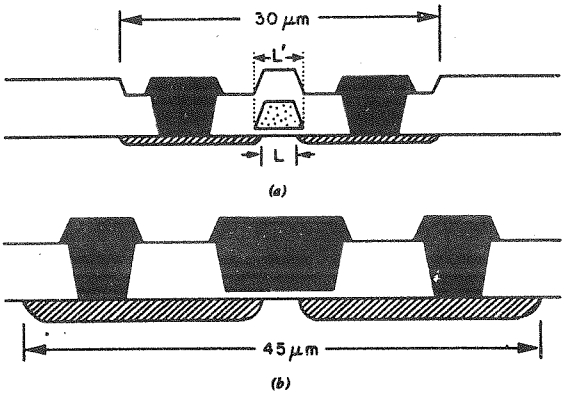


شکل (۲) نحوهٔ ساختن سیلیکن Gate

مطابق شکل ۲ پس از به وجود آمدن لایه SiO_2 لایه‌ای از Polysilicon) بر روی آن می‌نشانند و با به کارگیری Mask لازم، آن را Etch می‌کنند و فقط پلی سیلیکن در قسمت Gate باقی می‌ماند سپس ناحیه S و D را به صورت N^+ نفوذ می‌دهند و روی همه آنها SiO_2 به وجود می‌آورند و با بکار بردن ماسک سوم قسمت SiO_2 مربوط به S و D را از بین می‌برند. تا آماده برای اتصال فلز

بشود . اتصالات لازم فلزی پس از نشاندن بخارات فلز توسط Mask چهارم مشخص می‌شود .

مزایای Silicon gate نسبت به metal Gate در این است که وجود Silicon gate خود تعیین کننده برای ایجاد overlap لازم در موقع Diffusion ناخالصی نوع N است ، زیرا علاوه بر نفوذ در قسمت سطحی و جانبی وجود دارد که همین مقدار نفوذ برای ایجاد overlap لازم برای تشکیل Channel کافی است لذا بدین وسیله Minimum مساحت در قسمت overlap ایجاد می‌شود و لذا خازنهای CGD و CGS مینیمم می‌شوند و سرعت MOS FET بالا می‌رود ، برای مقایسه دو روش از شکل ۳ استفاده می‌شود و ملاحظه می‌گردد که چگونه اندازه MOS FET در Silicon gate به‌مراتب کوچکتر از Metal Gate شده در حالی که طول Channel در هر دو یکی است .



شکل ۳ مقایسه اندازه‌های Silicon gate, و Metal Gate, N–Channel MOS

یکی دیگر از محسنات Silicon gate این است که می‌توان توسط این Polysilicon به کار رفته در Gate اتصالات بین MOSFET ها را انجام داد و سپس اتصال فلزی را بر روی این کریستال به وجود آورد .

گرچه از لحاظ اقتصادی استفاده از Silicon gate گران‌تر از Metal Gate است ولی به علت مزایای بیان شده در تکنولوژی از این روش استفاده می‌شود .

علاوه براستفاده از Silicon gate در تکنولوژی به علت پیشرفت در Processing و به وجود آمدن Resulution بهتر پهنای خطوط بکار رفته کمتر شده و در نتیجه طول Channel نیز کوچکتر می‌گردد این موضوع علاوه بر بالا بردن Packing Density به علت کم کردن زمان عبور ناقلها در طول Channel و در عین حال کم کردن خازنهای گیت Channel و Bulk–Channel سرعت MOSFET را بالا می‌برد . ترانزیستور MOSFET که در نتیجه این بهبودها به دست آمده است به عنوان High Performance MOS قلمداد شده و به صورت اختصاری H–MOS نامیده می‌شود و به تدریج که طول Channel کوچکتر می‌گردد بصورت H–MOS II و H–MOS III تلقی می‌گردد . جدول زیر این تحولات را در طول زمان نشان می‌دهد .

جدول تغییرات

پارامتر	n–MOS (1976)	N–MQS (1977)	H–MOSII (1979)	H–MOSIII (1982)
طول کانال به μ	6	3	2	1.5
Gate–Delay (Msec)	4	1	0.4	0.2
Delay-Power Product (P.J)	4	1	0.5	0.25

با توجه به بهبود پارامترهای H–MOS این سوءال مطرح می‌شود که این بهبود تا کجا ادامه پیدا می‌کند . هر چند که در Processing روشهای مدرن مثل Dry Etching به صورت Plasma Etching جای Wet Etching را گرفته و فتولیتوگرافی نیز با توجه به X–Ray و یا Electron beam در بالا بردن Resulusion نیز موءثر است . آیا MOSFET می‌تواند به‌همان نسبت کوچک شود و لذا هم Packing Density و هم سرعت بالا برود ؟

جواب این سوال در رابطه با مشخصه الکتریکی MOSFET داده می‌شود چنانچه طول کانال از 0.2μ کمتر شود ، پدیده‌های Complex نظیر voltage Breakdown و punch–trough اتفاق می‌افتد یعنی جریان بین Source و Drain عبور می‌کنند بدون کنترل Gate و لذا مشخصه الکتریکی Device ایجاد limit برای این تحول می‌نماید .

در رابطه با تکنولوژی V L S I به علت محدودیت گرمائی در Chip ، نمی‌توان تعداد بسیار زیادی المان N–MOS را در یکجا جمع کرد (تا ۱۰۰۰۰۰) بنابراین از تکنولوژی C–MOS در این مورد استفاده می‌شود چون C–MOS تلفات توانی بسیار اندک در Stand–by دارد و فقط در حالت Transition توان کمی مصرف می‌نماید .

در تکنولوژی C–MOS نیز که از ترکیب N–MOS و P–MOS به وجود آمده است ، به جای فلز از Silicon gate استفاده می‌شود و بدین وسیله طول چانال چه در ناحیه N و یا در ناحیه P کم می‌گردد و بدین وسیله هم Packing Dentity و هم سرعت C-MOS افزایش پیدا می‌کند .

منابع :

1– Elliot, David-J. *Integrated Circuit Fabrication Technology*. Mc-Graw Hill: Book Company. 1982.

2– Muroga, Saburo. *Vlsi Systme Design*. John Wiley & Sons. 1982.