

# صنعت جهانی نیمه‌رسانا

مترجم

سبحان مرادی

در نوامبر ۲۰۲۰، اپل<sup>۱</sup> سه مدل کامپیوتر جدید مک<sup>۲</sup> را با استفاده از پردازنده اموان<sup>۳</sup> معرفی کرد و به تجارت خود با اینتل<sup>۴</sup> به عنوان یکی از تامین کنندگان اصلی پردازنده‌های محصولات شرکت اپل پس از ۱۵ سال همکاری پایان داد. پردازنده‌های اپل، برخلاف معماری ایکس ۸۶<sup>۵</sup> که در تراشه‌های اینتل استفاده می‌شدند، بر اساس فناوری آرم<sup>۶</sup> طراحی شده بودند. پردازنده‌های اموان توسط شرکت تایوان سمیکانداکتینگ (تی‌اس‌ام‌سی)<sup>۷</sup> ساخته می‌شدند. زمانی که اپل برای تامین پردازنده‌های محصولات خود، همکاری جدیدی را با شرکت تی‌اس‌ام‌سی آغاز نمود، در منظر فعالان این حوزه، سؤالاتی درباره صنعت نیمه‌رسانا (صنایع مادر در زمینه تولید پردازنده‌ها و قطعات اصلی الکترونیکی) در سطوح جهانی مطرح شد. آیا اینتل در رقابت برای تولید پردازنده‌های قدرتمندتر، عقب افتاده است؟ آیا دیگر شرکت‌های فناوری بزرگ نیز تصمیم خواهند گرفت که تراشه‌های شخصی‌سازی شده‌ی خودشان را طراحی کنند؟ آیا مدل برون‌سپاری بر اساس تولید قراردادی، نسبت به مدل اینتل برای طراحی و تولید تراشه‌های برند خود برتری دارد؟ آیا شرکت‌های چینی تولیدکننده نیمه‌رسانا قادر خواهند بود تا فاصله فناوری خود را با اینتل، سامسونگ و تی‌اس‌ام‌سی کم کنند؟ یا آیا تولیدکنندگان چینی برای دسترسی به فناوری نیمه‌رسانای پیشرفته، وابسته به آمریکا، تایوان، کره و سایر کشورها باقی خواهند ماند؟

## نیمه‌رساناها

تراشه‌های نیمه‌رسانا مغزهای الکترونیکی مدرن هستند. در صنعت مدل‌های مختلفی از آن‌ها گاهی به عنوان مدارهای یکپارچه<sup>۸</sup>، ریزپردازنده‌ها، میکروتراشه‌ها یا فقط تراشه‌ها شناخته می‌شوند. آن‌ها در دستگاه‌ها و فناوری‌های مختلفی مانند دستگاه‌های پزشکی، ارتباطات، رایانش، دفاعی، حمل و نقل، انرژی و فناوری‌های آینده مانند هوش مصنوعی، رایانش کوانتومی، اینترنت اشیاء صنعتی و شبکه‌های بی‌سیم پیشرفته مورد استفاده قرار می‌گیرند.<sup>(۱)</sup> بدون تراشه‌های نیمه‌رسانا، تلفن همراه، تلویزیون‌های مدرن، کامپیوترها، بازی‌های ویدیویی، تجهیزات تشخیص پزشکی پیشرفته و محصولاتمانند خودروها و لوازم برقی وجود نداشتند. تراشه‌ها دنیای فیزیکی را به دنیای دیجیتال متصل می‌کنند و بدون آن‌ها بسیاری از محصولات و برنامه‌هایی که در زندگی به آن‌ها عادت کرده‌ایم، دیگر وجود نخواهند داشت.<sup>(۲)</sup>

رقابت در صنعت تراشه‌سازی به دلیل تغییرات سریع فناوری، معرفی محصولات جدید و فراوانی زیاد مدل‌ها و رقبای جدید در صنعت که محصولاتی با کارایی بیشتر از محصولات موجود تولید می‌کنند، بسیار شدید است. تقاضا نیز بسیار متنوع است، به خصوص برای تراشه‌هایی که در بخش‌های ارتباطات و الکترونیک با سرعتی بالا استفاده و مصرف می‌شوند. محصولات نوظهوری که پرچم‌داران جدید برندها هستند و نسبت به محصولات نسل قبلی خود ارتقاء می‌یابند (محصولاتی مانند آخرین مدل‌های آیفون<sup>۹</sup>) می‌توانند تقاضای تراشه‌ها را افزایش دهند، در حالی که رکودهای اقتصادی، محصولات قدیمی که توسط مشتریان جایگزین نمی‌شوند و اقدامات تجاری مانند تحریم‌ها یا تعرفه‌های مالیاتی شدید می‌توانند تقاضا را کاهش دهند.

فروش جهانی تراشه‌ها در سال ۲۰۲۰ بیش از ۵۰۰ میلیارد دلار بود و پیش‌بینی می‌شود که روند افزایشی آن ادامه پیدا کند. شرکت‌های مستقر در ایالات متحده حدود نیمی از این حجم فروش را به خود اختصاص داده‌اند و بیش از ۸۰ درصد از این فروش به مشتریان غیر از ایالات متحده صورت می‌گیرد. بخش محاسبات و پردازش داده با ۳۴ درصد فروش بزرگترین قسمت از این بازار است، به دنبال آن الکترونیک ارتباطی (۳۰ درصد)،

<sup>1</sup> Apple

<sup>2</sup> Mac

<sup>3</sup> Apple's M1 Processor

<sup>4</sup> Intel

<sup>5</sup> x86

<sup>6</sup> Arm

<sup>7</sup> Taiwan Semiconductor Manufacturing (TSMC)

<sup>8</sup> Integrated Circuit

<sup>9</sup> iPhone

الکترونیک صنعتی (۱۳ درصد)، خودرویی (۱۲ درصد) و الکترونیک مصرفی (۹ درصد) بخش‌های دیگر در این بازار از لحاظ حجم فروش می‌باشند.<sup>(۳)</sup>

## پیشینه صنعت

در دهه ۱۹۴۰، ترانزیستور<sup>۱۰</sup> ها توسط آزمایشگاه بل<sup>۱۱</sup> اختراع شدند. ترانزیستورها به عنوان قطعه اصلی در تولید رادیوها، تلویزیون‌ها و سایر محصولات الکترونیکی و همچنین در بسیاری از کاربردهای صنعتی و نظامی استفاده شدند. در دهه ۱۹۵۰، شرکت‌هایی مانند تگزاس اینسترومنتس<sup>۱۲</sup> و فیرچایلد سمیکنداکتور<sup>۱۳</sup> به رهبران تولید ترانزیستورهای از جنس سیلیکون تبدیل شدند که به اختراع مدارهای یکپارچه منجر شد. مدار یکپارچه یک تراشه نازک است که معمولاً از سیلیکون تشکیل شده و حداقل از دو جزء نیمه‌رسانا (به خصوص ترانزیستورها) که به یکدیگر متصل‌اند، تشکیل شده است. مدار یکپارچه امکان استفاده از برنامه‌های قدرتمند، سبک و کوچک‌تر را با ادغام قطعات در یک تراشه فراهم می‌کند. تولید این مدارهای یکپارچه اولیه، آغازگر تولد صنعت نیمه‌رسانای مدرن بود.

گوردون مور<sup>۱۴</sup>، یکی از بنیانگذاران اینتل که سابقاً در شرکت فیرچایلد سمیکنداکتور نیز فعالیت داشته‌است، "قانون مور"<sup>۱۵</sup> را مطرح کرد که بیانگر این است که تعداد ترانزیستورها در یک تراشه هر دو سال تقریباً دو برابر می‌شود. اولین ریزپردازنده اینتل در نوامبر ۱۹۷۱ عرضه شد و شامل ۲۳۰۰ ترانزیستور بود. مدل بعدی که در اولین کامپیوتر شخصی آی‌بی‌ام<sup>۱۶</sup> در سال ۱۹۷۹ استفاده شد، شامل ۲۹۰۰۰ ترانزیستور بود. تراشه‌های مدرن در سال ۲۰۲۰ میلیارد ترانزیستور دارند. با اینکه محدودیت‌های فیزیکی بر قانون مور تأثیر دارند و سرعت پیشرفت نیمه‌رساناها را کاهش داده‌اند، اما این صنعت همچنان در حال نوآوری و ایجاد تراشه‌های با عملکرد بهتر است. تراشه پاور<sup>۱۷</sup> آی‌بی‌ام که در سال ۲۰۲۰ معرفی شد، نسبت به نسل قبلی خود ۵۰ درصد کاهش ابعادی داشت (تقریباً معادل اندازه یک تمبر) و شامل ۱۸ میلیارد ترانزیستور بود. این تراشه توسط شرکت سامسونگ<sup>۱۸</sup> تولید شد.

نیمه‌رساناها بر اساس عملکرد و نوع مدار دسته‌بندی می‌شوند. چهار دسته اصلی نیمه‌رساناها (بر اساس عملکرد) تراشه‌های حافظه، ریزپردازنده‌ها، تراشه‌های استاندارد و سیستم‌های یکپارچه روی تراشه<sup>۱۹</sup> هستند. تراشه‌های حافظه، مدار یکپارچه‌ای هستند که از میلیون‌ها خازن<sup>۲۰</sup> و ترانزیستور تشکیل شده و قادر به ذخیره داده هستند. آن‌ها می‌توانند حافظه‌های موقت (نظیر حافظه دینامیکی تصادفی<sup>۲۱</sup> که در کامپیوترهای شخصی استفاده می‌شوند) یا حافظه‌های دائمی (نظیر حافظه‌های یواس‌بی<sup>۲۲</sup> و درایوهای سخت‌افزاری<sup>۲۳</sup>) باشند.<sup>(۴)</sup> صنعت تراشه‌های حافظه به طور متناوب در حال تغییر است و قیمت‌ها نیز مانند بازار کالاهای عمده فروشی پیوسته در حال صعود و نزول می‌باشند.

<sup>10</sup> Transistor

<sup>11</sup> Bell's Labs

<sup>12</sup> Texas Instruments

<sup>13</sup> Fairchild Semiconductor

<sup>14</sup> Gordon Moore

<sup>15</sup> Moore's Law

<sup>16</sup> IBM

<sup>17</sup> Power 10

<sup>18</sup> Samsung

<sup>19</sup> System on a Chip (SoC)

<sup>20</sup> Capacitor

<sup>21</sup> Dynamic Random Access Memory (DRAM)

<sup>22</sup> USB

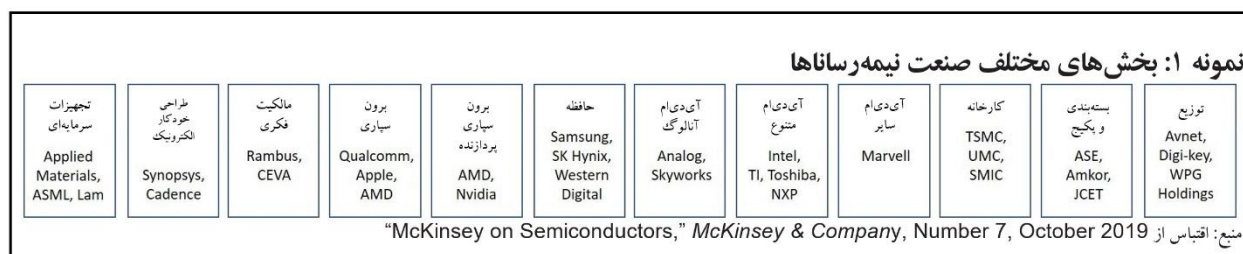
<sup>23</sup> Hard-Drives

ریزپردازنده نوعی از مدار یکپارچه متعلق به یک کامپیوتر است که شامل یک واحد پردازش اصلی نصب شده بر روی تراشه یکپارچه است. همانند پردازنده‌های مرکزی<sup>۲۴</sup> یا پردازنده‌های گرافیکی<sup>۲۵</sup>. بزرگترین شرکت‌های تولیدکننده ریزپردازنده شامل اینتل، ای‌ام‌دی<sup>۲۶</sup>، انویدیا<sup>۲۷</sup> و سامسونگ هستند. تراشه‌های استاندارد، که با نام عمومی آی‌سی شناخته می‌شوند، تراشه‌های ساده‌ای هستند که برای انجام عملیات‌های پردازشی تکرار شونده استفاده می‌شوند. اس‌اوسی یک مدار یکپارچه است که یک مدار زیرساختی منفرد را در بر گرفته و یک سیستم الکترونیکی یا کامپیوتر را در داخل یک آی‌سی یکپارچه می‌کند. اس‌اوسی در محصولات فناوری قابل حمل مانند تلفن همراه، دوربین‌ها، تبلت‌ها و کنسول‌های بازی استفاده می‌شود. سامسونگ، کوالکام<sup>۲۸</sup> و اپل طراحان اصلی اس‌اوسی بودند.

بر اساس مدل مدار یکپارچه، نیمه‌رساناها به طور گسترده به عنوان دستگاه‌های آنالوگ و دستگاه‌های منطقی (دیجیتال) دسته‌بندی می‌شوند. نیمه‌رساناهای آنالوگ وظایفی مانند کنترل و تنظیم ویژگی‌هایی از جمله دما، سرعت، صدا و جریان الکتریکی را دارند. بخش خودروسازی یکی از بزرگترین بازارهای تراشه‌های آنالوگ است. از طرف دیگر نیمه‌رساناهای دیجیتال اطلاعات دودویی را پردازش می‌کنند، مانند آنچه که در پردازنده‌های پیشرفته، پردازنده‌های گرافیکی و تراشه‌های هوش مصنوعی استفاده می‌شود. علاوه بر دو نوع دسته‌بندی آنالوگ و دیجیتال، نوع دیگری از پردازنده‌های نیمه‌رسانا به نام دستگاه‌های سیگنال مختلط نیز وجود دارند. دستگاه‌های سیگنال مختلط هم‌زمان پردازش‌های آنالوگ و دیجیتال را در یک تراشه یکپارچه ترکیب می‌کنند و قابلیت برقراری ارتباط بین الکترونیک دیجیتال با جهان بیرون را فراهم می‌کنند.<sup>(۵)</sup> در حوالی سال ۲۰۱۰، ایالات متحده در حوزه فناوری پردازش منطقی حدود دو سال از رقبای نزدیک خود، یعنی کره جنوبی و تایوان جلوتر بود. این سه کشور در توسعه فناوری تقریباً با یکدیگر مشابه بودند و چین نیز به طور گسترده‌ای سرمایه‌گذاری می‌کرد تا به جایگاه آن‌ها دست یابد.

## ساختار صنعت

یک دید کلی ساده از مجموعه فعالیت‌هایی که در صنعت نیمه‌رساناها انجام می‌شود، دو فعالیت اصلی را نشان می‌دهد: طراحی و تولید. شرکت‌هایی که در طراحی تمرکز می‌کنند به عنوان شرکت‌های بدون واحد تولید<sup>۲۹</sup> شناخته می‌شوند (به این معنی که فرآیند تولید را برون‌سپاری می‌کنند)، در حالی که شرکت‌هایی که فقط در تولید تمرکز می‌کنند به عنوان کارخانه‌ها شناخته می‌شوند. شرکت‌های نیمه‌رسانا که طراحی، تولید و فروش نیمه‌رساناها را در بر می‌گیرند به عنوان تولیدکننده یکپارچه قطعه یا آی‌دی‌ام<sup>۳۰</sup> شناخته می‌شوند. در شکل ۱، دید کلی از ساختار صنعت همراه با برخی از شرکت‌های برجسته در هر بخش صنعت نشان داده شده است.



<sup>24</sup> CPU

<sup>25</sup> GPU

<sup>26</sup> AMD

<sup>27</sup> NVIDIA

<sup>28</sup> Qualcomm

<sup>29</sup> Fabless Firm

<sup>30</sup> IDM

در چند دهه اول از تاریخ آغاز فعالیت صنعت کامپیوتر و نیمه‌رسانا، شرکت‌های بزرگی مانند آی‌بی‌ام و ای‌تی‌اند تی<sup>۳۱</sup> ادغام‌های عمودی داشتند (به این معنا که در ساختار زنجیره تامین و تولید و توزیع صنعت، در تمامی قسمت‌های مختلف فعالیت می‌کردند). آن‌ها در زمینه تحقیق و توسعه، طراحی، تولید و به کارگیری قطعات در محصول نهایی فعالیت داشتند. همچنین بعد از آن نیز محصولات را به مشتریان به صورت نقدی یا اقساطی می‌فروختند.<sup>(۶)</sup> در دهه ۱۹۵۰، شرکت‌های تجاری نیمه‌رسانا در ایالات متحده ظاهر شدند و در دهه ۱۹۶۰، تولیدکنندگان تخصصی تجهیزات نیمه‌رسانا تشکیل شدند. در دهه‌های بعدی، همچنان که صنعت پیچیده‌تر و جهانی‌تر می‌شد، تخصصی شدن در حوزه‌های فعالیت اهمیت بیشتری یافت.

موارد متعددی موجب افزایش یافتن اهمیت تخصص به جای ادغام عمودی در یک شرکت می‌شوند. افزایش بازارهای نیمه‌رسانا در چند دهه گذشته، شرکت‌های طراحی و تولید نیمه‌رسانا را بر آن داشت که با تخصصی شدن در فضای توسعه عمودی از بهره‌وری اقتصادی برخوردار شوند.<sup>(۷)</sup> در این صنعت، میزان مبلغ سرمایه مورد نیاز بسیار هنگفت است. به عنوان مثال، کارخانه جدید اینتل در آریزونا با نام فاب ۳۴۲ که در سال ۲۰۲۰ تأسیس شد، بیش از ۷ میلیارد دلار هزینه داشت. پس از ساخت نیز تجهیزات باید هر دو الی سه سال مورد بازسازی قرار گیرند. چرخه‌های طراحی برای نیمه‌رساناهای جدید کوتاه‌تر شده است و چرخه‌های عمر محصول نامطمئن‌تر شده‌اند که این امر باعث افزایش خطرات سرمایه‌گذاری در تولید شده است. هر مرحله از زنجیره ارزش صنعت نیازمند مهارت‌های بسیار تخصصی است، بنابراین غیرممکن است که یک شرکت به تنهایی تمامی این مهارت‌ها را داشته باشد.

---

<sup>31</sup> AT&T

<sup>32</sup> Fab 42

## زنجیره ارزش جهانی

تقریباً هیچ صنعتی، زنجیره ارزشی پیچیده تر و پراکنده تر (از لحاظ جغرافیایی) از صنعت نیمه‌رساناها ندارد. ساخت یک تراشه نیمه‌رسانا نیاز به هزاران نفر با دانش تخصصی دارد که از صنایع مختلف، کشورها و مناطق مختلف گرد هم آمده‌اند. یک مطالعه انجام شده توسط شرکت اکسنچر<sup>۳۳</sup> و اتحادیه جهانی نیمه‌رسانا<sup>۳۴</sup> این صنعت را به عنوان یک اکوسیستم جهانی توصیف کرد. آن‌ها متوجه شدند که "هر بخش از زنجیره ارزش نیمه‌رسانا به صورت میانگین ۲۵ کشور را به صورت مستقیم در زنجیره تامین دخیل می‌کند و ۲۳ کشور در بازارهای حمایتی و حاشیه‌ای آن دخیل می‌شوند. یک محصول نیمه‌رسانا ممکن است قبل از رسیدن به مشتری نهایی، بیش از ۷۰ بار از مرزهای بین‌المللی عبور کند."<sup>(۸)</sup>

هیچ کشوری توانمندی‌های لازم برای طراحی و تولید نیمه‌رسانا را به صورت کامل از ابتدا تا انتها نداشته است. در سطح ملی، تخصص‌ها در حال تکامل بوده‌اند. کانادا، کشورهای اروپایی و ایالات متحده تمایل به تخصصی‌سازی در حوزه طراحی نیمه‌رسانا همراه با تولید آن به صورت پیشرفته دارند. ژاپن، ایالات متحده و برخی کشورهای اروپایی در تأمین تجهیزات و مواد خام تخصص دارند. چین، تایوان، مالزی و سایر کشورهای آسیایی به تخصص در تولید، جمع‌آوری، آزمایش و بسته‌بندی متمایل هستند. کانادا، چین، آلمان، هند، اسرائیل، سنگاپور، کره جنوبی، انگلستان و ایالات متحده همگی مراکز مهمی برای تحقیق و توسعه نیمه‌رسانا هستند. شرکت‌های بزرگ نیمه‌رسانایی زیرساخت‌هایی را در کشورهایی مانند کاستاریکا، لتونی، مکزیک، آفریقای جنوبی و ویتنام تأسیس نموده‌اند.<sup>(۹)</sup> از سال ۲۰۱۰، نرخ متوسط تولید تراشه در خارج ایالات متحده پنج برابر سریع‌تر از داخل ایالات متحده رشد کرده است.<sup>(۱۰)</sup> شکل ۲ ظرفیت تولید بر اساس کشور را نشان می‌دهد.

### شکل ۲: ظرفیت تولید نیمه‌رساناها

ظرفیت تولید تراشه‌های مستطیلی در ابعاد ۳۰۰ میلی‌متر بر حسب کشور یا منطقه در سال‌های ۲۰۱۵ و ۲۰۱۹

کشور/منطقه	۲۰۱۵	۲۰۱۹
کره جنوبی	٪۲۶	٪۲۸
تایوان	٪۲۴	٪۲۲
ژاپن	٪۱۸	٪۱۶
چین	٪۸	٪۱۲
آمریکای شمالی	٪۱۳	٪۱۱
اروپا	٪۳	٪۳
دیگر کشورهای جهان	٪۹	٪۷

منبع: IC Insights, Global Wafer Capacity, 2020-2024

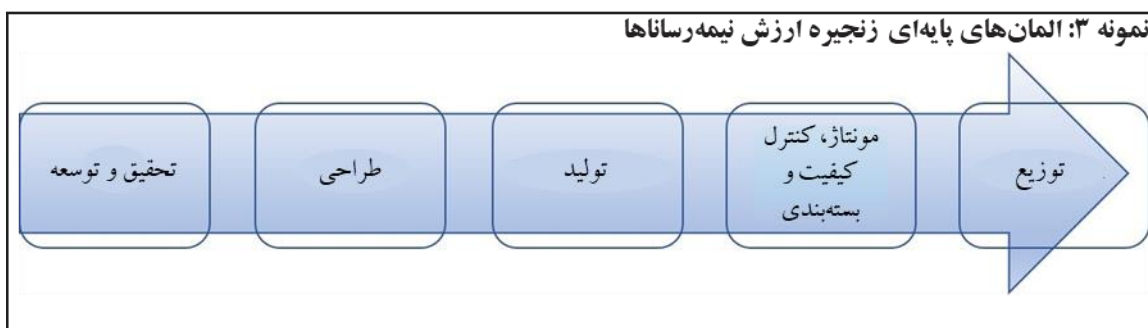
<sup>۳۳</sup> Accenture

<sup>۳۴</sup> Global Semiconductor Alliance

چندین دلیل برای جهانی شدن زنجیره ارزش وجود داشت: (۱) مزایای نسبی کشورهای مختلفی که شرکت‌ها در آن‌ها فعالیت می‌کنند. به عنوان مثال، فعالیت‌های مونتاژ و آزمایش که نسبت به طراحی، نیروی کار بیشتری نیاز دارند در کشورهایی با هزینه نیروی کار کمتر انجام می‌شود. (۲) شرایطی که تجارت را تسهیل می‌کند، مانند هزینه‌های حمل و نقل کمتر برای قطعات نیمه‌رسانا؛ (۳) افزایش تقاضا برای محصولات الکترونیکی در بازارهای نوظهور و به ویژه در آسیا؛ و (۴) نسبت ارزش به وزن بالای نیمه‌رساناها امکان حمل و نقل با هزینه کمتر در طول مراحل تولید را فراهم می‌کند.

برای ساخت یک تراشه نیمه‌رسانا، بسیاری از مواد از جمله سیلیکون، فوتورزیست<sup>۳۵</sup> و فلزات نادر مورد نیاز است و برای تبدیل این مواد به تراشه‌های نهایی، تکنولوژی‌های متعددی لازم است. زنجیره ارزش نیمه‌رسانا با طراحی تراشه شروع شده و سپس از طریق مراحل تولید اولیه، بسته‌بندی، آزمایش و مونتاژ اولیه به مشتریان نهایی می‌رسد. تحقیق و توسعه در این صنعت بسیار حیاتی است و بیش از ۳۰٪ از درآمد برای سرمایه‌گذاری در تحقیق و توسعه صرف می‌شود که یکی از بالاترین نسبت‌ها در بین صنایع است.<sup>(۱۱)</sup>

شکل ۳ فعالیت‌های اصلی در زنجیره ارزش صنعت را نشان می‌دهد. با شروع از تحقیق و توسعه، صنعت از طریق طراحی، تولید، مونتاژ، آزمایش و بسته‌بندی (تجمع نیمه‌رسانا به تراشه‌های دوام‌دار) به سمت مشتریان نهایی پیش می‌رود. هر یک از فعالیت‌های اصلی می‌تواند به صورت گسترده‌تری نمایش داده شود. به عنوان مثال، در قسمت تولید به تنهایی، تامین‌کنندگان مواد خام و تجهیزات و ابزارهای تخصصی وجود دارند.



## فناوری

مناطق که در آن‌ها سطح فناوری بالا است، برای صنعت تولید نیمه‌رسانا اهمیت دارند. یکی از این فناوری‌ها ویژگی‌ای است که می‌تواند اندازه طول دروازه ترانزیستور را در ابعاد نانومتر تولید کند. اندازه برای شناسایی نسل فناوری یک تراشه استفاده می‌شود. پیشرفت در قدرت پردازش تراشه‌ها اصولاً به وسیله کاهش اندازه ویژگی‌های قابل چاپ روی تراشه‌ها به دست می‌آید. هرچه اندازه ویژگی کوچکتر باشد، تراشه قدرتمندتر خواهد بود، زیرا بیشترین تعداد ترانزیستورها را می‌توان روی یک ناحیه با همان اندازه قرار داد. در نتیجه قدرت پردازش به ازای هزینه سرمایه‌گذاری افزایش می‌یابد. بسیاری از نیمه‌رساناهایی که در سال ۲۰۲۰ تولید شدند، در سطح ۱۴ نانومتر و ۱۰ نانومتر ساخته شده بودند. برخی از تولیدکنندگان محصولات خود را در سطح ۷ نانومتر و ۵ نانومتر تولید می‌کردند و تلاش‌ها در جریان بود تا محصولات در سطح ۲ نانومتر و ۱ نانومتر تولید شوند.<sup>(۱۲)</sup>

<sup>35</sup> Photoresist

با کوچک شدن تراشه‌ها، هزینه طراحی افزایش می‌یابد. طراحی یک تراشه ۱۰ نانومتری حدود ۱۷۵ میلیون دلار هزینه می‌برد تا به مرحله اعتبارسنجی و مالکیت فکری<sup>۳۶</sup> برسد. طراحی یک تراشه ۷ نانومتری ۳۰۰ میلیون دلار هزینه دارد و برای طراحی تراشه ۵ نانومتری ۴۵۰ میلیون دلار نیاز است.<sup>(۱۳)</sup> با وجود افزایش هزینه‌ها، طراحی تراشه در چند دهه گذشته تغییر کرده و با کاهش موانع ورود به بازار، اجازه ورود شرکت‌هایی مانند اپل و سایر طراحان غیرسنتی به بازار داده شده است. تراشه‌ها با استفاده از برنامه‌های توصیف سخت‌افزار طراحی می‌شوند که به این معنی است که فرآیند طراحی تا حدودی شبیه به طراحی نرم‌افزار است.

فناوری دیگری که اهمیت دارد، اندازه وافر<sup>۳۷</sup> است که به ابعاد یک قسمت نازک تولید شده برای پردازنده از جنس سیلیکون خالص که با دقت میلی‌متر اندازه‌گیری شده است اطلاق می‌شود. و این به قطعات نازکی از سیلیکون خالص ساخته شده برای تولید نیمه‌رسانا اشاره دارد. ابعاد یک وافر مساحت سطح آن را تعیین کرده و این موضوع بیانگر تعداد تراشه‌هایی است که می‌توان بر روی آن تولید کرد. قطر بزرگتر یک وافر منجر به کاهش هزینه برای هر تراشه می‌شود. هرچند عملکرد یک نیمه‌رسانا از اندازه وافر مستقل است. از سال ۲۰۰۲، بزرگترین وافرهای دارای ابعاد ۳۰۰ میلیمتری هستند.

## شرکت‌های بزرگ در صنعت نیمه‌رسانا

شکل ۴ لیست کاملی از شرکت‌های فعال در حوزه تولید نیمه‌رساناها را بر حسب درآمد نمایش می‌دهد که اکثر آن‌ها در ادامه متن بررسی شده‌اند.

### اینتل

اینتل بزرگترین شرکت نیمه‌رسانایی بر اساس درآمد است. در سال ۱۹۶۸، رابرت نویس<sup>۳۸</sup> و گوردون مور از شرکت فیرچايلد جدا شده و اینتل را تأسیس کردند. اینتل در ابتدا بر تولید تراشه‌های حافظه متمرکز بود، اما با کاهش سهم بازار خود در دهه ۱۹۸۰، شرکت تصمیم استراتژیک بزرگی را اتخاذ کرد و از تولید حافظه خارج شد. کسب‌وکار حافظه به گونه‌ای شده بود که کیفیت دیگر حائز اهمیت نبود و شرکت‌های رقیب در ژاپن و کره جنوبی در این رقابت پیروز بودند. اینتل تمرکز خود را به میکروپردازنده‌ها برای صنعت رایانه‌های شخصی انتقال داد.<sup>(۱۴)</sup>

بخش میکروپردازنده‌ها مهارت‌های ویژه‌تری نسبت به بخش حافظه نیاز داشت که تمرکز بیشتری بر روی طراحی محصول و توجه کمتری بر هزینه و بهره‌وری تولید لازم بود. بخش میکروپردازنده‌ها به بخش اصلی کسب‌وکار اینتل تبدیل شد و سودهای خالص و ثابتی حدود ۳۷٪ را تولید کرد. اینتل تأمین‌کننده اصلی تراشه‌ها در صنعت رایانه شخصی بوده و در سال ۲۰۲۰ سهم بازاری به میزان ۶۴٪ داشت. ای‌ام‌دی اگرچه در موقعیت دوم قرار داشت، سهم فروش تراشه‌های رایانه شخصی خود را در بازه زمانی سه ساله از حدود ۸٪ به بیش از ۱۷٪ افزایش داد. تا سال ۲۰۰۹، ای‌ام‌دی یک شرکت تولید کننده داخلی نیز بود، اما در آن سال بخش کارخانه‌های خود را به یک شرکت جدید به نام گلوبال فاندریز<sup>۳۹</sup> جدا نمود. در سال ۲۰۲۰، ای‌ام‌دی اعلام کرد که قصد دارد شرکت سازنده تراشه‌های زیلینکس<sup>۴۰</sup> را با قیمت ۳۵ میلیارد دلار بخرد.

<sup>36</sup> Intellectual Property

<sup>37</sup> Wafer

<sup>38</sup> Robert Noyce

<sup>39</sup> Global Foundries

<sup>40</sup> Xilinx



نمونه ۴: بزرگترین شرکت‌های فعال صنعت نیمه‌رساناها

۱	Intel	ایالات متحده	IDM	\$۶۹,۸	میکروپردازنده‌ها، منطق، حافظه دائمی برای کامپیوترها، سرورها و سایر تجهیزات الکترونیکی
۲	Samsung	کره جنوبی	IDM	\$۵۵,۶	حافظه و منطق
۳	TSMC	تایوان	Foundry	\$۳۴,۵	کارخانه ساخت قراردادی
۴	SK Hynix	کره جنوبی	IDM	\$۲۲,۹	عمدتاً حافظه
۵	Micron	ایالات متحده	IDM	\$۱۹,۹	حافظه و منطق
۶	Broadcom	ایالات متحده	Fabless	\$۱۷,۷	مدارهای یکپارچه
۷	Qualcomm	ایالات متحده	Fabless	\$۱۴,۳	تراشه‌ها برای مودم‌های بی‌سیم و سایر دستگاه‌های مرتبط با تلفن
۸	Texas Instruments	ایالات متحده	IDM	\$۱۳,۵	دستگاه‌های آنالوگ و منطق برای صنعت خودرو و کاربردهای صنعتی دیگر
۹	Kioxia	ژاپن	IDM	\$۱۱,۳	دستگاه‌های آنالوگ و منطق برای صنعت خودرو و کاربردهای صنعتی دیگر
۱۰	NVIDIA	ایالات متحده	Fabless	\$۱۰,۵	عمدتاً حافظه
۱۱	Sony	ژاپن	IDM	\$۹,۶	کارت‌های گرافیک و SoC
۱۲	STMicro	اروپا	IDM	\$۹,۵	مدارهای یکپارچه
۱۳	Infineon	اروپا	IDM	\$۸,۹	دستگاه‌های آنالوگ و منطق برای صنعت خودرو و کاربردهای صنعتی دیگر
۱۴	NXP	اروپا	IDM	\$۸,۳	دستگاه‌های آنالوگ و منطق برای صنعت خودرو و کاربردهای صنعتی دیگر
۱۵	MediaTek	تایوان	Fabless	\$۷,۹	دستگاه‌های آنالوگ و منطق برای صنعت خودرو و کاربردهای صنعتی دیگر

منبع: Congressional Research Services, Semiconductors: U.S. Industry, Global Competition, and Federal Policy, October 2020, and IC Insights.

اینترنت در زمینه‌های مختلفی از جمله گرافیک پیشرفته، هوش مصنوعی، شبکه‌های فایو جی<sup>۴۱</sup> و رانندگی خودکار در حال گسترش بوده‌است. این شرکت ۹ کارخانه تولیدی - شش واحد تولید و سه واحد مونتاژ و آزمایش - در ایالات متحده، چین، ایرلند، اسرائیل، مالزی و ویتنام دارد. در سال ۲۰۱۹، اینتل ۱۶ میلیارد دلار را به سرمایه‌گذاری در افزایش دارایی‌ها و ۱۳ میلیارد دلار را به تحقیق و توسعه اختصاص داد. اینتل در صنعت نیمه‌رسانا به دلیل ایجاد ارزش برندی که با شرکت‌های کالاهای مصرفی قابل مقایسه است، منحصر به فرد عمل می‌نماید. با شعار تبلیغاتی "اینترنت درونی" استراتژی بازاریابی اینتل بر پایه این پیام بوده‌است که بهترین رایانه‌های جهان از تراشه‌های اینتل استفاده می‌کنند.

برای نیم قرن، اینتل موفقیت خود را بر اساس استراتژی خود به عنوان یک آی‌دی‌ام ساخته‌است. اینتل از مدل کسب‌وکار یکپارچه خود دفاع می‌نماید:

ما یک آی‌دی‌ام هستیم. برخلاف بسیاری از شرکت‌های نیمه‌رسانایی دیگر، اصولاً محصولات خود را در تاسیسات تولید خود طراحی و تولید می‌کنیم و تولید داخلی خود را به عنوان یک مزیت مهم می‌بینیم. همچنان در حال توسعه نسل‌های جدید فناوری فرآیند تولید هستیم تا از مزایای قانون مور بهره‌برداری کنیم. برآورد قانون مور به مزایای بهینه‌سازی اقتصادی منجر می‌شود زیرا ما قادر هستیم یا هزینه یک تراشه را کاهش دهیم در حالی که اندازه آن را کوچک می‌کنیم یا قابلیت و عملکرد یک تراشه را با حجم بالاتر حفظ کرده و در عین حال همان هزینه را داشته باشیم. ما این امکان را فراهم می‌کنیم که نوآوری در محصولات جدید با عملکرد بالاتر را تحقق بخشیم در حالی که به بهره‌وری انرژی، هزینه و اندازه نیز توجه نماییم تا بتوانیم نیازهای مشتریان را برآورده کنیم. قابلیت ما در بهینه‌سازی و استفاده از تخصص تولید خود برای ارائه محصولات پیشرفته و متمایز، بنیانگذار موفقیت کنونی و آینده ما است.<sup>(۱۵)</sup>

به جز روابط طولانی مدت با ای‌ام‌دی و ویا تکنولوژی‌ز<sup>۴۲</sup> در تایوان، اینتل به سایر شرکت‌ها اجازه استفاده از طرح‌های تراشه خود را نمی‌دهد.<sup>(۱۶)</sup> در سال ۲۰۲۰، اینتل بیشترین بخش باقی‌مانده از کسب‌وکار تراشه حافظه خود را با قیمت ۹ میلیارد دلار به شرکت اس‌کی هاینیکس<sup>۴۳</sup> در کره جنوبی فروخت. به تازگی، مدیر عامل اینتل این احتمال را مطرح کرد که برنامه‌ریزی شرکت در جهت آن است که تولید برخی از پیشرفته‌ترین تراشه‌های خود را به خارج از شرکت انتقال دهد. اینتل در گذشته بخشی از زیرفرآیندهای کم‌اهمیت‌تر خود را برون‌سپاری کرده بود اما هرگز برای میکروپردازنده‌های نوین از روش برون‌سپاری استفاده نکرده‌است. چالش اینتل این است که در توسعه تراشه‌های ۱۰ و ۷ نانومتری دچار تأخیر شده است. در سال ۲۰۱۸، صنعت به سمت تراشه‌های ۱۰ و ۷ نانومتری حرکت کرد، اما اینتل در توسعه و تولید با مشکلات مختلف مواجه شد و حداقل یک سال نسبت به برنامه اصلی خود به تأخیر افتاد.<sup>(۱۷)</sup> در سال ۲۰۲۰، رقبای اینتل یعنی سامسونگ و تی‌اس‌ام‌سی تولید انبوه تراشه‌های ۵ نانومتری (معادل ۷ نانومتر در اینتل) را برای شرکت‌هایی مانند اپل، مارول<sup>۴۴</sup>، هواوی<sup>۴۵</sup> و کوالکام آغاز کردند.

## انویدا

در سال ۲۰۲۰، شرکت انویدا، به عنوان بزرگترین شرکت تولیدکننده تراشه در ایالات متحده از نظر ارزش بازار، اینتل را پشت سر گذاشت. انویدا در سال ۱۹۹۳ برای تولید تراشه‌های پردازش گرافیکی تأسیس شد و دو سال بعد اولین محصول خود را روانه بازار کرد. در سال ۱۹۹۹، انویدا به صورت عمومی در بازار سهام معامله شد و واحد پردازش گرافیک (جی‌پی‌یو) را اختراع کرد. این شرکت آن را به عنوان "یک پردازنده که قادر است حداقل ۱۰ میلیون پردازش گرافیکی را در یک ثانیه پردازش کند" توصیف نمود.<sup>(۱۸)</sup> در حال حاضر، جی‌پی‌یوهای مدرن بیش از هفت میلیارد پردازش گرافیکی را در کسری از ثانیه پردازش می‌کنند.

<sup>42</sup> Via Technologies

<sup>43</sup> SK Hynix

<sup>44</sup> Marvell

<sup>45</sup> Huawei

در چند دهه گذشته، انویدیا محصولات جدیدی را معرفی کرده و از یک شرکت متوسط در حوزه تولید تراشه‌های گرافیکی به یک قدرت قابل توجه در سه حوزه پرسرعت در رشد و توسعه صنعت نیمه‌رسانا تبدیل شده است: هوش مصنوعی، بازی و محاسبات داده‌شناسی. بخش زیادی از رایانه‌های قدرتمند جهان از تراشه‌های انویدیا استفاده می‌کنند. جی‌پی‌یو مرکز داده انویدیا بزرگترین پردازنده جهان است. انویدیا دی‌جی‌ایکس<sup>۴۶</sup> سیستمی برای هوش مصنوعی و داده‌شناسی پیشرو است که مدل آ ۱۰۰ آن با قیمت ۱۹۹۰۰۰ دلار به فروش می‌رسد. انویدیا یک شرکت برجسته در صنعت بازی است و پلتفرم‌های آن می‌توانند رایانه‌های معمولی را به دستگاه‌های قدرتمند بازی تبدیل کنند.

در سال ۲۰۲۰، انویدیا اعلام کرد که قصد دارد شرکت آرم هولدینگز<sup>۴۷</sup> را با قیمت ۴۰ میلیارد دلار بخرد. آرم، یک شرکت زیرمجموعه از گروه فناوری ژاپنی سافت‌بانک<sup>۴۸</sup> است. این شرکت میکروپردازنده‌هایی را طراحی می‌کند که اکثر گوشی‌های هوشمند جهان از آن‌ها استفاده می‌کنند. آرم در انگلستان مستقر است و بیش از ۵۰۰ مجوز برای فناوری خود دارد. صاحبان مجوزها سپس می‌توانند از آن‌ها در راستای اعمال معماری‌های جدید در محصولات استفاده کنند. به گفته انویدیا:

با اتحاد قدرت‌های محاسباتی هوش مصنوعی انویدیا با اکوسیستم وسیعی از واحدهای مرکزی آرم، می‌توانیم محاسبات را از طریق رایانش ابری، گوشی‌های هوشمند، رایانه‌های شخصی، خودروهای خودران و رباتیک، اینترنت اشیاء و محاسبات هوش مصنوعی در سراسر جهان بهبود دهیم. این ترکیب برای هر دو شرکت، مشتریان و صنعت فواید قابل توجهی دارد. برای اکوسیستم آرم، این اتحاد ظرفیت تحقیق و توسعه آرم را تسریع خواهد کرد و به وسیع‌ترین نمونه‌های تراشه و فناوری هوش مصنوعی انویدیا خواهد افزود.<sup>(۱۹)</sup>

معامله آرم تحت بررسی مقامات نظارتی ایالات متحده است و در صنعت گوشی‌های هوشمند نگرانی‌هایی ایجاد کرده است. همچنین، دیدگاه شرکت‌های گوشی هوشمند چینی نسبت به مالکیت آرم در آمریکا مشخص نیست.

## سامسونگ سمیکانداکتور

سامسونگ سمیکانداکتور یک شعبه از سامسونگ الکترونیکس است که خودش قسمتی از گروه سامسونگ، بزرگترین شرکت خانوادگی در کره جنوبی است. به جز کسب و کارهای الکترونیک و نیمه‌رسانا، گروه سامسونگ شامل سامسونگ هیوی اینداستریز<sup>۴۹</sup> (دومین سازنده کشتی در جهان)، سامسونگ انجینیرینگ<sup>۵۰</sup>، بیمه سامسونگ لایف<sup>۵۱</sup>، چیل ورلدواید<sup>۵۲</sup> (یکی از بزرگترین آژانس‌های تبلیغاتی جهان) و بسیاری کسب و کارهای دیگر است.

<sup>46</sup> NVIDIA DGX™

<sup>47</sup> Arm Holdings

<sup>48</sup> Softbank

<sup>49</sup> Haevy Industries

<sup>50</sup> Engineering

<sup>51</sup> Samsung life Insurance

<sup>52</sup> Cheil Worldwide

سامسونگ سمیکانداکتور دومین شرکت نیمه‌رسانا به لحاظ فروش است. سامسونگ در سال ۱۹۷۴ وارد کسب و کار نیمه‌رسانا شد و با خرید یک شرکت فعال در این حوزه، به سرعت در بخش حافظه رشد کرد. سامسونگ در سال ۱۹۹۳ به رهبری جهانی در حافظه دی‌رام<sup>53</sup> رسید و همچنان در این موقعیت حضور دارد و پس از آن نیز شرکت‌های اس‌کی هاینیکس و مایکرون قرار دارند. سامسونگ همچنین با دارا بودن سهم از بازار ۳۰ درصدی در حافظه‌های دائمی، رهبر این بازار است. تراشه‌های این مدل از حافظه‌ها در ذخیره‌سازی برای گوشی‌های هوشمند، کامپیوترها و سایر محصولات استفاده می‌شوند. سه شرکت بعدی در سهم بازار حافظه دائمی شامل توشیبا، وسترن دیجیتال<sup>54</sup> و اس‌کی هاینیکس (قبل از آن که کسب و کار تولید حافظه اینتل را خریداری کند) هستند. سامسونگ یکی از رقبای بزرگ بازار در حوزه حسگرهای تصویر و چندین خط محصول دیگر است.

با هدف افزایش فروش در بخش‌های غیر از تراشه‌های حافظه، سامسونگ قصد دارد در دهه آینده حدود ۱۵۰۰۰ شغل جدید در زمینه تحقیق و توسعه ایجاد کند. این کار شرکت را در مسیری قرار خواهد داد که به یک "کسب و کار حقیقی تولید یکپارچه قطعات تبدیل خواهد شد... سامسونگ با حمایت فعال از شرکت‌های کوچک غیرمولد و شرکت‌های طراحی، قدرت رقابتی کشور را در بازار غیر حافظه افزایش خواهد داد." (۲۰)

برای رقابت با تی‌اس‌ام‌سی و سایر کارخانه‌ها، سامسونگ فانداری در سال ۲۰۱۷ به عنوان یک شرکت جداگانه تحت مالکیت و مدیریت سامسونگ الکترونیکس تشکیل شد. سامسونگ فانداری و تی‌اس‌ام‌سی به عنوان پیشرفته‌ترین تولیدکنندگان نیمه‌رسانا در جهان در نظر گرفته می‌شوند که ظهور آن‌ها برای اینتل تهدید جدی‌ای محسوب می‌شوند.

## تی‌اس‌ام‌سی

تایوان، مکان برتر جهانی برای تولید نیمه‌رسانای کارخانه‌ای است. صنعت تولید کارخانه‌ای نیمه‌رسانا در تایوان توسط دو تولیدکننده قراردادی، یعنی شرکت تی‌اس‌ام‌سی و شرکت یوام‌سی<sup>55</sup> کنترل می‌شود. موریس چانگ<sup>56</sup> پس از ۲۵ سال همکاری با شرکت تگزاس اینسترومنتس، به دعوت یکی از مقامات دولتی، به تایوان مهاجرت کرد و در سال ۱۹۸۷ تی‌اس‌ام‌سی را تأسیس نمود. به گفته چانگ: "تایوان دارای یک مزیت رقابتی است و آن هم قدرت در تولید سیلیکون و وافر است. البته این یک ویژگی بالقوه است نه یک نقطه قوت آشکار. پس در این شرایط برای هماهنگی با این نقطه قوت و دوری از ضعف چه گونه‌ای از شرکت را ایجاد می‌کردید؟ [پاسخ] یک شرکت تولید کارخانه‌ای خالص است." (۲۱)

تی‌اس‌ام‌سی بزرگ‌ترین و مهم‌ترین کارخانه تولید نیمه‌رسانا در جهان است. با ۲۱ مجموعه تولیدی (۱۸ مجموعه در تایوان، دو مجموعه در چین و یک مجموعه در ایالات متحده) و بودجه سرمایه‌گذاری سالانه حدود ۱۵ میلیارد دلار، تی‌اس‌ام‌سی شکل جدیدی به صنعت نیمه‌رسانا داده‌است. به عنوان یک کارخانه، تی‌اس‌ام‌سی به صورت قراردادی عمل می‌کند و دستگاه‌هایی که توسط خود کارخانه طراحی شده باشند را به فروش نمی‌رساند. این شرکت بیش از نیمی از صنعت ۴۲ میلیارد دلاری کارخانه در صنعت نیمه‌رسانا را تشکیل می‌دهد. یک نماینده تی‌اس‌ام‌سی اظهار داشت: "مدل کسب و کار کارخانه‌ای به ظهور صنعت برون‌سپاری منجر شده است. با از بین بردن بار مالی مرتبط با تولید نیمه‌رسانا، این مدل تخصص بهینه و فرآیند نوآوری را همه‌گیر می‌کند و در نتیجه، تنوع بیشتر و نوآوری سریع‌تر را با هزینه کمتر به ارمغان می‌آورد." (۲۲)

تی‌اس‌ام‌سی تراشه‌های مورد نیاز شرکت‌هایی مانند اپل، کوالکام، انویدیا و بسیاری از شرکت‌های دیگر را تامین می‌کند. اپل بزرگ‌ترین مشتری تی‌اس‌ام‌سی است و یک پنجم درآمد این شرکت به تنهایی توسط اپل تشکیل می‌شود. هوآوی هم تا زمانی که دولت آمریکا آن را در فهرست

<sup>53</sup> DRAM

<sup>54</sup> Western Digital

<sup>55</sup> United Microelectronics Company

<sup>56</sup> Mouris Chang

تحریم‌ها قرار داد و شرکت‌های آمریکایی و خارجی را از معامله با هوآوی بدون مجوز دولت آمریکا منع کرد، دومین مشتری بزرگ تی‌اس‌ام‌سی بود. رابطه تی‌اس‌ام‌سی با هوآوی به نظر می‌آید تهدید شده باشد مگر اینکه شرکت مجوز صادرات را کسب کند که به این ترتیب قادر به دور زدن محدودیت‌های صادراتی که در سپتامبر ۲۰۲۰ اعمال شدند، خواهد بود.

در سال ۲۰۲۰، تی‌اس‌ام‌سی اعلام کرد که برای ساخت یک کارخانه تولیدی در آریزونا ۱۲ میلیارد دلار هزینه خواهد نمود و در پایان سال ۲۰۲۰ زمین مورد نیاز برای این پروژه خریداری شد. تی‌اس‌ام‌سی همچنین در سال ۲۰۲۰ تولید انبوه تراشه‌های ۵ نانومتری را آغاز کرد. سامسونگ تنها شرکت دیگری است که می‌تواند تراشه‌های ۵ نانومتری تولید کند.

## ای‌اس‌ام‌ال

اگرچه ای‌اس‌ام‌ال یک تولیدکننده نیمه‌رسانا نیست، اما یکی از شرکت‌های ویژه‌ای است که نقش مهمی در صنعت ایفا می‌کند. این شرکت همچنین یکی از ارزشمندترین شرکت‌ها در این صنعت است و شبکه بازاریابی بزرگتری نسبت به اینتل دارد.

در سال ۱۹۸۴، شرکت الکترونیکی هلندی فیلیپس<sup>۵۷</sup> و سازنده دستگاه‌های تراشه ای‌اس‌ام‌آی<sup>۵۸</sup> یک شرکت جدید به نام ای‌اس‌ام‌ال را تأسیس کردند تا سیستم‌های لیتوگرافی<sup>۵۹</sup> را برای تولید نیمه‌رساناها توسعه دهند. لیتوگرافی از نور برای چاپ الگوهای بسیار کوچک بر روی سیلیکون استفاده می‌کند و یک مرحله اساسی در تولید انبوه تراشه‌های کامپیوتری است. در لیتوگرافی، نور از یک طرح الگویی که چهار برابر برابر اندازه الگوی مورد نظر بر روی تراشه است، عبور می‌کند. با کدگذاری الگو در نور، عدسی‌های نوری سیستم الگو را به اندازه کوچک‌تر تبدیل می‌کنند و آن را بر روی کاغذهای سیلیکونی حساس به نور متمرکز می‌کنند. پس از چاپ الگو، سیستم وافر همچنان کاغذ سیلیکونی را کمی جابجا می‌کند و یک نسخه دیگر روی آن ایجاد می‌کند. در سال ۱۹۹۵، ای‌اس‌ام‌ال مستقل شد و در بورس آمستردام و نیویورک به ثبت رسید. در طی چند دهه گذشته، این شرکت بهبود فناوری خود را ادامه داد. در سال ۲۰۱۰، ای‌اس‌ام‌ال نخستین سیستم لیتوگرافی فرابنفش را به یک سازنده تراشه در آسیا ارسال کرد و ده سال بعد لیتوگرافی فرابنفش در بازار فراگیر شد. یک مقاله این دستگاه را به این شرح توصیف می‌نماید:

یک دستگاه لیتوگرافی فرابنفش قدرتمند یک اعجوبه فناورانه است. یک مولد ۵۰۰۰۰ قطره نیمه‌رسانا را در ثانیه پرتاب می‌کند. یک لیزر قدرتمند هر قطره را دو بار شلیک می‌کند. اولین بار قطره کوچکی را شکل می‌دهد، تا دومین بار بتواند آن را به پلاسمای بخاری تبدیل کند. پلاσμα، تابش فوتون قدرتمند فرابنفش را تولید می‌کند که در یک پرتو متمرکز شده و از طریق یک سری آینه منعکس می‌شود. آینه‌ها به قدری صاف هستند که اگر به اندازه آلمان گسترده شوند، هیچ برآمدگی بالاتر از یک میلیمتر نخواهند داشت. در نهایت، پرتو فرابنفش به یک کاغذهای سیلیکونی برخورد می‌کند - که خود یک نوآوری در علم مواد است - با دقتی معادل پرتاب یک تیر از زمین برای برخورد با سیمی که روی ماه قرار داده شده است. این فناوری این امکان را به دست می‌دهد که دستگاه فرابنفش ترانزیستورهایی به طول ۵ نانومتر را در نواری سیلیکونی ترسیم کند، تقریباً طولی که ناخن انگشت شما در پنج ثانیه رشد می‌کند. این کاغذهای سیلیکونی با بیلیون‌ها یا تریلیون‌ها ترانزیستور در نهایت به تراشه‌های کامپیوتری تبدیل می‌شوند.<sup>(۲۳)</sup>

<sup>57</sup> Philips

<sup>58</sup> ASMI

<sup>59</sup> Lithography

ای‌اس‌ام‌ال تنها تولیدکننده دستگاه‌های لیتوگرافی با استفاده از فناوری فرابنفش است که برای تولید تراشه‌های پیشرفته‌تر استفاده می‌شود. یک سیستم فرابنفش بیش از ۱۰۰،۰۰۰ قطعه دارد، هزینه‌ای تقریباً معادل با ۱۲۰ میلیون دلار دربردارد و در زمان حمل و نقل، به ۴۰ کانتینر نیاز است. در سال ۲۰۲۰، ای‌اس‌ام‌ال انتظار می‌رفت حدود ۳۵ سیستم را ارسال کند که حدود نیمی از فروش شرکت را تشکیل می‌دهد. بعد از نصب، ای‌اس‌ام‌ال خدمات پس از فروش را ارائه می‌نماید.

## چین

در سال‌های اخیر، فروش نیمه‌رساناها در چین با نرخ دو رقمی رشد کرد. فروش به شرکت‌های چینی حدود ۶۰٪ از بازار جهانی نیمه‌رساناها را تشکیل می‌دهد و تقریباً تمامی فروش توسط شرکت‌های خارجی صورت می‌گیرد.<sup>(۲۴)</sup> اکثر تراشه‌های خریداری شده توسط شرکت‌های چینی سپس به عنوان اجزایی در محصولات الکترونیکی مانند تلفن همراه و تبلت صادر می‌شوند. درصد محصولات صادرشده در حال کاهش است در حالی که مصرف داخلی مردمان چینی افزایش می‌یابد. نرخ خودکفایی چین (تراشه‌های تولید شده توسط شرکت‌های چینی و به فروش رسیده در چین) کمتر از ۲۰٪ است.<sup>(۲۵)</sup> به طور جهانی، فروش شرکت‌های مستقر در چین حدود ۵٪ بازار را تشکیل می‌دهد. در سال ۲۰۱۹، ۲۴ عدد از ۱۲۶ کارخانه‌های تولیدی این صنعت در سراسر جهان، در چین قرار داشتند.<sup>(۲۶)</sup>

در سال ۲۰۱۴، دولت چین برنامه‌ای جسورانه به نام "دستورالعمل‌هایی برای توسعه صنعت ملی مدارهای یکپارچه" را منتشر کرد که هدف آن ایجاد زیرساخت صنعت نیمه‌رسانا در تمامی زمینه‌های زنجیره تامین مدارهای یکپارچه تا سال ۲۰۳۰ است.<sup>(۲۷)</sup> در سال ۲۰۱۵، چین برنامه صنعتی "تولید در چین ۲۰۲۵" را اعلام کرد که به شرح زیر است:

"تولید در چین ۲۰۲۵" برنامه صنعتی گسترده‌ای در چین - به منظور افزایش رقابت‌پذیری اقتصادی از طریق تقویت موقعیت چین در زنجیره ارزش تولید جهانی، پیشرفت در فناوری‌های نوظهور و کاهش وابستگی به شرکت‌های خارجی است. این برنامه بر پیشرفت فناوری و نوآوری به عنوان عوامل رشد و بهره‌وری تاکید دارد، اگرچه یکی از استراتژی‌های آن دنبال کردن دریافت دانش فنی خارجی برای پرکردن شکاف‌های فناوری کلیدی است. این برنامه اشکال متنوعی از مالکیت و کنترل دولتی را ترویج می‌کند و به شرکت‌های چینی امکان دسترسی به بازارهای جهانی را با انعطاف بیشتری می‌دهد و در نتیجه ممکن است کاملاً نقش دولت را پنهان کند.<sup>(۲۸)</sup>

هدف دولت چین در سال ۲۰۱۵ برای نیمه‌رساناها، تولید ۴۰٪ نیازهای داخلی چین تا سال ۲۰۲۰ (که کمتر از ۲۰٪ آن محقق شد)، ۷۰٪ تا سال ۲۰۲۵ و برابری با فناوری پیشرو جهانی در تمامی بخش‌های صنعت تا سال ۲۰۳۰ است. بیشتر تحلیل‌گران شک کرده بودند که آیا چین می‌تواند به هدف ۷۰٪ برسد. چین برنامه‌های مختلفی را برای تشویق سرمایه‌گذاری و نوآوری در نیمه‌رساناها اجرا کرد. یکی از این برنامه‌ها صندوق سرمایه‌گذاری ملی صنعت مدارهای یکپارچه چین یا فند بزرگ نامیده می‌شد که در سال ۲۰۱۴ توسط دولت مرکزی راه‌اندازی شد. هدف این صندوق سرمایه‌گذاری در تولید تراشه، افزایش تولید صنعتی و تشویق ادغام و یکپارچگی است. این صندوق در دور نخست تأمین مالی خود ۱۳۸.۷ میلیارد یوان (۲۱۸ میلیارد دلار آمریکا) جمع‌آوری کرد و هدف آن ۱۵۰ میلیارد دلار است. در سال ۲۰۱۹، چین اعلام کرد که یک صندوق دوم راه‌اندازی خواهد کرد.

در ماه اوت ۲۰۲۰، دولت چین سیاست خود در زمینه صنعت نیمه‌رساناها را به‌روز کرد. به گفته دفتر نماینده تجارت ایالات متحده، "استراتژی چین به منظور ایجاد یک اکوسیستم تولیدی نیمه‌رسانای بسته‌بندی و تست شده با خودکفایی در هر مرحله از فرایند تولید - از طراحی و تولید مدار یکپارچه تا بسته‌بندی و تست و تولید مواد و تجهیزات مرتبط است."<sup>(۳۰)</sup> برای اجرای این استراتژی، چین به دسترسی به مالکیت فکری خارجی، از جمله تجهیزات تولید لیتوگرافی، نیاز داشت. سازمان همکاری و توسعه اقتصادی نتیجه گرفت که نقش دولت چین در صنعت نیمه‌رسانای چین به دلیل ماهیت غیرشفاف سهام‌داری و تأمین مالی بیشتر از مالکیت رسمی است.<sup>(۳۱)</sup>

در چند سال گذشته، ایالات متحده اقدامات تجاری مختلفی را برای مقابله با نگرانی‌های صنعت درباره سیاست‌ها و سرمایه‌گذاری‌های چین در نیمه‌رساناها انجام داد. چندین تلاش برای خرید شرکت‌های نیمه‌رسانای آمریکایی توسط شرکت‌های چینی با مداخله دولت آمریکا متوقف شد. در سال ۲۰۲۰، تی‌اس‌ام‌سی به دلیل رعایت مقررات صادراتی ایالات متحده، فرآیند سفارش‌گیری جدید از هوآوی را متوقف کرد. در سال ۲۰۱۹، دولت هلند جلوی حمل یک خط تولید فرابنفش به چین گرفت.

## نگاه به آینده

از زمان تأسیس این صنعت در قرن گذشته، صنعت نیمه‌رساناها به طور مداوم در حال تغییر و تکامل بوده است. تقاضای مصرفی و صنعتی برای محصولات الکترونیکی با قابلیت‌ها، ویژگی‌ها، قابلیت اطمینان و سرعت بهتر، بی‌وقفه در حال افزایش بوده است. که این امر منجر به فشار بر شرکت‌های نیمه‌رسانا شده و آن‌ها را به گسترش فناوری، جهانی‌سازی زنجیره ارزش و جستجوی مستمر برای فرصت‌های نوآوری ملزم می‌کند.

روندهای توسعه نیمه‌رساناها را می‌توان به بیانی، یک مشکل برای صنعت نیمه‌رساناها دانست. یکی از آن‌ها رشد مداوم طراحی تراشه در شرکت‌های فناوری بزرگ است. آمازون برای تراشه‌هایی که پشتیبانی از محاسبات ابری را انجام می‌دهند، توسعه خود را انجام می‌دهد.<sup>(۳۲)</sup> فیسبوک<sup>۶۰</sup>، گوگل<sup>۶۱</sup> و مایکروسافت<sup>۶۲</sup> در حال توسعه تراشه‌های هوش مصنوعی هستند. یک روند دیگر رشد هوش مصنوعی است، پیش‌بینی‌ها بیانگر این است که رشد ممکن است به نرخ ۵۰ درصدی در برنامه‌های نوآورانه برسد. هوش مصنوعی همچنین می‌تواند منجر به پیشرفت در روش تولید نیمه‌رساناها شود.<sup>(۳۳)</sup> روند سوم اهمیت روزافزون علم داده و نیاز به فناوری‌هایی برای پشتیبانی از مقیاس و سرعت است.

در نهایت، مسائل تجاری که بر زنجیره ارزش نیمه‌رسانای جهانی تأثیر می‌گذارند، احتمالاً ادامه خواهند داشت. به عنوان مثال، در سال ۲۰۱۹، ژاپن صادرات هیدروژن فلورید، فلورید پلی‌آمید و فوتوآنسیل به کره را محدود کرد. این سه محصول برای تولید نیمه‌رساناها بسیار حیاتی هستند و ژاپن بزرگترین تولیدکننده آن‌ها است. دو محصول، فوتوآنسیل و هیدروژن فلورید، با استفاده از فلزات خاک نادر چین در ژاپن تولید می‌شوند. در سال ۲۰۲۰، دولت آمریکا اعلام کرد که صادرکنندگان آمریکایی باید مجوزی برای فروش به شرکت اس‌ام‌آی‌سی، بزرگترین تولیدکننده تراشه در چین، درخواست کنند.

با توجه به نقش حیاتی که نیمه‌رساناها در اقتصاد جهانی ایفا می‌کنند، احتمالاً این صنعت به تأثیرپذیری از مسائل جغرافیایی ادامه خواهد داد.

<sup>60</sup> Facebook

<sup>61</sup> Google

<sup>62</sup> Microsoft

- 1 [https://www.semiconductors.org/wp-content/uploads/2020/03/2020\\_SIA\\_Industry-Facts\\_5-14-2020.pdf](https://www.semiconductors.org/wp-content/uploads/2020/03/2020_SIA_Industry-Facts_5-14-2020.pdf).
- 2 Global Semiconductor Alliance and Accenture, 2020. Globality and Complexity of the Semiconductor Ecosystem.
- 3 Deloitte, 2019. Semiconductors—the Next Wave: Opportunities and winning strategies for semiconductor companies.
- 4 Semiconductor Industry Association, 2016. Beyond Borders: The Global Semiconductor Value Chain.
- 5 [https://materials.proxyvote.com/Approved/816850/20120427/AR\\_127902/PDF/semtech-ar2012\\_0017.pdf?utm\\_source=morning\\_brew#:~:text=the%20Semiconductor%20Industry-,The%20semiconductor%20industry%20is%20broadly%20divided%20into%20analog%20and%20digital,as%20that%20used%20by%20computers.](https://materials.proxyvote.com/Approved/816850/20120427/AR_127902/PDF/semtech-ar2012_0017.pdf?utm_source=morning_brew#:~:text=the%20Semiconductor%20Industry-,The%20semiconductor%20industry%20is%20broadly%20divided%20into%20analog%20and%20digital,as%20that%20used%20by%20computers.)
- 6 J. T. Macher, D. C. Mowery, & T.S. Simcoe, 2002. E-Business and the Semiconductor Industry Value Chain: Implications for Vertical Specialization and Integrated Manufacturers. *Industry and innovation*, 9, No. 2 (August).
- 7 J. T. Macher & D. C. Mowery, 2004. Vertical Specialization and Industry Structure in High Technology Industries, *Business Strategy Over the Industry Lifecycle*. *Advances in Strategic Management*, 21, 331–332.
- 8 Global Semiconductor Alliance and Accenture, 2020.
- 9 Semiconductor Industry Association, 2016.
- 10 Semiconductor Industry Association, 2020.
- 11 Semiconductor Industry Association, 2020 Factbook.
- 12 Congressional Research Services, Semiconductors: U.S. Industry, Global Competition, and Federal Policy, October 2020.
- 13 <https://www.mckinsey.com/industries/advanced-electronics/our-insights/semiconductor-design-and-manufacturing-achieving-leading-edge-capabilities>.
- 14 R. A. Burgelman, 1994. Fading Memories: A Process Theory of Strategic Business Exit in Dynamic Environments. *Administrative Science Quarterly*. Vol. 39, No. 1 (Mar. 1994), pp. 24-56.
- 15 Intel Annual Report, 2020.
- 16 C. Mims. Intel Inside? Not so Much Anymore. *Wall Street Journal*, Dec. 12, 2020, B2.
- 17 <https://www.wsj.com/articles/intel-chips-cpu-factory-outsourcing-semiconductor-manufacturing-11604605618?page=1>.
- 18 <https://www.NVIDIA.com/en-us/about-NVIDIA/corporate-timeline/>.



- 19 <https://nvidianews.nvidia.com/news/nvidia-to-acquire-arm-for-40-billion-creating-worlds-premier-computing-company-for-the-age-of-ai/>.
- 20 <http://www.koreaherald.com/view.php?ud=20190424000561>.
- 21 <https://restofworld.org/2020/taiwan-chipmaker-guide-to-تی‌اس‌ام‌سی/>.
- 22 <https://restofworld.org/2020/taiwan-chipmaker-guide-to-تی‌اس‌ام‌سی/>.
- 23 <https://www.brookings.edu/techstream/the-chip-making-machine-at-the-center-of-chinese-dual-use-concerns/#:~:text=An%20EUV%20machine%20is%20made,shipped%20in%2040%20freight%20containers>.
- 24 The Asia-Pacific Market Was 62% of the Total Market; Semiconductor Industry Association, 2020 Factbook.
- 25 Deloitte, 2019.
- 26 Semiconductor Equipment and Materials International, 2020. Count of Facilities in Operation.
- 27 International Trade Administration (ITA), 2015 Top Markets Report: Semiconductors and Semiconductor Manufacturing Equipment, A Market Assessment Tool for U.S. Exporters, July 2015, p. 13, at <https://legacy.trade.gov/topmarkets/semiconductors.asp>.
- 28 <https://fas.org/sgp/crs/row/IF10964.pdf>.
- 29 <https://www.scmp.com/tech/enterprises/article/2145422/how-chinas-big-fund-helping-country-catch-global-semiconductor-race>.
- 30 Office of the United States Trade Representative (USTR), Section 301 Report, March 22, 2018, p. 113.
- 31 OECD, 2019. "Measuring Distortions in International Markets: The Semiconductor Value Chain," OECD Trade Policy Papers, No. 234, OECD Publishing, Paris.
- 32 <https://www.gizchina.com/2018/11/29/amazon-releases-machine-learning-chips-namely-inferentia-and-graviton/>.
- 33 <https://www.analyticsinsight.net/a-brief-insight-on-the-role-of-semiconductors-in-ai-industry-and-vice-versa/>.