



国家科技图书文献中心  
National Science and Technology Library

# 集微技术信息简报

---

2019年第3期（总第30期）

中国科学院文献情报中心

2019年5月制

# 本期目录

## 政策计划

美国半导体行业协会发布《赢得未来：美国在半导体技术领域持续领先地位的蓝皮书》 ..... 1

英特尔公布其路线图及产品发布计划 ..... 7

关于集成电路设计和软件产业企业所得税政策的公告 ..... 9

美国贸易代表办公室（USTR）发布了一份价值约 3000 亿美元的中国商品清单 ..... 9

## 行业动态

美国半导体产业协会发布 2019 年 Factbook 白皮书，披露美国半导体实力 .. 11

ASML 商业窃密案胜诉，XTAL 需赔偿 8.45 亿美元 ..... 23

## 前沿研究

p 型铝钛氧化物 GaN 晶体管的正阈值 ..... 28

紫外线铝镓氮化物壳纳米线发光二极管 ..... 30

具有迁移边缘量化的 ZnO 复合纳米层用于多值逻辑晶体管 ..... 33

日本研究机构用有机晶体管探索超导条件 ..... 37

将石墨烯集成到半导体生产线中 ..... 39

## 应用实施

IBM 推出全新 Storwize V5000 系列解决方案 ..... 43

集英特尔傲腾技术和英特尔 QLC NAND 技术为一体的固态硬盘全新上市 ..... 44

美光推出面向云和企业级市场的全新高性能 NVMe SSD ..... 45

SK Hynix 推出高性能 96 层 1TB QLC 4D NAND 样品 ..... 47

TI 推出用于工业 4.0 的首款支持多协议千兆位 TSN 的处理器 ..... 48

## 政策计划

## 美国半导体行业协会发布《赢得未来：美国在半导体技术领域持续领先地位的蓝皮书》

2019 年 4 月 9 日，美国工业统计和经济政策主任法兰·伊努格报道，根据美国专利和商标局最新发布的数据分析，从事半导体研究、设计和制造的美国公司是 2018 年美国企业专利最多的获得者之一。美国的半导体公司在榜单（Top List of U.S. Patent Recipients in 2018，详见表 1）上一一直排名靠前，因为美国的半导体公司在研发方面的投资大约占其年销售额的五分之一，在美国所有行业中占有最高的份额。这种对研究的重大投资产生了宝贵的知识产权（如专利）。

为保持半导体产业蓬勃发展，政策制定者必须考虑半导体研究投资和知识产权保护。2019 年 4 月，美国半导体行业协会发布的《赢得未来：美国在半导体技术领域持续领先地位的蓝皮书》，将半导体研究投资和知识产权保护视为关键组成部分。这份蓝图要求美国政府将对各科学机构半导体专项研究的投资增加两倍，并将美国对各科学机构半导体相关领域的研究投资增加一倍，以促进半导体技术的跨越式创新。它还呼吁增加执法和情报机构的资源，以防止和起诉半导体知识产权盗窃行为。主要包括以下三方面的内容：

### 一、半导体对美国的未来至关重要

半导体，支持现代技术的微型芯片，对美国经济、工作机会、技术领先地位和国家安全至关重要。50 年来，美国在半导体创新方面领先世界，推动几乎所有现代技术的变革，从计算机到移动电话到互联网。

今天，半导体支撑着未来最激动人心的“必赢”技术，包括为自动驾驶汽车和其他自动系统提供动力的综合人工智能技术、用于分析大量数据和增强数字加密的量子计算、史无前例的速度和安全性的无缝连接的先进无线网络。

为了确保美国在未来 50 年的技术领导地位，美国必须继续在半导体研究、设计和制造方面领先世界。

## 二、美国在半导体技术领域继续保持领先地位面临的挑战

外国政府正在制订雄心勃勃的步骤继续推动半导体创新，美国在半导体领域的领导地位正面临挑战的风险。

尽管美国公司仍占有全球近一半的市场份额，但外国政府支持的竞争正在试图取代美国的领导地位。

## 三、需要采取强有力的政策行动来维持和加强美国的半导体领导地位

要防止这些挑战，并且意识到美国要继续领导全球半导体产业，美国必须采取雄心勃勃的半导体竞争力和创新政策。

### 1、加大投资促，进美国半导体创新研究

加大投资，用于联邦科学研究中心的半导体专用研究，从每年投入大约 15 亿美元增加到 50 亿美元，用于提高芯片性能的先进新材料、设计和架构的研究。

美国在半导体相关领域的双重投资，如材料科学、计算机科学、工程和跨越综合科学技术的应用数学，以及半导体技术，以推动半导体技术，开发相关的技术，包括人工智能，量子计算和高级无线网络。

### 2、吸引和培养训练有素的员工队伍，确保美国在半导体技术研究、设计和制造以及未来增长技术的开发和实施方面的领导地位

通过消除绿卡限制来改革高技能移民制度，以便来自美国各大学的合格 STEM（科学 Science、技术 Technology、工程 Engineering、数学 Mathematics）毕业生以及来自世界各地的 STEM 毕业生能够在美国工作、创新，并为美国在世界的领导地位做出贡献。

提高美国对 STEM 教育的投资达 50%，并实施国家 STEM 教育计划，到 2029 年将美国 STEM 毕业生数量翻一番。

### 3、半导体行业可以在未来进行竞争，创新和发展。

批准和现代化自由贸易协定，包括美国、墨西哥、加拿大协议，消除市场障碍，保护知识产权，促进公平竞争。

增加执法和情报机构的资源，以防止和起诉半导体知识产权盗窃，包括盗用商业机密。

表 1 2018 Top 50 US Patent Assignees

	Company	2018 Grants	2017 Grants	% Change	Previous Rank	Rank Change
1	International Business Machines Corp	9,100	9,043	1	1	0
2	Samsung Electronics Co Ltd	5,850	5,837	0	2	0
3	Canon Inc	3,056	3,285	-7	3	0
4	Intel Corp	2,735	3,023	-10	4	0
5	LG Electronics Inc	2,474	2,701	-8	5	0
6	Taiwan Semiconductor Manufacturing Co (TSMC) Ltd	2,465	2,425	2	9	3
7	Microsoft Technology Licensing LLC	2,353	2,441	-4	8	1
8	Qualcomm Inc	2,300	2,628	-12	6	-2
9	Apple Inc	2,160	2,229	-3	11	2
10	Ford Global Technologies LLC	2,123	1,868	14	15	5
11	Google LLC	2,070	2,457	-16	7	-4
12	Amazon Technologies Inc	2,035	1,963	4	13	1

13	Toyota Motor Corp	1,959	1,932	1	14	1
14	Samsung Display Co Ltd	1,948	2,273	-14	10	-4
15	Sony Corp	1,688	2,135	-21	12	-3
16	Huawei Technologies Co Ltd	1,680	1,474	14	20	4
17	BOE Technology Group Co Ltd	1,634	1,413	16	21	4
18	General Electric Co	1,597	1,577	1	16	-2
19	Hyundai Motor Co	1,369	1,304	5	24	5
20	Telefonaktiebolaget LM Ericsson AB	1,353	1,552	-13	18	-2
21	Seiko Epson Corp	1,285	1,406	-9	22	1
22	Panasonic Intellectual Property Management Co Ltd	1,254	1,338	-6	23	1
23	Boeing Co	1,227	1,177	4	26	3
24	Robert Bosch GmbH	1,136	1,234	-8	25	1
25	Mitsubishi Electric Corp	1,106	1,151	-4	27	2
26	Toshiba Corp	1,104	1,555	-29	17	-9
27	GM Global Technology Operations LLC	1,046	1,066	-2	29	2

28	Ricoh Co Ltd	1,043	1,145	-9	28	0
29	Fujitsu Ltd	1,038	1,538	-33	19	-10
30	United Technologies Corp	1,011	494	105	75	45
31	Denso Corp	1,003	929	8	35	4
32	AT&T Intellectual Property I LP	985	946	4	32	0
33	Honda Motor Co Ltd	926	910	2	37	4
34	Micron Technology Inc	924	802	15	42	8
35	Semiconductor Energy Laboratory Co Ltd	870	977	-11	30	-5
36	Siemens AG	870	939	-7	34	-2
37	Cisco Technology Inc	848	967	-12	31	-6
38	Koninklijke Philips NV	844	905	-7	38	0
39	Halliburton Energy Services Inc	807	738	9	44	5
40	EMC IP Holding Co LLC	801	646	24	52	12
41	SK Hynix Inc	801	942	-15	33	-8
42	Texas Instruments Inc	785	923	-15	36	-6
43	Honeywell International Inc	749	856	-13	39	-4

44	Murata Manufacturing Co Ltd	743	566	31	67	23
45	NEC Corp	715	820	-13	41	-4
46	Toshiba Memory Corp	700	216	224	171	125
47	Oracle International Corp	685	753	-9	43	-4
48	LG Display Co Ltd	681	605	13	62	14
49	Dell Products LP	668	623	7	58	9
50	Fujifilm Corp	658	695	-5	47	-3

王丽 于杰平摘译自

<https://www.semiconductors.org/wp-content/uploads/2019/04/FINAL-SIA-Blueprint-for-web.pdf>

<https://www.ificlaims.com/rankings-top-50-2018.htm>

<https://mp.weixin.qq.com/s/okwNTLthRojEqmxdfrGLiQ>



## 英特尔公布其路线图及产品发布计划

2019 年 5 月 8 日，在加利福尼亚州圣克拉拉举行的投资者会议上，英特尔公司详细介绍了其路线图和产品发布计划，并试图减轻对其 10 纳米芯片延迟的担忧。在展示其 10 纳米和 7 纳米时间线时，英特尔透露其第一个 7 纳米产品将是一个 GPU 的数据中心和高性能计算应用程序的目标。该产品计划于 2021 年首次作为能源部奥罗拉超级计算机的主引擎亮相。英特尔还透露，其 OneAPI 软件将在 2019 年第四季度向开发者开放。

英特尔首席工程师兼技术、系统架构和客户团体总裁 Murthy Renduchintala 表示，7 纳米晶体管的几何形状与公司的下一代封装技术 Foveros 和 EMIB 相吻合。英特尔预计其 7 纳米工艺技术可实现 2 倍的扩展，每瓦性能提升约 20%，设计规则复杂性降低 4 倍。Renduchintala 指出，7nm 工艺还将引入英特尔首次商用 EUV，这是节点降低风险的主要领域。“这项技术将有助于推动多个节点的扩展，我们正计划在节点内进行多次改进，”他说。Renduchintala 还报道，公司的 10 纳米技术在今年年初进入大批量生产，而同事 Navin Shenoy 证实，10 纳米数据中心部分，Ice Lake Xeon，将在 2020 年上半年投入生产。

在专注于提升每个核心业绩领先地位的同时，英特尔表示，它也将加快至强路线图的节奏，从历史上的 5-7 个季度的节奏转变为 4-5 个季度的节奏，并重视规划节点内部的优化。数据中心集团执行副总裁兼总经理谢诺伊说：“从喀斯特湖到冰湖，再到蓝宝石激流——我们基于 10 纳米++技术的下一代 2021 年 Xeon——再到下一代，我们将保持 4-5 个季度的节奏，以满足客户的计算需求。”

Renduchintala 表示，10 纳米工艺在英特尔的工艺路线图上留下了“a major gap”，该公司对此的回应是从 14 纳米技术中提取更多，进行 14+和 14++两轮的优化。“我们还调整了路线图，以提供及时的产品更新，如卡比湖、咖啡湖和威士忌湖为我们的客户组合，喀斯喀特湖和库珀湖为我们的数据中心产品线”，

Renduchintal 说。Renduchintala 强调了在 10 纳米路径上学到的经验教训：“保持节点组合的价值在于提供了灵活性，以优化产品性能、上市时间和利润率；以及使我们的开发团队通过节点间的转换轻松快速地迁移他们的设计的重要性”。

英特尔计划引入 7 nm 将与最后一个 10:10++ 节点重叠。首席执行官鲍勃斯旺建议投资者，紧缩的时间表 10 纳米坡道和快速跟进 7 纳米将影响毛利润。

### Xe 计算架构和 OneAPI

英特尔 Xe 架构在 Aurora 超级计算机设计应用上的胜利，促使其将与合作伙伴 Cray 一起为阿贡国家实验室建立符合美国 exascale 的目标的超级计算机。英特尔上周透露，GPU 将具有光线追踪功能，它还建立了三个机构，以推进大规模图形和可视化研究。3 个英特尔图形和可视化研究所位于犹他大学、德克萨斯大学奥斯汀分校的德克萨斯高级计算中心和斯图加特大学。

英特尔透露 OneAPI，将在今年第四季度向开发者开放。OneAPI 是英特尔努力统一整个公司的计算机产品组合的编程-它的 CPUs、GPUs、specialized AI silicon、和 FPGAs，该公司集体称为 XPU 的。

“我们拥有广泛的 XPU 投资组合” Renduchintal 表示，“当然，CPU 仍然是我们未来架构的中枢神经系统，但它们将得到我们所认为的真正的高性能 GPU、神经网络处理单元的补充，我们拥有可从定制加速中受益的特定 AI 工作负载，以及我们需要灵活处理空间工作负载现场可编程门阵列技术”。

“OneAPI 项目的目标是通过一套 API 来协调对 XPU 技术的访问，使用户感到从一个 XPU 架构到另一个 XPU 架构的无缝过渡”，Renduchintala 说。

王丽 于杰平摘译自

<https://www.hpcwire.com/2019/05/08/intel-puts-7nm-gpu-on-roadmap-for-2021-oneapi-coming-this-year/>

## 关于集成电路设计和软件产业企业所得税政策的公告

2019 年 5 月 17 日，财政部和税务总局发布《关于集成电路设计和软件产业企业所得税政策的公告》（2019 年第 68 号）。为支持集成电路设计和软件产业发展，现就有关企业所得税政策公告如下：

一、依法成立且符合条件的集成电路设计企业和软件企业，在 2018 年 12 月 31 日前自获利年度起计算优惠期，第一年至第二年免征企业所得税，第三年至第五年按照 25% 的法定税率减半征收企业所得税，并享受至期满为止。

二、本公告第一条所称“符合条件”，是指符合《财政部 国家税务总局关于进一步鼓励软件产业和集成电路产业发展企业所得税政策的通知》（财税〔2012〕27 号）和《财政部 国家税务总局 发展改革委 工业和信息化部关于软件和集成电路产业企业所得税优惠政策有关问题的通知》（财税〔2016〕49 号）规定的条件。

于杰平选摘自

[http://szs.mof.gov.cn/zhengwuxinxi/zhengcefabu/201905/t20190521\\_3261938.html](http://szs.mof.gov.cn/zhengwuxinxi/zhengcefabu/201905/t20190521_3261938.html)

## 美国贸易代表办公室（USTR）发布了一份价值约 3000 亿美元的中国商品清单

2019 年，美国时间 5 月 13 日，美国贸易代表办公室（USTR）发布了一份价值约 3000 亿美元的中国商品清单，其中包括半导体供应链中的一些商品，这些商品将面临加征 25% 关税。此份公告是在上周五从中国进口 2000 亿美元的关税上调 10% 至 25% 之后发布的。总而言之，美国已经对 2500 亿美元的中国商品征收关税，其中包括对半导体制造至关重要的材料和机器。周一公布的扩大清单将对从中国进口的所有进口商品征收关税。部分清单如下：

表 1 价值约 3000 亿美元的中国商品清单（涉及半导体及集成电路部分）

HTS	Subheading Product Description
8486.20.00	Machines and apparatus for the manufacture of semiconductor devices or

	electronic integrated circuits
<b>8486.90.00</b>	Parts and accessories of the machines and apparatus for the manufacture of semiconductor devices, electronic integrated circuits and flat pa
<b>8541.40.60</b>	Diodes for semiconductor devices, other than light-emitting diodes, nesoi
<b>8486.40.00</b>	Machines and apparatus for the manufacture of masks and reticles; for the assembly of electronic integrated circuits;
<b>8542.31.00</b>	Electronic integrated circuits: processors and controllers
<b>8542.32.00</b>	Electronic integrated circuits: memories
<b>8542.33.00</b>	Electronic integrated circuits: amplifiers
<b>8542.39.00</b>	Electronic integrated circuits: other
<b>8542.90.00</b>	Parts of electronic integrated circuits and microassemblies

于杰平选摘自

<https://china.usembassy-china.org.cn/wp-content/uploads/sites/252/Final-Second-Tranche.pdf>

[http://www.semi.org.cn/news/news\\_show.aspx?ID=56204&classid=117](http://www.semi.org.cn/news/news_show.aspx?ID=56204&classid=117)

## 行业动态

## 美国半导体产业协会发布 2019 年 Factbook 白皮书，披露美国半导体实力

每年，美国半导体协会（SIA）都会发布一本白皮书 factbook，当中会披露美国半导体产业的一些现状和数据，展示美国半导体产业的实力和前景，2019 年的 fact book 也正式发布了。

### 一、行业概况

全球半导体销售额从 1998 年的 1256 亿美元增加到 2018 年的 4688 亿美元，复合年增长率为每年 6.81%。根据世界半导体贸易统计（WSTS）2018 年秋季半导体行业预测，预计 2019 年全球半导体行业销售额将达到 4900 亿美元，2020 年将达到 5060 亿美元。（\*WSTS，2018 年秋季半导体行业预测）。

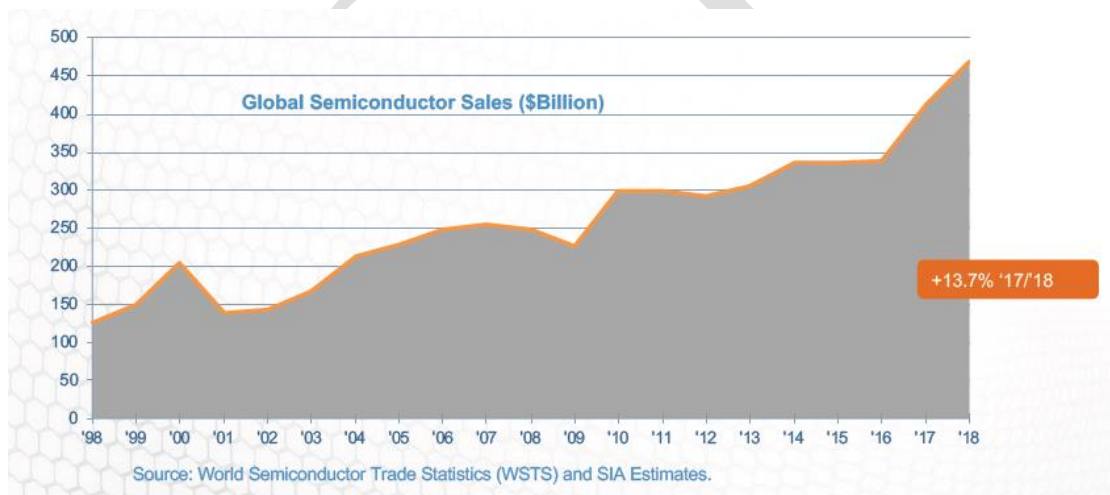


图 1 全球半导体销售额

### 美国半导体工业拥有近一半的全球市场份额

20 世纪 80 年代，美国半导体产业在全球市场份额方面遭受重大损失。在 20 世纪 80 年代早期，美国的生产商占全球半导体销售额的 50% 以上。由于受到来自日本企业的激烈竞争和非法“倾销”，以及 1985 年至 1986 年的严重行业衰退的影响，美国工业在全球市场上失去了 19 个点的市场份额，将全球半导体行业市场份额让给了日本。在此以后的 10 年，美国工业开始出现反弹，到 1997 年，

它已经重新获得了领导地位，全球市场份额超过 50%，直至今天美国仍旧保持着这种领先的地位。美国半导体公司在微处理器和其他一系列产品领域上继续处于领先地位。此外，美国半导体公司在研发，设计和工艺技术方面保持领先地位。如今，总部位于美国的公司拥有最大的市场份额，占 45%。其他国家的工业占全球市场份额的 5%至 24%。

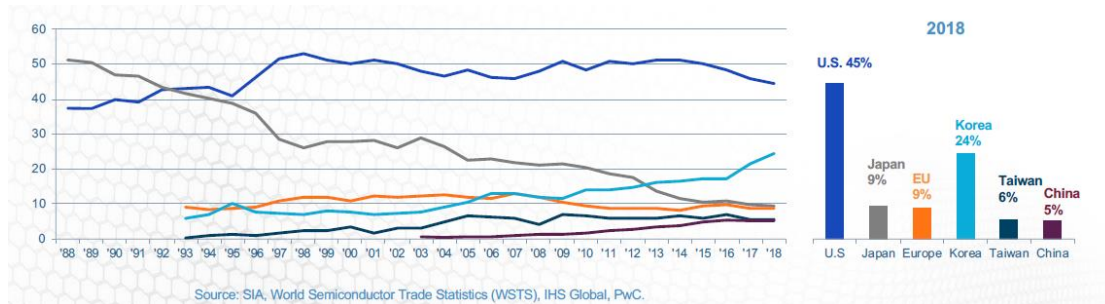


图 2 全球半导体市场份额

### 美国的半导体公司销售已经显示出稳定的年度增长

美国总部半导体公司的销售额从 1998 年的 671 亿美元增长到 2018 年的 2089 亿美元，复合年增长率为 5.84%。美国总部公司的销售增长显示了整个行业的周期性波动。

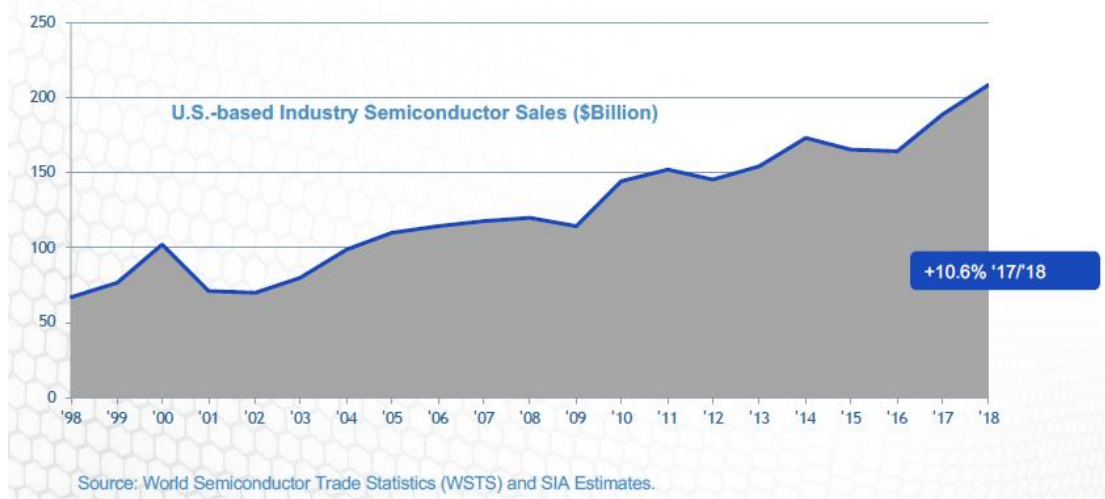


图 3 美国半导体公司销售额趋势

### 在半导体市场主要区域内，美国公司占有领先地位

2018 年，总部设在美国的半导体公司占据了整个半导体市场的 45%，是所有国家半导体行业中最多的。在所有主要国家和地区的半导体市场中，美国公

司保持了销售市场份额的领先地位。

在中国 1584 亿美元的中国半导体市场，美国公司的份额高达 47.5%；亚洲太平洋其他地区的 1245 亿美元市场中，美国公司的市场份额也高达 48.7%；在美洲市场 1030 亿美元销售额中，美国公司的份额反而只有 34.9%；欧洲 430 亿美元的半导体销售中，美国的份额高达 48.9%。美国公司在日本 400 亿美元的半导体市场中，市场份额也高达 40.4%。

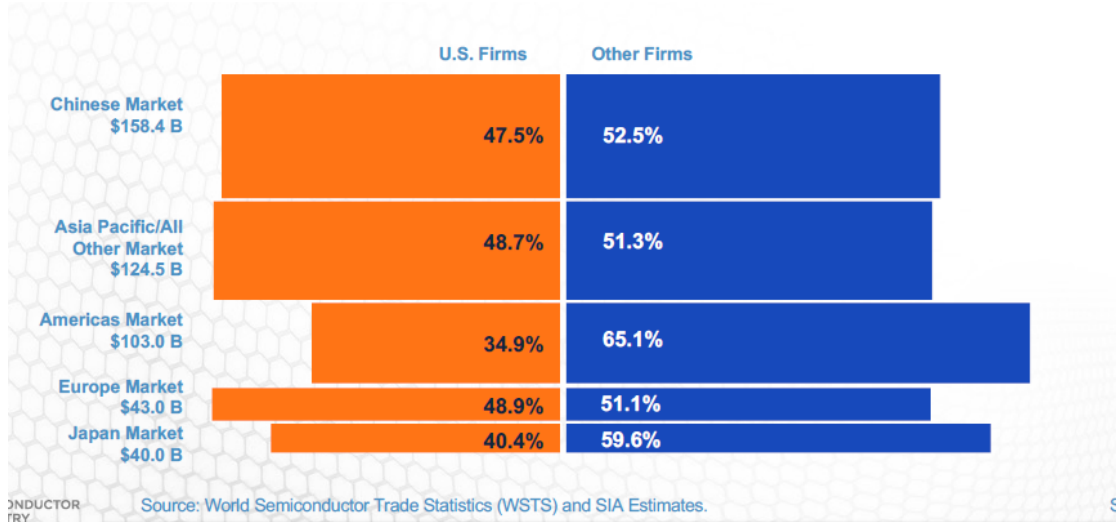


图 4 美国在各国半导体市场的占有率

### 在美国制造半导体的绝大部分都是由美国公司完成的

2018 年，总部位于美国的公司占了美国半导体晶圆产能的 81%。总部位于亚太地区的半导体公司占美国产能约占 10%。

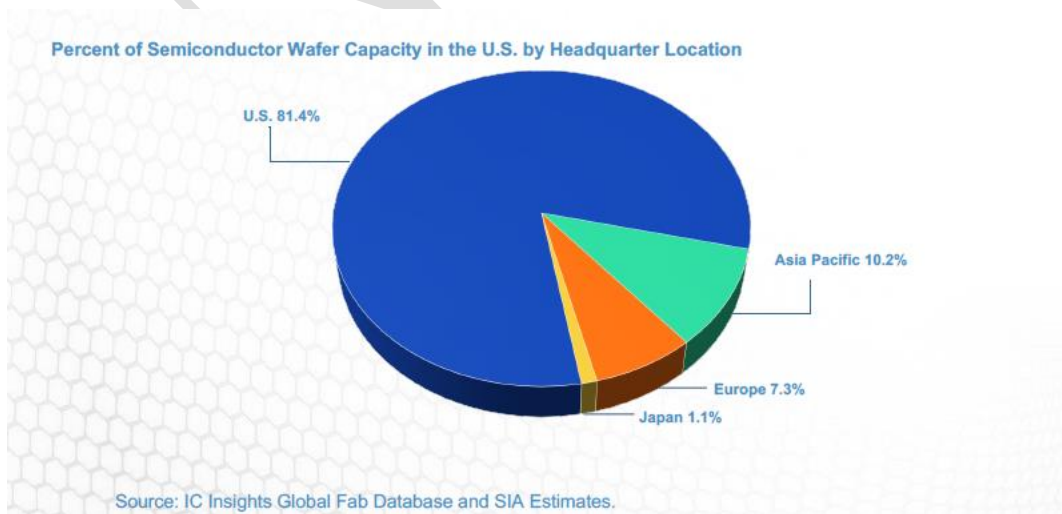


图 5 美国半导体制造的分布情况

### 美国半导体工业在美国拥有更多的制造基地

2018 年，总部位于美国的半导体公司的前端半导体晶圆产能中约有 44% 是美国完成的，其他主要地点是新加坡，台湾，欧洲和日本。

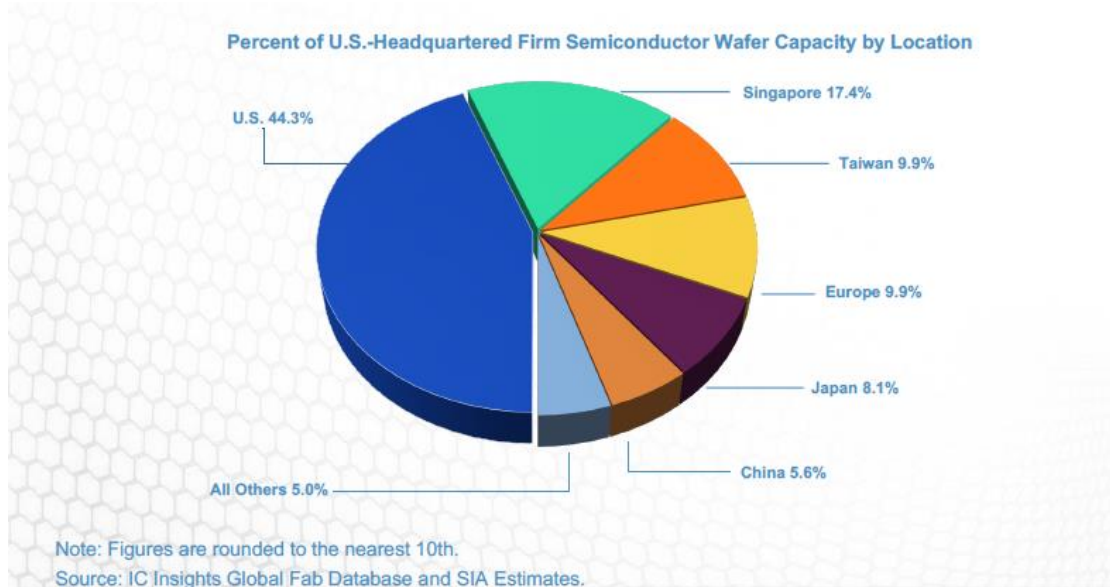


图 6 美国半导体工业的制造基地分布

### 半导体是美国最大的出口产品之一

2018 年，美国半导体出口额达 440 亿美元，仅次于飞机、成品油和原油，位居美国出口第四位。半导体在美国所有电子产品出口中所占份额最大。

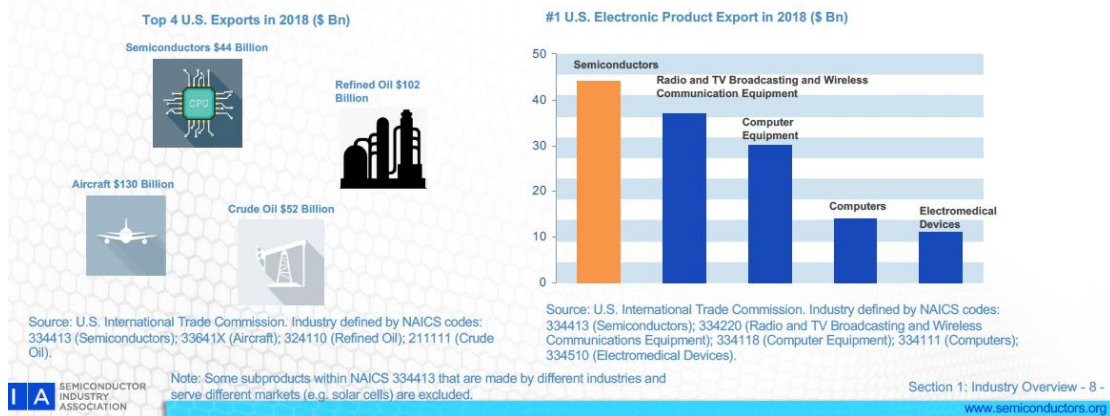


图 7 美国半导体产品出口情况

## 二、全球市场

### 全球半导体销售是由消费者最终购买的产品驱动的

绝大多数半导体需求是由消费者最终购买的产品驱动的——无论是笔记本电脑还是智能手机等通信设备。消费者需求越来越多地受到新兴市场的推动，



这些地区包括亚洲，拉丁美洲，东欧和非洲。

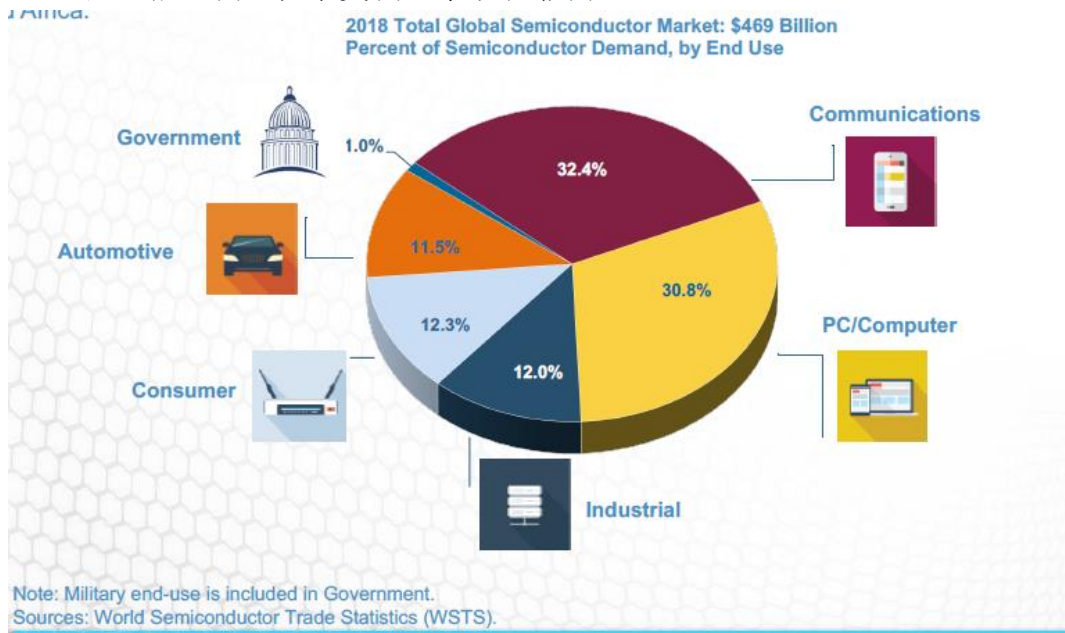


图 8 全球半导体市场

### 全球半导体销售按产品类型分类

随着半导体工业发展出更先进的产品和工艺技术，在工业终端应用中，半导体技术得到了迅速的发展。最近几年，世界范围内的半导体工业一直是存储器、逻辑、模拟和 MPU。2018 年，这些产品占半导体行业销售额的 80%。

其中，存储在 2018 年的销量为 1580 亿美元，同比增长了 27.4%；

逻辑芯片的销量为 1090 亿美元，同比增长了 6.9%；

模拟芯片的出货量为 590 亿美元，同比变动为 10.8%；

MPU 的销量为 470 亿美元，同比变动为 5.9%；

光器件的销售为 380 亿美元，同比增加 9.3%；

分立器件销售为 240 亿美元，同比增长 11.3%；

MCU 的销售为 170 亿美元，同比增长 4.4%；

传感器的销售为 130 亿美元，同比增长 6.2%；

DSP 的销量额 30 亿美元，同比减少 0.6%

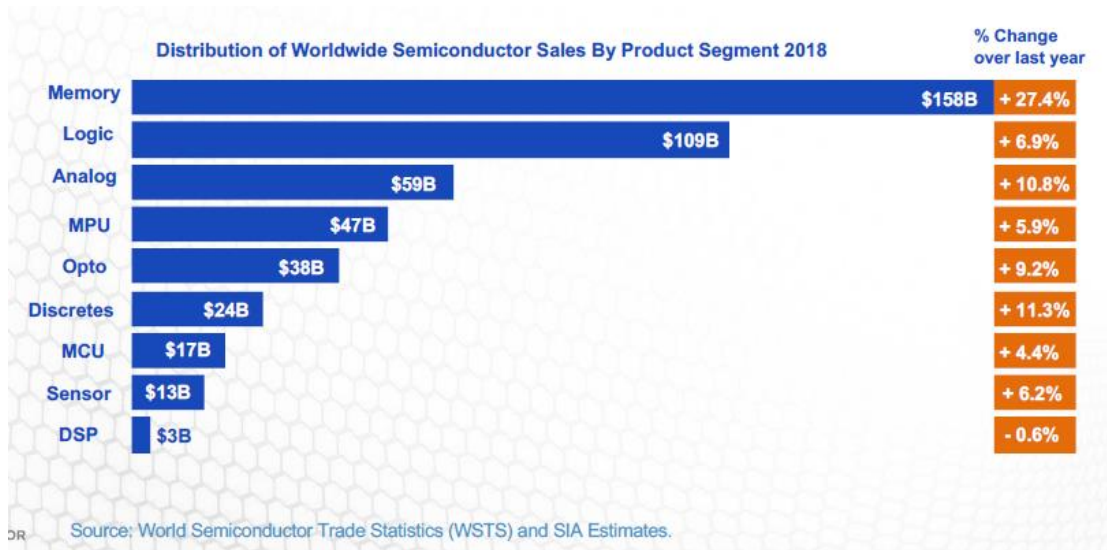


图 9 2018 年全球半导体市场

**亚太地区是最大的区域半导体市场，中国是最大的单一国家市场**

2001 年，随着电子设备生产转移到亚太地区市场，该地区在销售方面超过了所有其他区域市场。也就是从那时起，它的规模成倍增长：从 398 亿美元增加到 2018 年超过 2820 亿美元。

到目前为止，亚太地区最大的国家市场是中国，占亚太地区市场的 56%，占全球市场总量的 34%。这些数据反映了半导体仅向电子设备制造商的销售——含有半导体的终端电子产品会被运往全球各地进行销售。

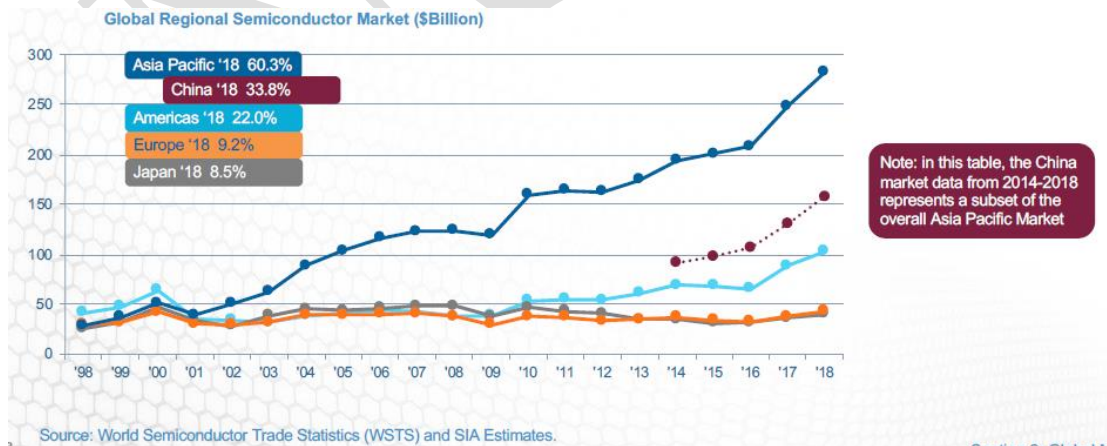


图 10 历年全球半导体市场

**三、资本与研发投资**

该行业每年在资本和研发方面的总投资水平很高

2018 年，包括 fabless 公司在内的美国半导体公司的研发和资本支出总额为 714 亿美元。从 1998 年到 2018 年，复合年增长率约为 6%。投资占销售的份额一般不受与市场周期性有关的波动的影响。

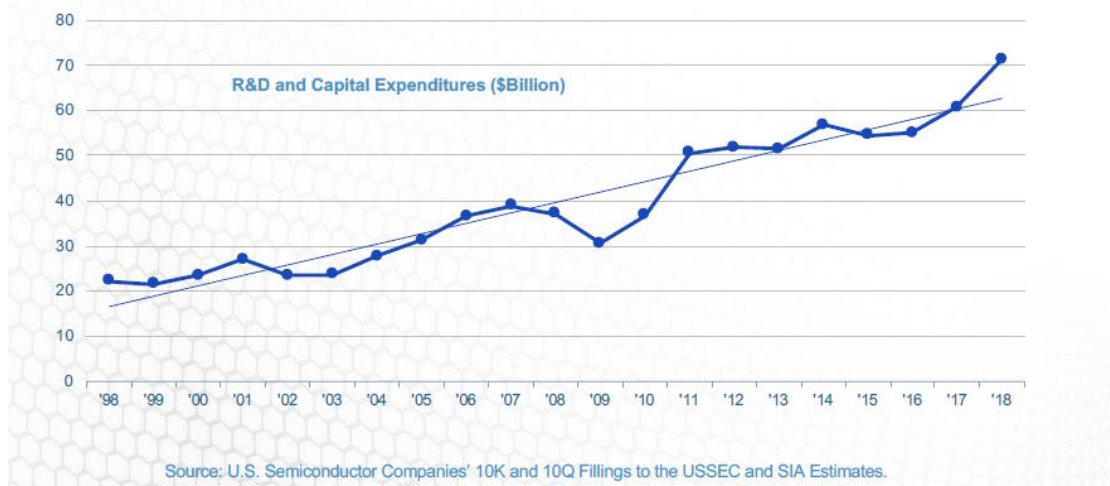


图 11 研发和资本支出情况

### 资本和研发投资是保持美国半导体产业竞争力的关键

为了在半导体行业保持竞争力，企业必须不断在研发和新工厂和设备上投入大量收入。行业技术变革的步伐要求公司开发更复杂的设计和工艺技术，并引入能够制造具有更小特征尺寸的部件的生产机械。

设计和生产最先进的半导体元件的能力要通过不断地进行投资来支持，这种投资往往要占到销售额的 30%。

保持技术前沿的必要性导致了 2001 年的一些波动，当时销售额急剧下降，但研发和资本设备的支出并没有以同样的速度下降。



图 12 美国半导体产业研发投资占销售额的比例

美国工业在资本支出和人均研发方面的投资非常高，2018 年达到了前所未有的水平

从 1998 年到 2018 年，每位员工的总投资（以研发和新工厂和设备的总和来衡量）以每年约 3.6% 的速度增长。这些支出在 2001 年超过 10 万美元，但在 2001 年经济衰退后下降到 2003 年的约 85,000 美元。2006 年，每位员工的投资增加到 10 万美元以上。2008 年至 2009 年的经济衰退导致 2009 年和 2010 年每位员工的投资减少，但在 2012 年又回归，并在 2018 年增长到超过 18 万美元的前所未有的水平。

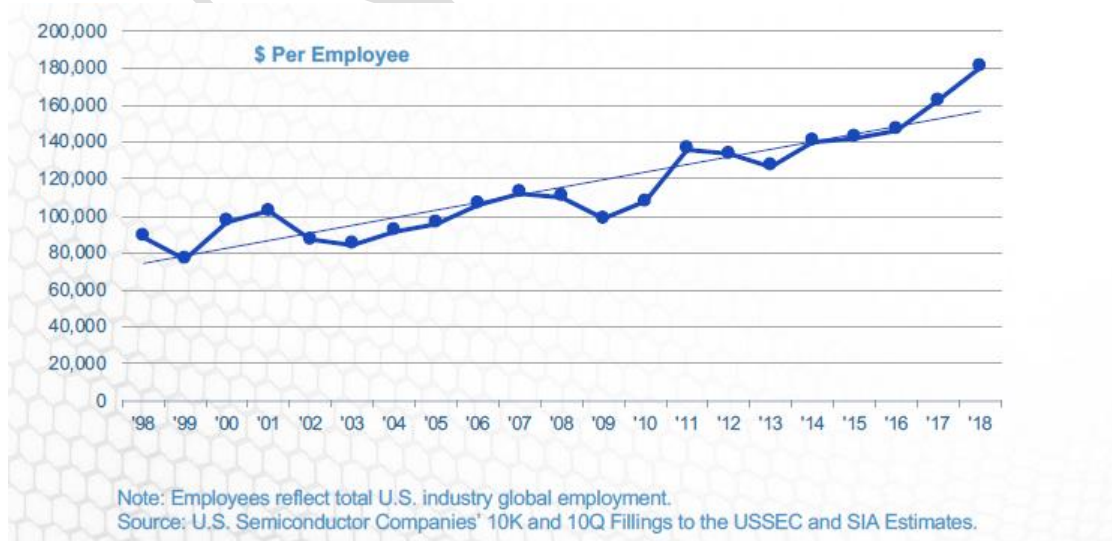


图 13 美国工业人均研发总投资情况

美国半导体工业的研发支出一直很高，反映出研发对半导体生产的内在重要性

从 1998 年到 2018 年，美国半导体产业研发支出的复合年增长率约为 7.3%。美国半导体公司的研发支出一直很高，无论年销售周期如何，都反映了投资半导体研发对半导体生产的重要性。2018 年，美国半导体产业在研发方面的投资总额达到 387 亿美元。

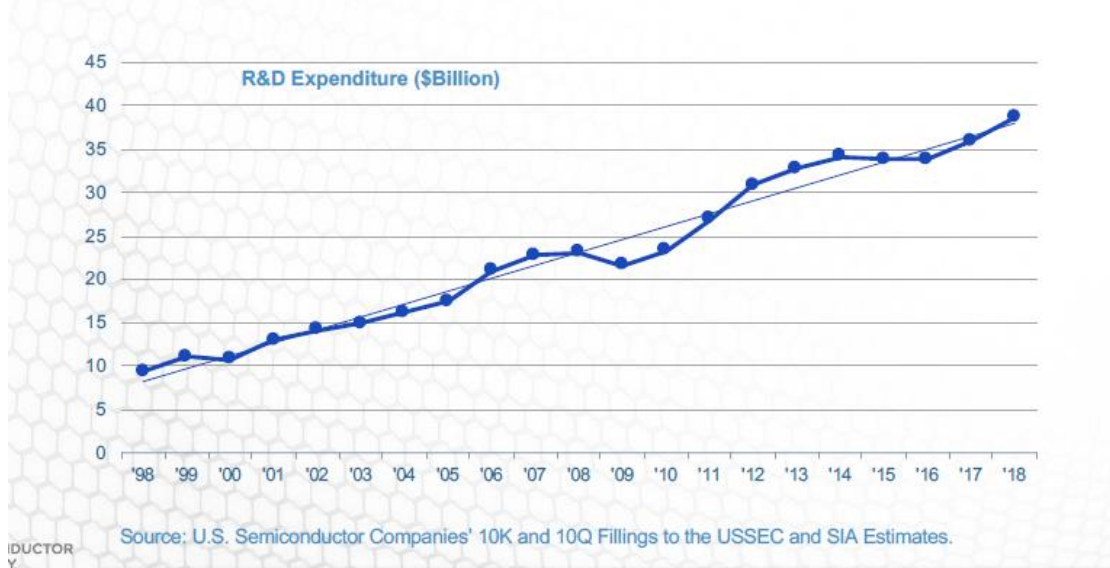


图 14 美国半导体产业研发支出情况

年研发支出占销售额的百分比在过去 20 年中超过了 10%，是美国工业中最高的

在过去的 20 年里，研发支出占销售额的比例已经超过了 10%。这一比例在美国经济的主要制造业部门中是前所未有的。研发费用对半导体企业的竞争地位至关重要。快速的技术变革要求在工艺技术和设备能力方面不断进步。2001 年和 2002 年的研发增长是由于公司在行业不景气的情况下对未来技术的承诺。2003 至 2004 年的下降并不是由于研发预算的削减，而是因为行业复苏强于预期，2018 年也是如此。

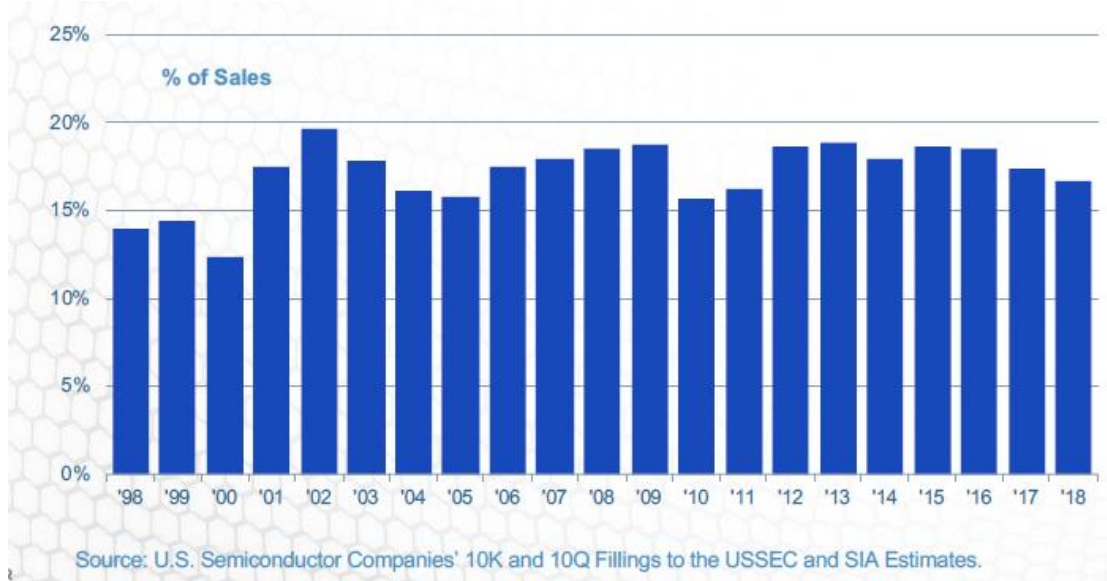


图 15 美国半导体产业研发支出占销售额的比例

### 美国半导体工业是研发领域的领导者

美国半导体工业的研发支出在主要的高科技产业中是最高的。基于 2018 年欧盟工业 R&D 记分牌，美国半导体产业在研发支出占销售额百分比而言，仅次于美国制药和生物技术行业。数据显示，美国半导体的研发投入占比为 17.4%%。

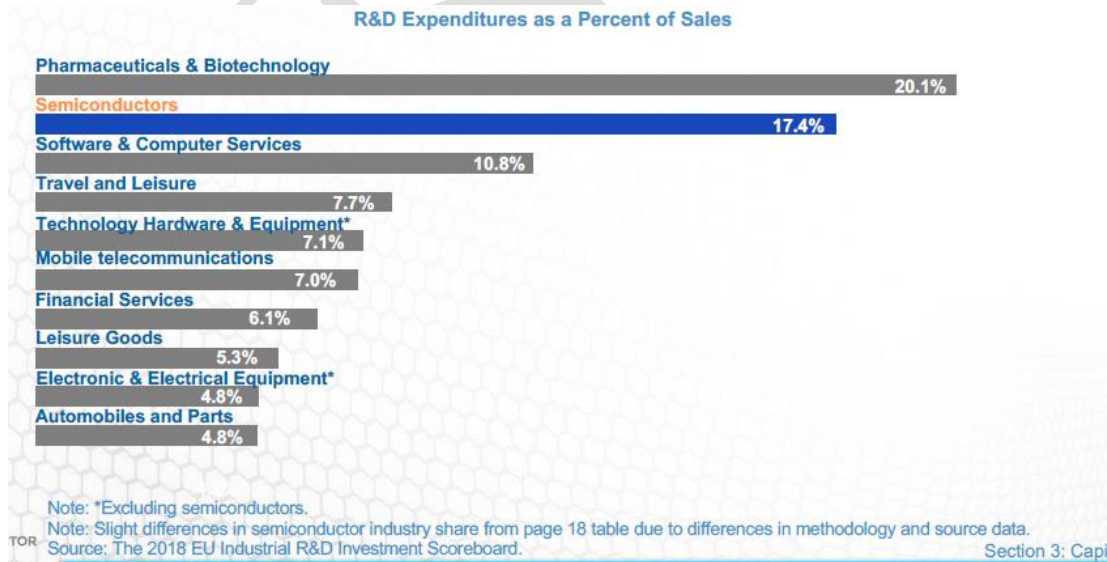


图 16 美国半导体产业研发支出与主要科技产业的对比分析

美国半导体工业的研发支出占销售额的百分比，比其他任何国家的半导体工业都要高

美国半导体工业的研发支出占销售额的百分比是任何其他国家半导体工业

无法比拟的。如下图所示，欧洲半导体的研发投入为 13.9%，中国台湾为 9.9%，日本为 8.8%，中国大陆为 8.4%，韩国为 7.3%。而其他国家为 4.9%。

从这个数据可以看到，研发投入越多的国家/地区，半导体水平基本都更好，唯一例外的就是韩国。从数据上看，他们的研发投入都没有中国大陆多，但他们在某些领域（如存储）方面的表现，遥遥领先于中国大陆。

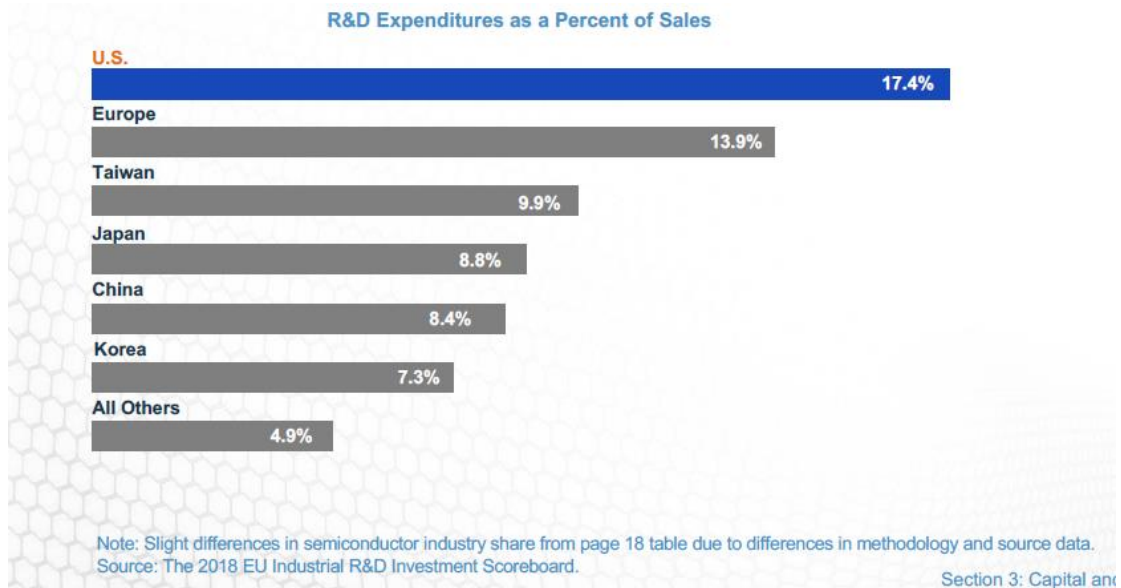


图 17 美国半导体产业研发支出与其他国家对比分析

美国半导体工业的资本密集程度很高，每年在资本设备上的支出占销售额的比例往往很高

2018 年半导体行业总资本支出为 327 亿美元，创历史新高。比 2017 年的 248 亿美元增长 31.7%。由于 1999 - 2001 年期间主要新设施的完工和铸造厂使用的增加，资本支出从 2001 年至 2003 年有所下降。2004 年出现反弹，2005 年，在资本支出占销售额的百分比方面，该行业处于平衡状态。2011 年，由于全球经济衰退导致 2009 年大幅下滑后，资本支出反弹至 238 亿美元。

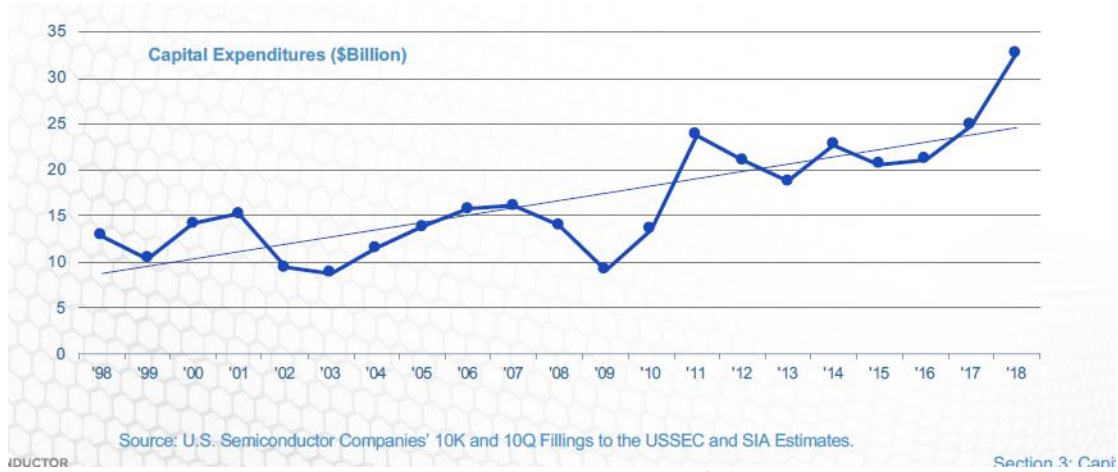


图 18 美国半导体产业历年总资本支出

#### 四、美国就业情况

数据显示，美国本土从事半导体产业的人有 241825 人。而半导体间接相关的美国就业岗位超过 100 万。



图 19 美国半导体产业就业情况

#### 五、美国生产力

在过去的 20 年中，美国的半导体公司的生产力得到了迅速的提高。自 1998 年以来，美国半导体工业的劳动生产率翻了一番多。这些生产力的提高是通过保持高资本投资水平和研发支出率来实现的。数据显示，2018 年，美国半导体行业平均每名雇员的销售收入超过 584,000 美元，创历史新高。



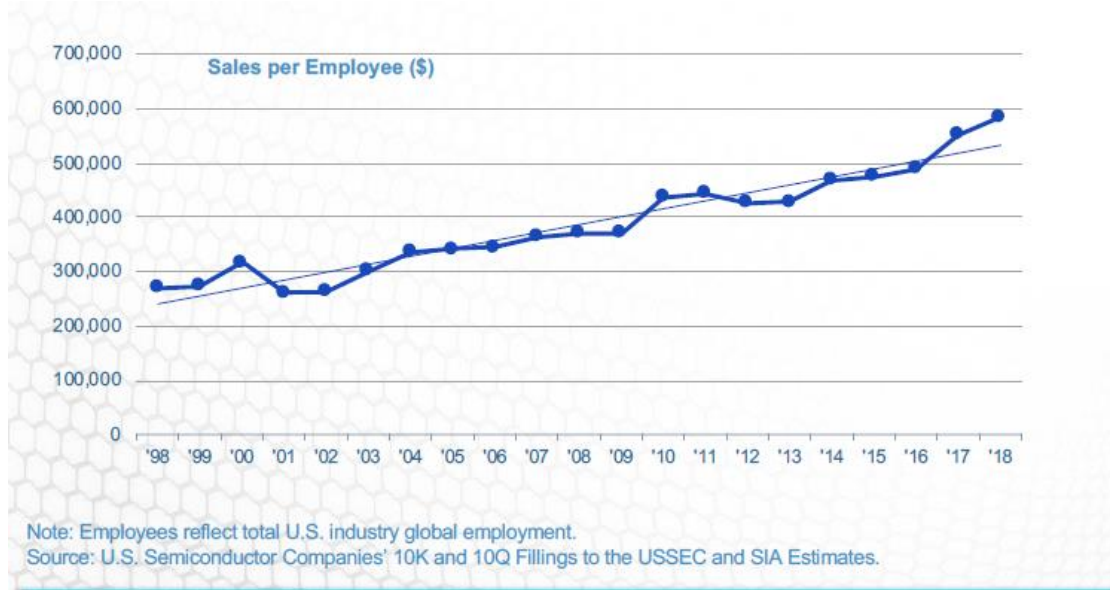


图 20 美国半导体产业从业人均销售额情况

王丽 于杰平选摘自

<https://mp.weixin.qq.com/s/XaVqVqX2Yw9iSQd59mwWcg>

## ASML 商业窃密案胜诉，XTAL 需赔偿 8.45 亿美元

2019 年 5 月 3 日，美国加州高等法院对 XATL 公司盗窃荷兰 ASML 公司商业秘密一案做出判决，判决荷兰 ASML 公司胜诉，XTAL 公司需向 ASML 公司支付 8.45 亿美元赔偿（约合 57.4 亿人民币）及临时禁制令。

禁制令禁止 XTAL 对包含 ASML 公司知识产权的软件产品进行开发活动，也禁止 XTAL 继续在与 ASML 相同的业务领域运营。

由于 XTAL 处于破产状态，ASML 在获得终审胜诉后无法获得其 8.45 亿美元的所有赔偿金。但根据和解安排，ASML 最终将通过破产程序获得 XTAL 的大部分知识产权和资产所有权。同时 ASML 被授予可联系 XTAL 的实际或潜在客户。

2018 年 11 月 28 日，在美国加州圣克拉拉联邦法院、陪审团做出本案的初

步裁决，裁定 XTAL 盗窃知识产权的行为属于恶意，ASML 公司对 XTAL 提出的所有五项罪名成立，可依法获得惩罚性赔偿。

根据起诉书，ASML 公司指控 XTAL 诱使 ASML 美国子公司的几名中国籍雇员为其工作，窃取 ASML 公司的商业秘密，包括源代码、软件、公司定价策略和供内部使用的设备手册，并帮助 XTAL 与 ASML 的一个最大客户获得有利可图的合同。然后，XTAL 利用被盗的商业秘密信息快速启动其竞争性计算光刻业务，使其发展速度远远超出可能的范围。

加州高等法院最终裁定的 8.45 亿美元赔偿额，远高于 2018 年底初步裁决的 2.23 亿美元。ASML 发言人强调，因为涉及的不仅仅是公司的损失。“这个赔偿数额是各种因素的组合。法院已经研究了 XTAL 不开发自身产品而节省的成本，以及 ASML 本身的收入损失等等。”

XTAL 的律师试图通过辩称 ASML 没有做出合理的努力来保护其商业秘密来打败 ASML 的商业秘密索赔。但 ASML 提供了大量证据，表明 ASML 为保护其商业秘密和其他机密信息采取了众多措施，包括专家意见证据表明 ASML 的安全措施优于许多硅谷技术公司。陪审团同意 ASML 的意见，认为“ASML 在这种情况下做出了合理的努力，以保证这些项目的秘密。”

ASML 公司是一家总部设在荷兰的世界最大的光刻机制造商，该公司向全球复杂集成电路生产企业提供领先的综合性关键设备，曾制造了全球独有的 OLED 面板刻蚀机。

XTAL 成立于 2014 年，在美国硅谷注册，由韩国和中国的实体资助。作为 ASML 的主要竞争对手，该公司成立一年后就拐跑了 ASML 的诸多大客户，包括电子巨头三星公司。

XTAL 近年相关专利：

专利家族成员	专利题名 (Derwent)	相关专利权人
WO2019014095-A1; US2019074121-A1	Article used in e.g. portable electronic device, head actuators for computer hard disks and magnetic resonance imaging	XTALIC CORP

	comprises magnet and electroplated coating which is formed on the magnet and includes aluminum layer	
US2018171498-A1	Electrodeposition bath used in system for depositing coatings on base material e.g. alloy, comprises nonaqueous liquid and optionally substituted aromatic hydrocarbon	XTALIC CORP
US2018087173-A1	Manufacture of consumer electronic product used for e.g. tablet computer enclosure involves electrodepositing aluminum alloy on metal substrate by co-depositing aluminum ions and alloying element ions from plating bath	XTALIC CORP
US2018056630-A1	Method for depositing coating for article comprises providing anode, cathode, electrodeposition bath, and power supply connected to anode and the cathode, and driving power supply to electrodeposit coating on base material	XTALIC CORP
US2018002786-A1	Method for forming consumer electronic product enclosure including aluminum zirconium alloy involves co-depositing aluminum ions and zirconium ions onto metal substrate	XTALIC CORP
CN107146964-A; CN206850073-U	Electroplating coating layer for terminal in electronic interface of electronic device,	东莞普瑞得五金塑胶制品有限公司;

	has outer nickel tungsten clad layer formed between inner gold plating layer and palladium plating layer and connected with outer gold plating layer (一种用于端子的电镀镀层以及端子、电子接口、电子设备)	华为技术有限公司; XTALIC CORP
WO2017143033-A1; US2017253008-A1; CN107250430-A; EP3417089-A1	Article used in electroplate, comprises substrate coating formed on substrate, and metallic layer	XTALIC CORP
WO2017143048-A1; US2017253983-A1; CN108698374-A; EP3416825-A1	Articles useful in electrical applications such as electrical connectors, has first metallic layer having silver formed on substrate and second metallic layer having rhodium formed on first metallic layer	XTALIC CORP
US2017053723-A1; WO2017031429-A1; CN107923003-A; EP3337912-A1; JP2018532259-W; EP3337912-A4	Article useful e.g. in portable electronic devices, head actuators for computer hard disks, MRI and loudspeakers, comprises magnet, and a coating including an aluminum manganese alloy layer formed on the magnet	XTALIC CORP
US2017016130-A1; WO2017011640-A1; CN107921472-A; EP3322542-A1; EP3322542-A4	Electrodeposition method involves electroplating nickel tungsten alloy layer on surfaces of components and nickel tungsten alloy layer forms portion of coating on surfaces of components	XTALIC CORP
US2017009360-A1	Electrochemical power cell, has anode	XTALIC CORP

	including first current collector and cathode including second current collector, such that first or second current collector comprises electrodeposited aluminum foil	
--	---	--

(专利数据来源: Derwent Innovations Index)

王丽 于杰平摘译自

<https://www.prnewswire.com/news-releases/bartko-trial-team-obtains-845-114-000-judgment-for-asml-against-xtal----one-of-the-largest-judgments-for-theft-of-trade-secrets-in-us-history-300843914.html>

<http://www.ipr007.com/modules/NewsComment.aspx?no=NE00000002700000227>

## 前沿研究

## p 型铝钛氧化物 GaN 晶体管的正阈值

印度科学研究所声称，使用 p 型铝钛氧化物 (AlTiO) 栅绝缘材料，第一次实现了 AlGaIn/GaN 高电子迁移率晶体管 (HEMTs) 的增强模式 (e-mode) [Sayak Dutta Gupta et al, IEEE Transactions on Electron Devices, 2019 年 4 月 16 日在线出版]。

金属氧化物-半导体 (MOS) 栅叠层结合了  $\text{TiO}_2$  ( $k$  大于 60) 的高介电系数特性和  $\text{Al}_2\text{O}_3$  掺杂 ( $k \sim 9$ ) 提供的 p 型特性。 $\text{Al}_2\text{O}_3$  替代 Ti 位点上的 2Al，而 3O 缺少一个双正电荷的空位。带电荷的 O 空位可以释放出两个空位，这两个空位随后可以被未带电荷的 O 空位吸收。两个铝电极上的补偿负电荷是固定的。

研究人员评论说：“本文中使用 p 型 AlTiO 的 e-mode HEMT 的 ON-state 性能被发现与迄今为止最好的报告相当。”

GaN HEMT 正在发展成为功率开关，其中增强模式相对于耗尽模式是低功耗和故障安全性能的理想选择。当栅极电位为 0V 时，增强型器件处于小电流关断状态。相比之下，耗尽模式操作的电流为 0V，需要一个（负）电位来切断电子流。

不幸的是，简单的 GaN hemt 是耗尽模式的，需要特殊的额外处理将阈值电压推向一个正的方向，以提供增强模式，通常是关闭性能。在栅极下方放置诸如镁掺杂的 p-GaN 的 p 型材料是一种用于移动到增强型器件的方法。在栅极中刻蚀栅极也会使阈值正电压增加，但是去除所有阻挡材料会增加由于 GaN 沟道表面的蚀刻损坏导致的导通电阻。

与肖特基栅极 HEMT 相比，高  $k$  介质可提高栅极下电流的静电控制，同时具有更尖锐的导通（低亚阈值摆幅），同时减少栅极泄漏。

在 6 英寸 (111) 硅衬底上的金属有机化学气相沉积 (MOCVD) 产生具有 150nm AlN 成核，1  $\mu\text{m}$  AlGaIn 跃迁，3  $\mu\text{m}$  mGaN 缓冲/沟道，22nm  $\text{Al}_{0.22}\text{Ga}_{0.78}\text{N}$  势

垒和 40nm 原位氮化硅的外延结构帽。

制作的晶体管（图 1）由退火的钛/铝/镍/金源极-漏极触点、等离子体刻蚀的台面隔离、AlGaIn 势垒的原子层刻蚀（ALE），用于栅极间隙刻蚀、栅极氧化物的表面处理和沉积、以及镍/金栅极金属的形成和低温退火。

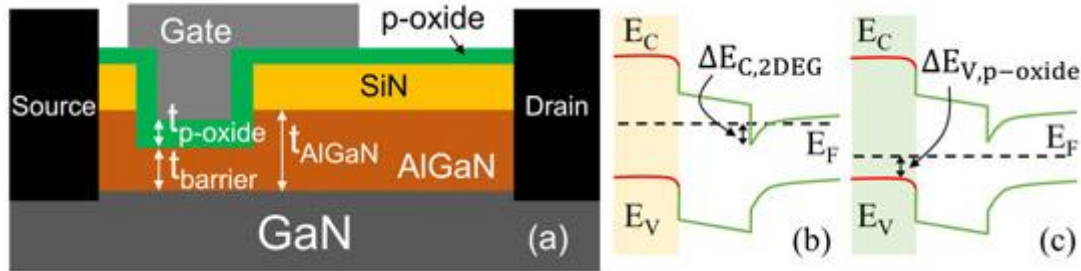


图 1: (a) 具有 p 型金属氧化物栅极和部分凹陷的 AlGaIn 势垒的 HEMT 横截面图; (b) 具有常规电介质; (c) p 型氧化物的 AlGaIn/GaN HEMT 的能带示意图: p 型氧化物在二维电子气 (2DEG) 通道中移动导带下的费米能级 ( $E_F$ )。

使用 BENEQ 原子层沉积 (ALD) 设备施加栅极氧化物。其中, 在  $\text{TiO}_2$  和  $\text{Al}_2\text{O}_3$  组分中水 ( $\text{H}_2\text{O}$ ) 被用作氧的前驱体, 钛来自来自四异丙醇钛 (TTIP), 铝来自三甲基铝 (TMA)。氧化物由  $\text{Al}_2\text{O}_3$  和  $\text{TiO}_2$  层循环构成。

在  $\text{Al}_{0.52}\text{T}_{0.48}\text{O}$  上的霍尔测量显示 p 型导电性, 多数空穴浓度为  $1.4 \times 10^{14}/\text{cm}^3$ 。将  $\text{Al}_{0.52}\text{T}_{0.48}\text{O}$  材料作为 p 型栅极氧化物与包含纯  $\text{TiO}_2$ 、溅射氧化铜或电子束蒸发氧化镍对 MOS-HEMT 结构的影响进行比较。

纯  $\text{TiO}_2$  栅极绝缘以耗尽模式工作, 阈值电压为 -4V。在  $\text{TiO}_2$  中具有 52% 的 Al, 阈值向正方向移动到 -0.2V。随着温度的升高, 沉积后退火也正向推动阈值, 但是对于  $\text{AlTiO}$  中 Al 含量较高的影响变得不太明显。因此认为, Al 含量较低时效果明显是因为可以更大的活化铝; 但 Al 含量在 52% 时, Al 可被活化的 Ti 位点数量有限。氧化铜比  $\text{AlTiO}$  具有更小的阈值偏移。此外, 栅极泄漏增加了四个数量级。对于氧化镍, 栅极泄漏甚至更糟。

通过使栅极凹陷来减小势垒使得能够获得正阈值电压。屏障厚度为 8nm 时, 阈值为 +0.5V。得到的晶体管以增强模式工作, 器件处于 OFF 状态, 栅极电位为 0V。更薄的屏障还改善了通道控制, 降低了关断状态电流 (降低了 100 倍), 并且在 73mV/十倍频率下改善/降低了亚阈值摆幅 (图 2)。

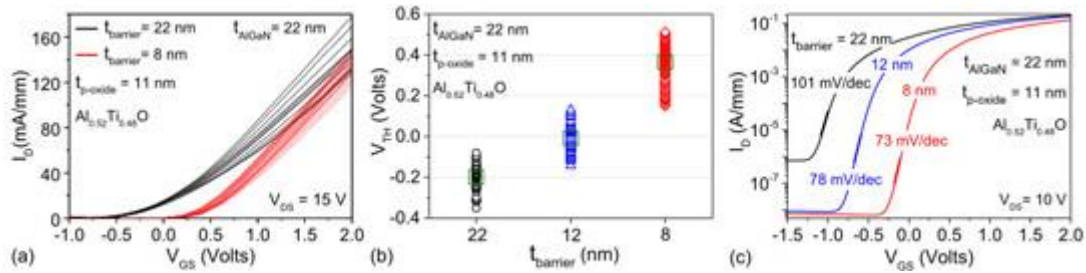


图 2: (a) 具有优化的 p-氧化物和不同的阻挡层厚度的 HEMT 的传输特性; (b) 当栅极下的势垒厚度缩放时, 阈值 (VTH) 从负值变为正值; (c) 传递特性和导出的亚阈值摆动 (SS) 值的对数图。

漏极电流-栅极电压双扫描的阈值电压滞后分别为~30mV 和~40mV, 漏极偏压分别为 0.1V 和 15V。具有 3  $\mu$ m 栅极长度和 17.5  $\mu$ m 源极-漏极间隔的器件在 +4V 栅极电位下实现了大约 400mA/mm 的漏极电流。导通电阻为 8.9  $\Omega$ -mm, 而导通/截止电流比为  $10^7$ 。栅极泄漏小于 200nA/mm。

基态接地时, OFF 状态三端击穿电压超过 600V。在台面隔离中看到了灾难性的失效, 而不像通常在栅极-漏极区域那样。研究人员预计改进的台面隔离过程会增加击穿电压。研究人员认为, 通过优化 p 氧化物栅极绝缘, 阈值可以超过 +1V。

相关研究发表在《IEEE TRANSACTIONS ON ELECTRON DEVICES》, June 2019, Volume 66, Issue 6, pp 2544–2550, 题目: “Positive Threshold Voltage Shift in AlGaIn/GaN HEMTs and E-Mode Operation By Al<sub>x</sub>Ti<sub>1-x</sub>”。

于杰平摘译自

[http://www.semiconductor-today.com/news\\_items/2019/may/iis\\_100519.shtml](http://www.semiconductor-today.com/news_items/2019/may/iis_100519.shtml)

<https://ieeexplore.ieee.org/document/8692728>

## 紫外线铝镓氮化物壳纳米线发光二极管

美国国家标准与技术研究院 (NIST) 和美国科罗拉多大学报道了铝氮化镓/氮化镓 (AlGaIn/GaN) 壳/核纳米线发光二极管 (LED), 其光输出约为



GaN/GaN 纳米线器件的 5 倍。[Matt D Brubaker 等, Nanotechnology, vol30, p234001,2019]。

采用 AlGaIn/GaN 器件开发诸如 365nm 波长的紫外 LED 可用于光谱学、光聚合物固化、水净化和医学消毒等领域。这些应用中的一些需要短的“深”UV 波长小于 300nm。纳米线结构可能有助于提高基于传统技术铝含量高的 AlGaIn LED 的效率（大多数低于 10%）。

首先，使用等离子体辅助分子束外延（PAMBE）在具有氮化硅掩模（111）硅的氮极性 GaN/AlN 模板上生长有序的纳米线阵列。用于纳米线生长的掩模孔直径为 80-240nm、间距为 300-10,000nm。硅掺杂的 n-GaN 核在 860°C 的衬底温度下生长。核心长度约为 2 $\mu$ m。约 40 纳米厚硅掺杂的 Al<sub>0.09</sub>Ga<sub>0.91</sub>N 壳在 700°C 下生长。

在 5K 下测量的光致发光光谱表明壳尖的 Al 摩尔分数随着纳米线直径而减小。相反，减小间距会增加 Al 浓度。与 Ga 相比，纳米线尖端 Al 含量的降低与生长尖端处原子的迁移率降低有关。

纳米线茎主壳的 Al 含量更难以确定，可能是由于非辐射复合、表面状态和缺陷。研究人员使用激子的发射（束缚电子空穴状态）来估算铝含量。发现较小直径的纳米线具有较高 Al 含量的壳。较小的间距阵列具有低 Al 浓度。

修改纳米线生长过程以包括针脚 LED 的掺杂。n-GaN 核心区域生长至 3.3  $\mu$ m 的高度，间距为 5  $\mu$ m。用 15nm 的 n-GaN 开始壳生长，然后是约 85nm 的 AlGaIn，约 285nm 的 p-AlGaIn 和约 5nm 的重掺杂的 p<sup>++</sup>-AlGaIn。

采用 20nm/200nm 镍金沉积法制备 LED p-接触电极，45° 下沉积 200nm 金。用金属覆盖电线的一侧，而另一侧允许光提取。n 侧电流流过具有由氮化硅纳米线生长掩模提供的电隔离的缓冲器。

研究人员比较了 AlGaIn/GaN 异质结 LED 与 GaN/GaN 同质结纳米线器件的性能（图 1）。AlGaIn/GaN LED 的导通电压高于 GaN/GaN，这可能与铝摩尔分数越高，电子溢流电流越小、孔注入势垒越高有关。

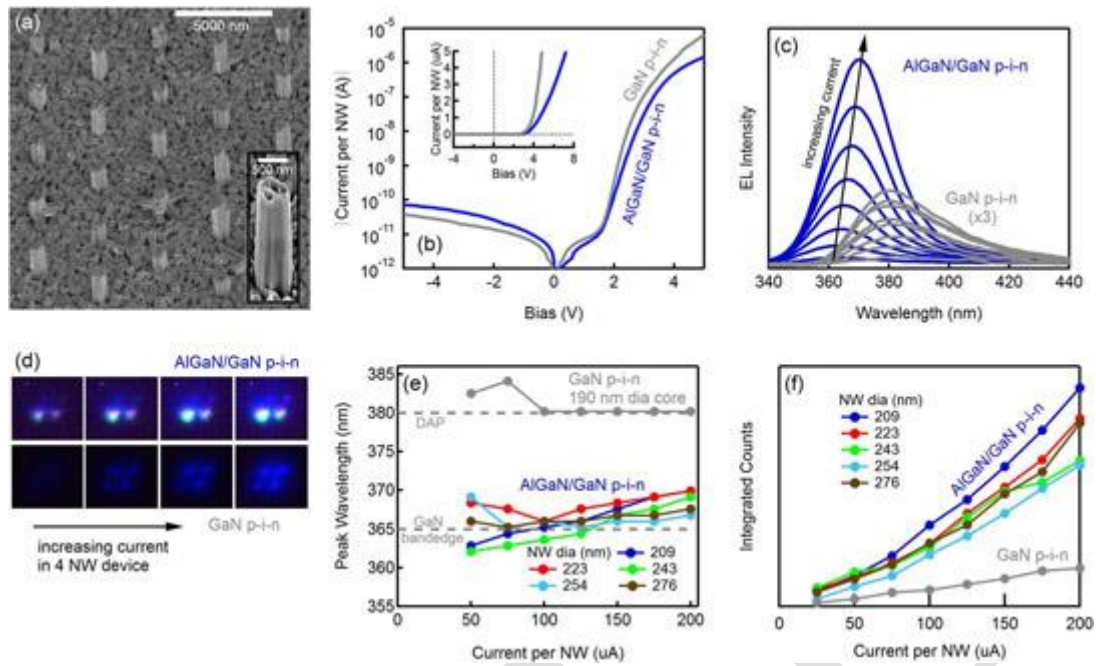


图 1: AlGaIn/GaN 异质结和 GaN/GaN 同质结的核-壳 p-i-n 纳米线 LED 特性: (a) 后金属化 AlGaIn/GaN 核-壳 LED 的扫描电子显微照片, 具有插入的预金属化单纳米线; (b) 电流-电压特性; (c) EL 光谱; (d) 纳米线 LED 的 EL 图像, GaN p-i-n EL 强度乘以因子 3; (e) 峰值发射波长; (f) 积分强度与电流的关系。

在长时间注入电流的条件下, AlGaIn/GaN LED 似乎对 p 接触具有电退火效应, 会增加电致发光 (EL) 强度, 降低串联电阻。研究人员评论道: “进一步开发优化的 p 接触金属化和退火工艺有望降低老化效应并提高整体器件性能。”

AlGaIn/GaN 的 EL 在 365nm 波长附近接近 GaN 的带边缘。据研究人员称, 这与 GaN/GaN LED 相反, GaN/GaN LED 发射约 380nm, 与注入 p-GaN 壳的电子的供体-受体-对 (DAP) 重组相对应。该团队建议 GaN 核心发射可以在 GaN 外壳中重新吸收, 这与更宽带隙的 AlGaIn 不同。

380nm 发射和 365nm 重吸收效应由更宽带隙的 AlGaIn 阻止, AlGaIn 也常用作标准 GaN LED 中的电子阻挡层。研究人员报告说, 对于给定的电流注入, AlGaIn/GaN 纳米线 LED 中的集成 EL 强度约为 GaN/GaN 基准的 5 倍。

相关研究发表在《Nanotechnology》, Volume 30, Number 23, 21 March 2019, 题目: “UV LEDs based on p-i-n core-shell AlGaIn/GaN nanowire heterostructures grown by N-polar selective area epitaxy\*”。

于杰平摘译自

[http://www.semiconductor-today.com/news\\_items/2019/may/nist\\_160519.shtml](http://www.semiconductor-today.com/news_items/2019/may/nist_160519.shtml)<https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1361-6528/ab07ed/meta>

## 具有迁移边缘量化的 ZnO 复合纳米层用于多值逻辑晶体管

美国德克萨斯大学和韩国汉阳大学合作提出了一种基于氧化锌复合纳米层的量子限制传输，其具有迁移率边缘量化的导电状态，并应用于开发具有稳定中间态的多值逻辑晶体管。通过应用由氧化锌复合纳米层和有机势垒组成的混合超晶格作为晶体管中的沟道来实现多值逻辑晶体管。

TEM 图像还显示了每一层的精确厚度控制，与硅衬底相当的极低表面粗糙度，以及纳米层之间的尖锐界面。这些结果证实了用氧化锌量子阱制备杂化超晶格薄膜的成功。

### ZnO 复合纳米层与共振杂化

采用分子层沉积 (MLD) 和原子层沉积 (ALD) 制备了具有量子阱结构的有机-无机混合超晶格薄膜，分别制备了具有 Al 连接体 (Al4MP) 和 ZnO 纳米层的 4-巯基苯酚 (4MP) 分子层，如图 1 所示。通过 20 个 MLD 循环，在硅衬底上形成 10nm 厚的 Al4MP 有机纳米层作为阻挡层。以二乙基锌 (DEZ) 和水作为前体，通过 19 个 ALD 循环，在有机层上沉积一层 ZnO 无机纳米层作为活性阱。ZnO 纳米层的厚度为 2.8nm。通过在相同反应室中重复 MLD 和 ALD 工艺，在低温 (低于 150°C) 下的衬底上生长出具有 ZnO 量子阱的混合超晶格薄膜。利用透射电子显微镜 (TEM) 表征具有三重 ZnO 量子阱的混合超晶格薄膜。横截面 TEM 允许直接观察量子阱，并证实了混合薄膜中单个 Al4MP 和 ZnO 纳米层的预期 (图 1a)。对于 Al4MP 和 ZnO，量子阱结构的测量厚度分别为约 10 和 2.8nm。TEM 图像还显示出每层的精确厚度控制，与硅衬底相当的极低表面粗糙度，以及纳米层之间的尖锐界面。这些结果证实了用 ZnO 量子阱可以成功

制备混合超晶格薄膜。

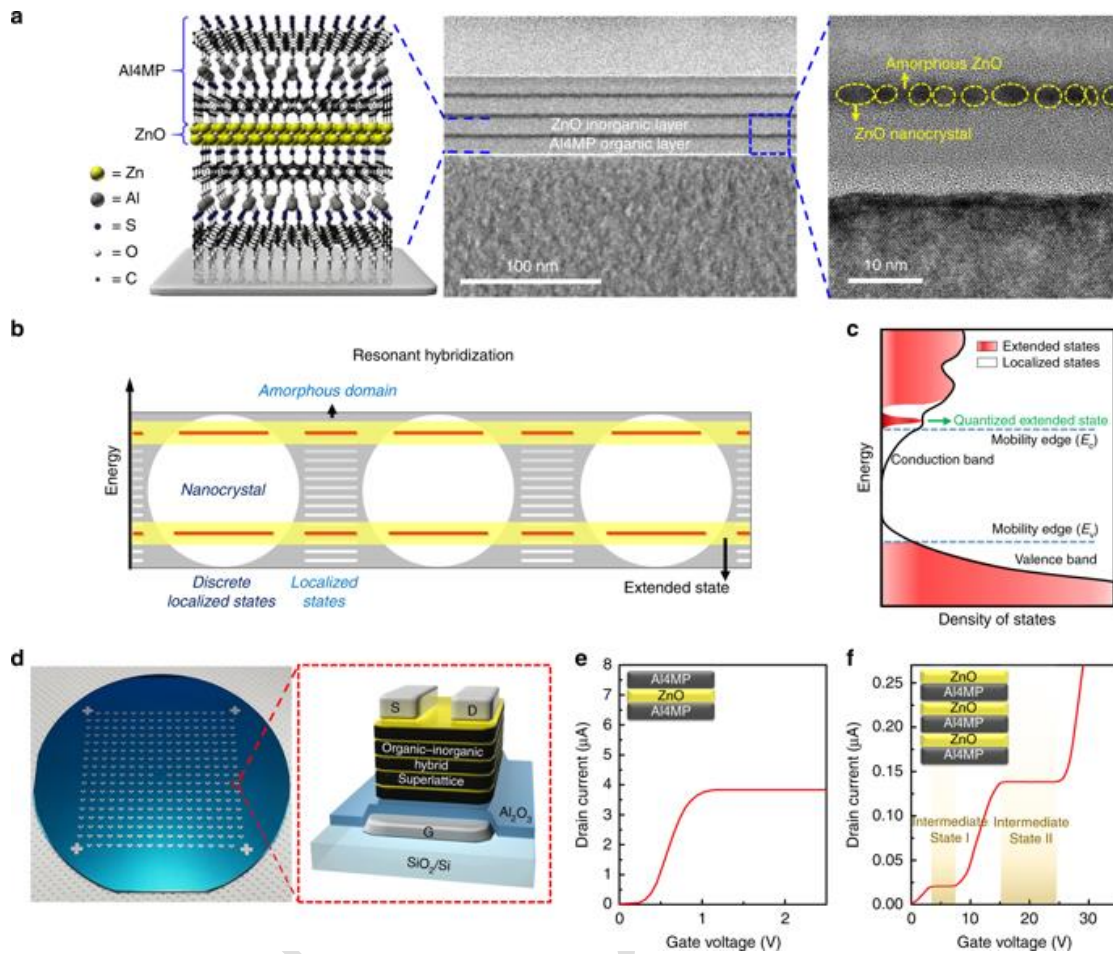


图 1: 共振杂化法制备具有迁移率边缘量子化的 ZnO 复合纳米层

### 迁移率边缘量子化与状态限制电流饱和密度

利用氧化锌复合纳米层的实验数据和理论计算，详细解释了量子限制和迁移率边缘量子化。

考虑由半导体量子纳米晶体及其非晶畴组成的复合纳米层的离域性。ALD 在低温（低于 150°C）下制造的 ZnO 纳米层由量子点和非晶畴组成，即嵌入非晶 ZnO 中的 ZnO 纳米晶体。图 2a 中的复合纳米层的透射电镜照片显示由非晶畴包围的结晶 ZnO 量子点（红色圆圈）。ZnO 量子点的平均晶粒尺寸约为 3 (± 1) nm，量子点之间的平均距离约为 2.5nm。通过使用 ZnO 复合纳米层的原子模型结构进行密度泛函理论计算以探索迁移边缘量化，如图 2b 所示。计算出的氧化锌纳米层的离域性表明，由于非晶区的存在，氧化锌纳米层导带尾部存在局域态（图 2c）。量子化态的波函数通过共振杂化在量子点和非晶区域上离域，如

图 2d 的波函数等值面所示。

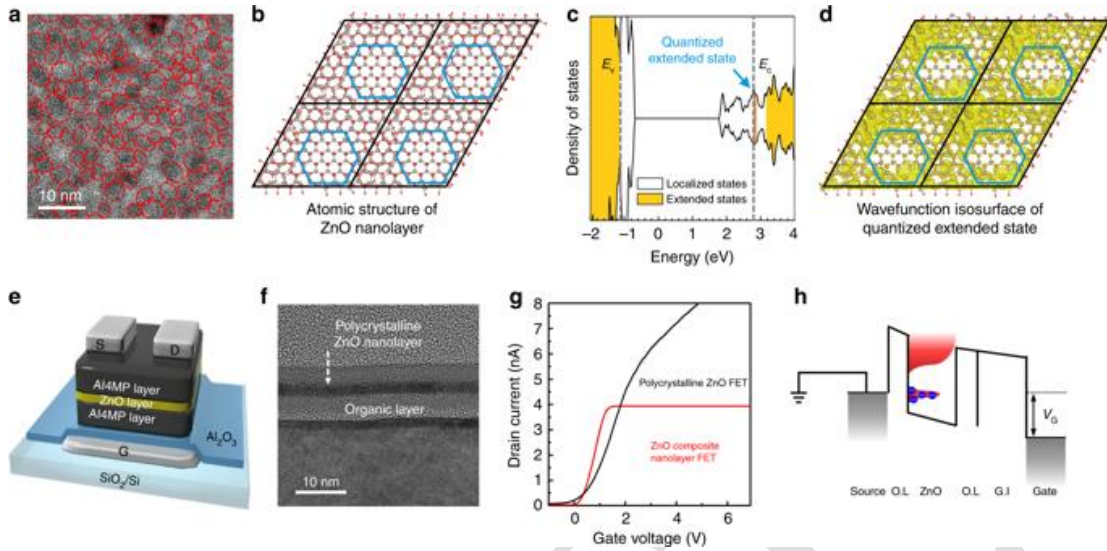


图 2: 氧化锌复合纳米层在量子阱结构中的量子化扩展态

### 多值逻辑晶体管和器件

图 3a 显示了具有由两个 ZnO 纳米层组成的沟道的多值逻辑晶体管结构。第一层 ZnO 复合纳米层包覆有 Al4MP 有机层，形成量子阱结构；第二层是薄 ZnO 纳米层，没有 Al4MP 覆盖层。有机 Al4MP 层用作阻挡层以防止 ZnO 表面的 n 掺杂，这经常在无机异质结中发生，即 AZO 和 ITO。此外，有机 Al4MP 层可防止 ALD 前体在沉积过程中渗透到 ZnO 层中，这解释了 ZnO 与 Al4MP 层之间的尖锐界面（图 1a）。氧化锌纳米层中间夹有 Al4MP 有机层，形貌光滑，界面清晰。器件在零栅极偏压下处于平衡状态的示意能带图如图 3b 所示，这表示从源电极到栅电极的垂直路径。图 3c 显示了多值逻辑晶体管的测量转移 ( $I_D$ - $V_G$ ) 特性。

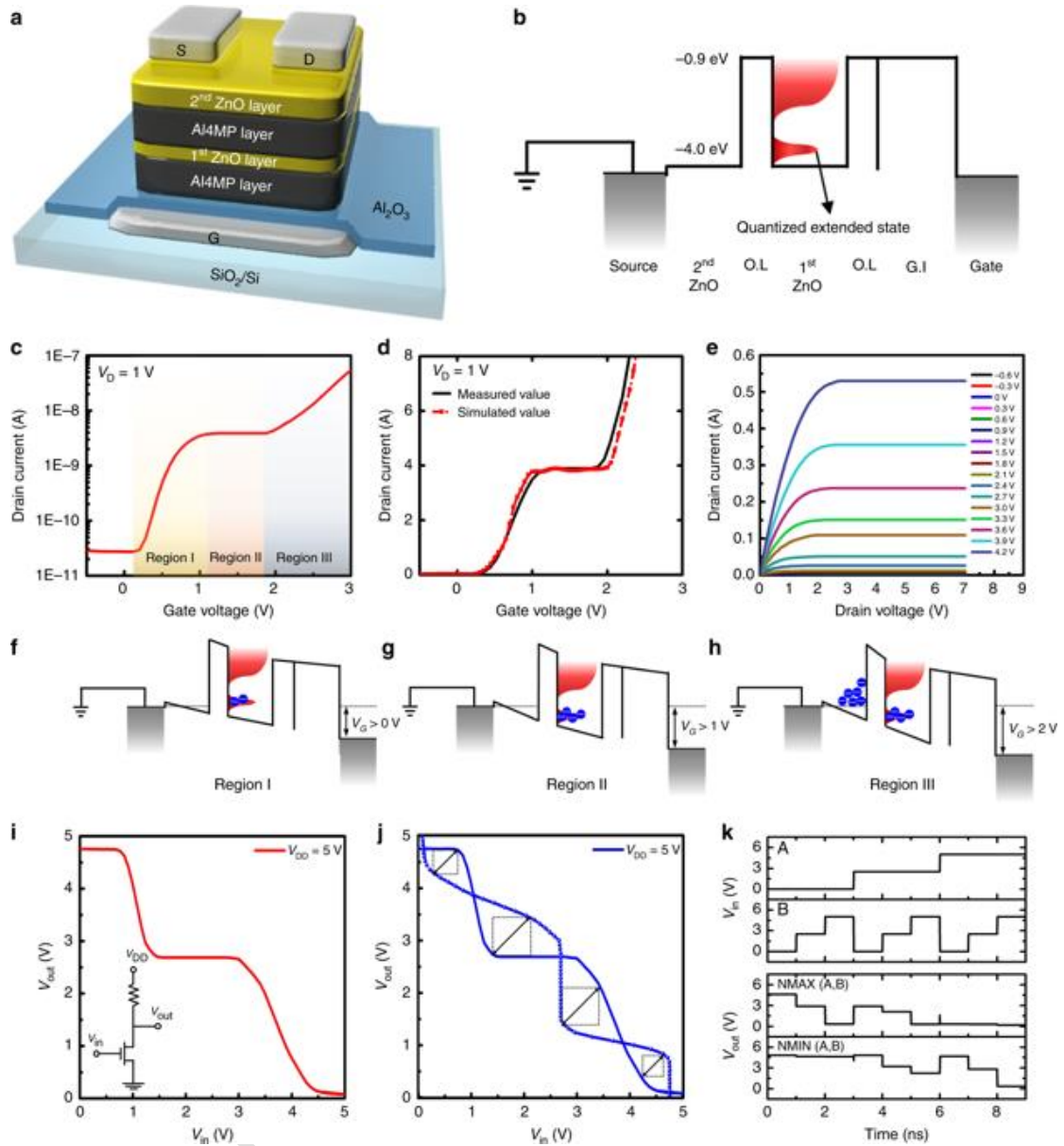


图 3: 具有双氧化锌 (ZnO) 复合纳米层的三元晶体管

相关研究发表在《Nature Communications》，volume 10, Article number: 1998, 30 April 2019，题目：“ZnO composite nanolayer with mobility edge quantization for multi-value logic transistors”。

于杰平摘译自

<https://www.nature.com/articles/s41467-019-09998-x>

## 日本研究机构用有机晶体管探索超导条件

日本的理化学研究所（简称“理研”）、自然科学研究机构分子科学研究所、名古屋大学研究生院及东邦大学等组成联合研发小组，利用强相关物质制作了柔性有机晶体管，并利用样品同时控制电子的“数量”和“易移动性”，明确了超导的表现条件。

在氧化铜高温超导体等强相关物质中，电子之间会强烈排斥，通过改变电子的数量和易移动性，不论是绝缘体状态还是超导状态，其性质会广泛发生变化。为了了解强相关物质的超导机制，此前利用各种物质进行了研究。但如何通过同时改变一种物质的电子数量和易移动性，在大范围内调查超导，始终没有找到方法。

此次联合研发小组利用由有机分子 BEDT-TTF（双乙烯二硫代一四硫富瓦烯）构成的强相关物质为材料，制作了双电层晶体管（图 1）。在该器件中，通过向样品表面施加栅极电压（0.5V 左右），可以自由地增加（电子掺杂）或减少（空穴掺杂）电子。另外，由于采用的是有机物，还可以弯曲，而且弯曲能改变有机物中的电子的易移动性。此次调查了通过精细改变二者，测试能否在一个样品中控制超导状态。

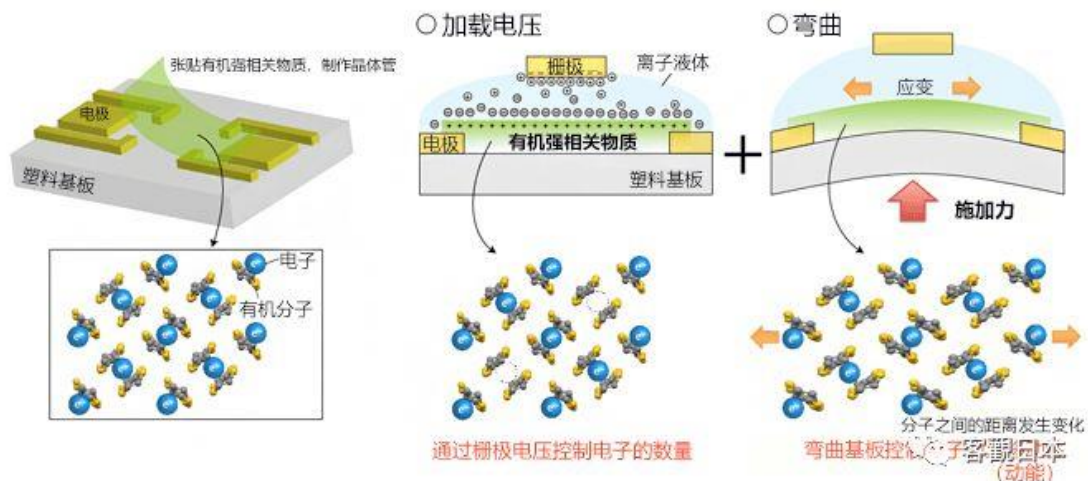


图 1：本次研究使用的有机晶体管器件的示意图

图 2 是超导出现的条件。横轴为栅极电压，对应电子的数量，纵轴表示弯

曲样品产生的应变，越靠下则电子的动能越高，越容易移动。从该图可以看出，超导状态（蓝色）环绕着绝缘体状态（红色），而且左右的超导区域形状不同。尤其有特点的是增加电子数量时（图 2，栅极电压为正的区域的超导状态，从图中可以看出，从绝缘体状态仅增加几个百分比的电子，就会突然出现超导状态，继续增加电子的话，超导状态又会立即消失。

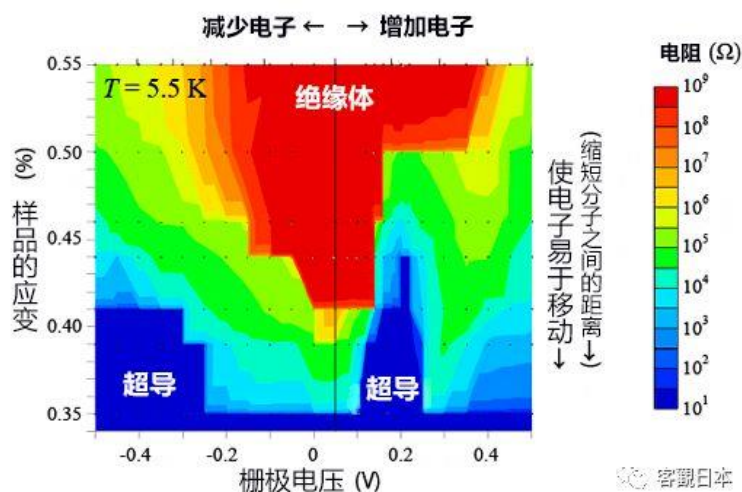


图 2：样品电阻对栅极电压和应变的依赖性

也就是说，在绝缘体状态增加电子和减少电子时都会出现超导状态，但这两种情况下超导的出现条件可以说存在本质区别。本次研究利用一种样品成功绘制了以前根据多种不同物质的实验结果推测的超导区域分布。由于是使用相同的样品进行控制，不容易受到不同样品的晶体结构差异和杂质效果等影响，因此被认为是最本质的结果。

相关研究发表在《Science Advances》，10 May 2019, Volume 5, Number 5, DOI: 10.1126/sciadv.aav7282, 题目：“Two-dimensional ground-state mapping of a Mott-Hubbard system in a flexible field-effect device”。

于杰平选摘自

<https://advances.sciencemag.org/content/5/5/eaav7282.full>

<https://advances.sciencemag.org/content/5/5/eaav7282.abstract>



## 将石墨烯集成到半导体生产线中

基于石墨烯的电子和光子器件具有独特的性能，从而产生出色的性能指标。掌握将这种非常规材料整合到已建立的半导体生产线中是迈向商业化的关键一步。

五十多年来，硅一直是微电子领域的主导材料。其相对简单的生产和加工路线使其成为迄今为止大型市场中最方便和最具成本效益的半导体，尽管许多其他材料—如 Ge、GaAs 或 InP 等具有更高的载流子迁移率、更有利的光学性质或其他优势。石墨烯、二维（2D）碳同素异形体，具有令人印象深刻的特性，但可扩展的制造工艺对于其大规模使用至关重要。

除了石墨烯之外，其他层状二维材料，如过渡金属二硫化物（TMD）、黑磷和六方氮化硼（hBN）以及它们的异质结构，也引发了对基础研究和应用研究的显著兴趣。这些 2D 材料具有与石墨烯不同的应用场景，如图 1 所示，但在生长、加工和集成到半导体生产线方面面临着相似的挑战。因此，当涉及半导体制造集成时，石墨烯可以被认为是 2D 材料的模型系统。

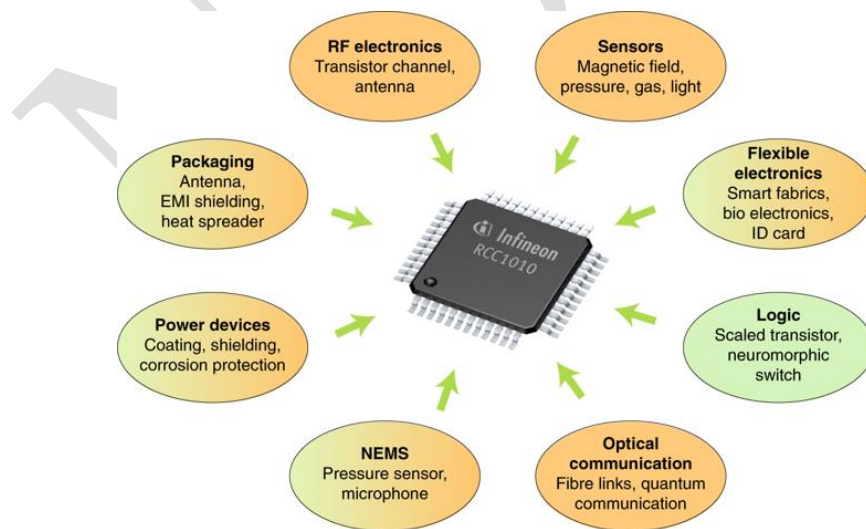


图 1：二维材料的应用场景

### 集成阶段

半导体制造通常分为前端（FEOL）和后端（BEOL），它不仅定义了生产线中设备的状态，还为所涉及的工艺步骤设定了边界条件，从而影响了新材料

如何能够集成到整个工艺中。通常，FEOL 包括集成电路制造的第一步，其主要涉及晶体管/器件制造。BEOL 工艺主要涉及金属互连、相应的介电层和扩散阻挡层的制造。图 2a 中示出了表示 FEOL 和 BEOL 部分的典型硅 CMOS 结构的示意性横截面图。这种区别以及 FEOL 和 BEOL 之间的选择非常重要，因为它定义了集成的过程参数空间。

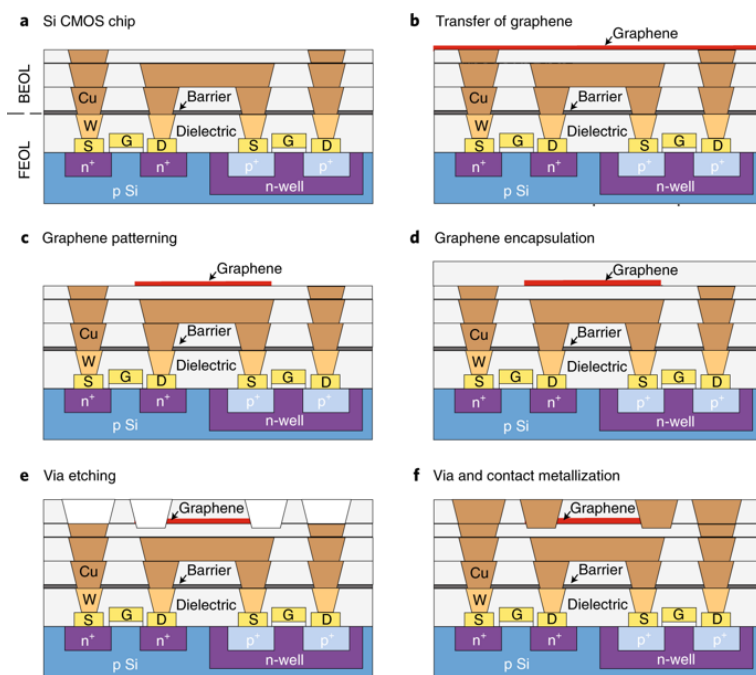


图 1: BEOL 集成的流程图

通常，对于石墨烯与 BEOL 相容的工艺流程集成所需的所有主要工艺步骤存在解决方案，尽管目前还没有准备投入生产。表 1 总结了这些主要步骤、关键参数和潜在的技术解决方案。电触点已经相当发达，并且可获得足够的解决方案，至少对于微米级设备而言。最终器件性能的最关键问题与石墨烯的生长、转移过程和石墨烯的介电界面有关。虽然已经有非常有前景的石墨烯生长解决方案能够使迁移率接近内在极限，但转移过程和介电界面仍然是需要解决的主要挑战，以释放石墨烯器件的全部性能潜力。理想情况下，转移过程应该完全避免湿化学和聚合物，并且石墨烯层的介电界面应该尽可能的惰性和光滑。

表 1 将石墨烯整合到半导体生产线的关键工艺步骤、参数和可能的解决方案(Critical process steps, parameters and possible solutions for the integration of graphene into a semiconductor manufacturing line)

Step	Critical parameter	Possible solutions/approaches
<b>Growth</b>	Nucleation density	Seeded growth using predefined nucleation points; reduction of process gas pressure and/or concentration.
	Defect density	Reduction of process gas flow; optimal growth temperature; specific O2 gas flow.
<b>Transfer</b>	Delamination from growth substrate	Water or ion intercalation and mechanical peeling off; removal of growth substrate by wet-chemical etching.
	Handling during transfer	Coating with handling polymer; lamination with handling foil (for example, thermal release tape); deposition of (van der Waals) dielectric on top; using sacrificial layer in between polymer (or foil) and graphene.
	Removal of handling material	Using wet-chemical solvents (in case of polymers) plus removal of any sacrificial layer wet-chemically; using the top (van der Waals) dielectric as functional layer in the device; releasing the foil by light, temperature or other method.
<b>Dielectric environment</b>	Substrate surface	Polishing; defined surface termination using functionalization (for example, oxygen plasma, deposition of self-assembled monolayers); pure van der Waals substrate surface (for example, hBN).

	Adhesion on substrate	Pure van der Waals substrate surface (for example, hBN); defects in the graphene (at predefined locations) for sp <sup>2</sup> bonds; partial graphene coverage and clamping by contacts or encapsulation.
	Interfacial control	Graphene lamination under controlled environment (for example, vacuum); in situ substrate functionalization.
	Deposition of dielectric on top	Graphene surface functionalization followed by atomic layer deposition (ALD); deposition of seed layer followed by ALD; lamination of van der Waals dielectric (for example, hBN); direct deposition of polymeric dielectric.
<b>Electric contacts</b>	Metal deposition	Deposition on top of graphene avoiding interfacial contamination; one-dimensional edge contacts; sandwich contacts avoiding interfacial contamination; combination of these contacts schemes.
	Work function control	Proper selection of the metal (for example, Ni, Au, Pd and so on).

于杰平摘译自

<https://www.nature.com/articles/s41563-019-0359-7>

## 应用实施

## IBM 推出全新 Storwize V5000 系列解决方案

2019 年 4 月 10 日，IBM 推出全新 Storwize V5000 系列解决方案，对 Storwize V7000 Gen3 解决方案提供了进一步的补充。新型 Storwize V5010E 和 Storwize V5030E 提供了更强大的性能以及企业级的功能、可用性及可靠性，同时还是易于购买、易于使用、易于管理的入门级存储系统。

非易失性存储器标准（NVMe）技术有助于降低存储延迟，可实现新经济时代所必须具备的实时分析和人工智能应用。全闪存 Storwize V5100F 和 V5100 将端到端 NVMe 的性能优势融入全新的经济适用型系统。这些 Storwize V5000 系列的新成员将 IBM FlashCore 技术经过验证的功能、NVMe 的出色性能以及 IBM Spectrum Virtualize 软件定义存储设备丰富的企业级数据服务相结合，打造出能够满足最严苛的 AI 和数据分析应用的性能、扩展性及速度要求的解决方案。

Storwize V5100 将 NVMe 引入中端市场，这是 Storwize 产品系列的一大进步。多云架构是快速席卷现代业务生态系统的一种功能强大的全新部署模式。无论是大型还是小型企业都需要将部分数据部署在本地，以保证最佳性能和安全性，同时将其他数据迁移至公有云，以获得成本效益和业务敏捷度。整个 IBM Storwize 系列、FlashSystem 9100 及 SVC（SAN Volume Controller）都利用 IBM Spectrum Virtualize for Public Cloud 的广泛功能，简化多云解决方案的实施过程。IBM Spectrum Virtualize for Public Cloud 可以部署在 Amazon Web Services（AWS）以及 IBM 云上，从而提高灵活性和选择性。

IBM Spectrum Virtualize for Public Cloud 使本地数据中心和公有云之间的数据迁移变得更加容易，赋能企业借助云平台而非寻找第二个数据中心进行灾难恢复，支持基于云的 DevOps，借助云技术的灵活性和敏捷性优势加速开发，同时通过采用基于云平台的“气隙技术（air gap）”实现与 Amazon S3 的快照复制，实现出色的网络弹性。

IBM Storage Insights 通过向 IBM Storage 客户免费提供系统监测、分析、报告、优化和技术支持，从而解决了这方面的挑战。对于中型企业，这可以彻底改变其运营模式。Storage Insights 可提供更完善的系统预警处理，这样一来，即使是小型 IT 团队，也仅需花费小量的精力和投入即可从复杂的基础架构中获得最大收益。

邹丽雪选摘自

<https://www.ibm.com/news/cn/zh/2019/04/10/W766581D98701X19.html>

## 集英特尔傲腾技术和英特尔 QLC NAND 技术为一体的 固态硬盘全新上市

英特尔 5 月公布了英特尔® 傲腾™ 混合式固态硬盘的详细信息，这款创新的设备采用 M.2 规格，体积小巧，将英特尔傲腾技术的卓越响应速度与英特尔® Quad Level Cell (QLC) 3D NAND 技术的强大存储容量融为一体。

英特尔® 傲腾™ 混合式固态硬盘独创性地将英特尔傲腾技术和英特尔 QLC 3D NAND 技术相结合，颠覆性地整合内存与存储。

将英特尔傲腾技术与英特尔 QLC 3D NAND 技术结合到 M.2 规格的模块上，可扩大英特尔傲腾内存的应用范围，使其能够用于轻薄笔记本电脑和某些节省空间的台式机（如一体机和迷你电脑）。新产品还提供了当前 TLC 3D NAND 固态硬盘无法达到的更高性能水平，而且不再需要额外存储设备。

在英特尔® 傲腾™ 混合式固态硬盘上同时集成高速加速技术和大容量固态硬盘将造福 PC 用户日常应用，无论创作、玩游戏还是工作，都将从中受益。与独立的 TLC 3D NAND 固态硬盘系统相比，英特尔® 傲腾™ 混合式固态硬盘不仅能够更快地访问常用应用和文件，还能加速后台活动的响应。

在今年第二季度末，搭载英特尔® 傲腾™ 混合式固态硬盘的第八代英特尔® 酷

睿™U 系列移动平台将通过各大主要原始设备制造商上市。借助这些平台，日常用户将能够实现：

多任务处理状态下，文档打开速度提高 2 倍。

多任务处理状态下，游戏启动速度提高 60%。

多任务处理状态下，媒体文件打开速度提高 90%。

基于英特尔技术并搭载英特尔傲腾内存的平台可适应日常计算活动，优化用户最常见任务和常用应用的性能。凭借高达 1TB 的总存储容量，英特尔® 傲腾™ 混合式固态硬盘所提供的应用和文件储存容量将满足用户当前及未来需求。

英特尔® 傲腾™ 混合式固态硬盘分以下几种容量规格：16GB（英特尔傲腾内存）+256GB（存储）、32GB（英特尔傲腾内存）+512GB（存储）、32GB（英特尔傲腾内存）+1TB 存储。

邹丽雪选摘自

<https://newsroom.intel.cn/news-releases/press-release-2019-apr-10/>

## 美光推出面向云和企业级市场的全新高性能 NVMe SSD

2019 年 4 月，美光科技股份有限公司宣布推出采用 NVMeExpress™（NVMe™）协议的全新旗舰型固态硬盘（SSD）产品系列，以更大的容量为云和企业级市场提供业界领先的存储性能。

美光 9300 系列 SSD 通过提供业界最低的平均写入延迟，实现对数据的近实时访问。该系列 SSD3.5GB 每秒的持续读写性能加快了应用的响应和学习速度。最高容量可达 15.36TB，最多可创建 32 个 NVMe 命名空间，有效地满足企业不断增长的存储需求。

美光®9300 系列 NVMeSSD 帮助数据应用密集型公司更快速地访问和处理

数据，从而有助于缩短响应时间。作为旗舰型 NVMeSSD，美光 9300 系列具备业界领先的连续写入性能和延迟，更大的存储容量，并且功耗相对上一代产品降低了 28%。部署高级的云基础设施的企业需要能够存储、检索、处理并快速分析大量关键业务数据的系统。在这种需求的驱动下，许多企业正在将主存储从 SATA 接口 SSD 过渡到 NVMeSSD。与市场上其它 NVMeSSD 相比，美光 9300SSD 系列在读取和写入方面同等地实现了 3.5GB/s 的吞吐量，为以数据为中心的应用提供更快的响应时间。结合其领先的写入延迟和顺序写入性能，美光 9300 系列在最苛刻的数据中心环境中也有出色表现。

数据中心系统的设计人员不仅重视吞吐量和延迟等性能指标，同时也看重最大程度地利用基础设施和降低总体拥有成本的能力。该新推出的 SSD 系列的性能几乎是领先的企业级 SATASSD 的 9 倍，且效率提高了 35%<sup>3</sup>。与前代 NVMeSSD 相比，美光 9300 系列的能耗降低了 28%，有助于降低运营成本。大容量 SSD 的推出，让客户能够根据不断变化的存储需求进行扩展，并跟上爆发式数据增长的节奏。

AMD 霄龙系列处理器可以在单个插槽中提供 128 条 PCIe 通道，与美光新推出的 9300NVMeSSD 形成理想组合，并且适用于以数据为中心的工作负载，如数据库应用、大数据分析和软件定义存储解决方案等。最高可达 15.36TB 的存储容量，让美光 9300 系列 SSD 具备了曾经只有机械硬盘（HDD）才有的存储容量。大容量以及最高可达 32 个 NVMe 命名空间使企业能够更加有效地定制部署，以实现存储利用效率最大化。

美光 9300 系列 NVMeSSD 850,000 读取和 310,000 写入输入/输出（IOPS\*\*）。最高可达 15.36TB 的领先存储容量，使得每个机架的存储密度甚至超过密度最高的机械硬盘。数据完整性功能，如数据路径保护，传输和静止数据的断电保护，直接清理、加密和擦除等。

美光 9300 系列 NVMeSSD 提供两种版本，具有不同的耐用性和性能特征。9300PRO 系列专为读取密集型负载而设计，提供 3.84TB、7.68TB 和 15.36TB 三种容量。9300MAX 系列适用于混合型应用，提供 3.2TB、6.4TB 和 12.8TB 三种



容量。两种版本均采用 U.2（2.5 英寸，15 毫米）外形规格，支持 PCIe 第三代 x4NVMe，平均故障间隔时间为 200 万小时。

邹丽雪选摘自

<http://investors.micron.com/static-files/a1396f99-9cbc-457d-920c-f64b56ae1f3f>

## SK Hynix 推出高性能 96 层 1TB QLC 4D NAND 样品

2019 年 5 月 9 日，SK 海力士宣布，向 SSD 和 NAND 存储器制造商发送了 96 层 1Tb QLC 4D NAND 样品。

该公司应用了 QLC 技术，将其 NAND 产品组合扩展到 96 层 1TB QLC 产品，并加强其对下一代高密度存储市场的响应能力。

QLC 将四位数据存储在一个 NAND 单元中，与 TLC 相比，该单元具有更高的密度。采用 QLC 技术，可以开发出具有成本竞争力的高密度产品。

SK Hynix 采用了四平面结构，它将单个芯片中的平面数量从两个增加到四个，将数据带宽从 32 KB 增加到 64 KB。这个高性能的产品可以同时处理多达 64 KB 的数据，保证了成本和性能竞争力。

同时，SK Hynix 正在开发自己的 QLC 软件算法和控制器，并计划及时推出解决方案产品，以满足客户需求。

据市场研究机构 IDC 称，QLC 在 NAND Flash 市场的比例预计将从 2019 年的 3% 上升到 2023 年的 22%，预测 eSSD 市场将以 47.9% 的年平均增长率快速取代 HDD。

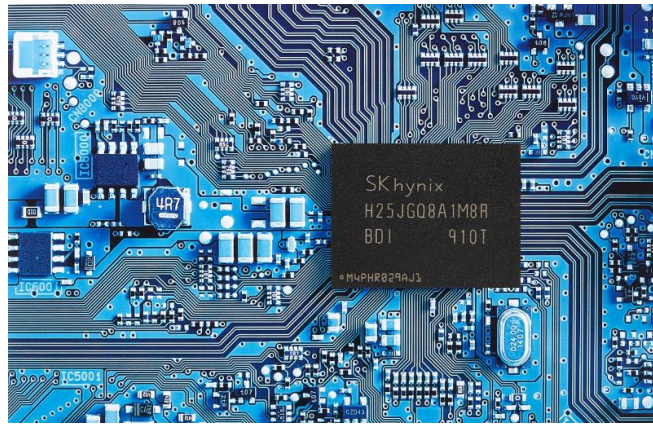


图 1：1TB QLC 4D NAND 样品

邹丽雪选摘自

<http://www.hynix.com/cha/pr/pressReleaseView.do?seq=2761&offset=1#>

## TI 推出用于工业 4.0 的首款支持多协议千兆位 TSN 的处理器

德州仪器 (TI) 4 月 18 日宣布推出业内首款支持多协议千兆位 (Gb) 时间敏感网络 (TSN) 的处理器系列。这款高度集成的新型 Sitara™ AM6x 处理器可提供工业级可靠性，有四核和双核 Arm® Cortex®-A53 两种版本可选，可满足工厂自动化、电机驱动和电网基础设施等应用中快速增长的工业 4.0 需求。

Sitara™ AM6x 处理器通过子系统支持 TSN 标准和其它工业协议下的千兆位传输速率，可在单一网络上融合以太网和实时数据传输。这一特性对于工业 4.0 应用中的实时通信至关重要，可在工厂中实现可重新配置软件的网络物理系统。

通过集成的片上独立双核微控制器子系统，设计人员可以使用 AM6x 处理器创建更加可靠、功能安全性更高的产品，同时降低包含可编程逻辑控制器和多轴电机驱动应用的整体系统复杂性。该处理器还为片上内存和外部 DDR 内存提供误差校正码内存保护，在 105°C 接点温度(TJ) 下运行时可实现长达 100,000 个小时的开机时间，因此 AM6x 在实际应用中具有极高的可靠性。该处理器允

许开发人员对设计进行扩展，满足在同一软件平台上运行不同引脚兼容处理器的系统需求。

AM6x 处理器的主要特性和优势：

针对工业联网进行了优化：新的千兆位工业通信子系统(PRU-ICSS-Gb)支持多种工业以太网协议，包括 TSN、EtherCAT、Ethernet/IP 和 PROFINET，可灵活满足不断变化的工业通信要求。

集成功能安全特性：MCU 子系统采用片上独立双核 Arm Cortex-R5F 中央处理单元，可选择在锁步模式下运行，并具有诊断库和 ECC 内存保护功能，有助于实现功能安全的子系统。

增强的片上安全：安全启动、安全存储和智能加密引擎增强了系统的安全性。

集成 3D 图形和显示：支持 HMI 和工业 PC 应用。

统一的软件平台：提供处理器 SDK 支持，客户可在 TI 处理器系统中无缝再利用并迁移 Android™、Linux®和 TI-RTOS 软件。

简化系统：集成子系统、简化的电源排序、集成低压差稳压器和引脚对引脚兼容性支持在不同平台间重新使用硬件，并降低系统复杂性和成本。

邹丽雪选摘自

<https://news.ti.com.cn/zh-cn/news-releases/company-news/content-id-125632>

《集微技术信息简报》是由中国科学院文献情报中心情报研究部承担编辑的半导体、集成电路、微电子相关领域科技信息综合报道及专题分析简报（双月报），于2014年3月正式启动，2014年为季度发行的《光刻技术信息简报》，2015年更名《集微技术信息简报》双月发行，2017-2018年根据服务内容聚焦点更名《第三代半导体技术信息简报》。2019年起卷名恢复《集微技术信息简报》。按照“统筹规划、系统布局、分工负责、整体集成、长期积累、深度分析、协同服务、支撑科研”的发展思路，规划和部署《集微技术信息简报》。《集微技术信息简报》服务对象是集成电路、微电子领域的相关领导、科技战略研究专家和科研一线工作者。《集微技术信息简报》内容力图兼顾科技决策和管理者、科技战略专家和领域科学家的信息需求，报道集成电路、微电子领域的国际科技战略与规划、科技计划与预算、科技进展与动态、科技前沿与热点、重大科技研发与应用、重要科技政策与管理等方面的最新进展与发展动态，不定期提供半导体、集成电路、微电子领域热点方向的专题分析。

《集微技术信息简报》是内部资料，不公开出版发行；除了其所报道的专题分析报告代表相应作者的观点外，其所刊载报道的中文翻译信息、汇编信息等并不代表编译者及其所在单位的观点。

---

NSTL 微电子器件及集成专项情报服务团队

执笔人：王丽 沈湘 邹丽雪 于杰平

联系人：王丽

电话：010-82626611-6649

电子邮件：wangli@mail.las.ac.cn

