



增压半导体：新材料芯片后来居上，硅芯片面临“高压”瓶颈

消费电子产品充电器和纯电动汽车等高压高功率应用日益普及，驱动氮化镓和碳化硅半导体迅猛发展。

Duncan Stewart, Karthik Ramachandran, Christie Simons, Brandon Kulik, Roger Chung, Mark Lian, Leo Chen

尽管硅一直是手机、电脑和数据中心所用芯片的标准材料，但却存在严重不足之处。随着纯电动汽车、消费电子产品快充、高效能太阳能板以及先进军事应用日益普及，硅并不适合这些高压高功率的应用。因此，德勤全球预测，2023年，主要由氮化镓和碳化硅等高功率半导体材料构成的芯片销售总额将达到33亿美元，较2022年增长40%。2023年全球半导体市场有望达

到6,600亿美元规模，¹尽管高功率半导体芯片只占其中一部分，但该领域却将进入高速扩张阶段。这些类别的芯片总称为复合功率半导体，其增长率预计将在2024年达到近60%，创逾50亿美元收入记录。鉴于该领域对迅速发展的相关行业和国家安全至关重要，各国各地区纷纷致力于确保本地拥有充足产能。

氮化镓、碳化硅芯片驶入快车道，助力环保

首先需要说明的是，硅芯片并不会因为复合功率半导体的发展而过时。不管是现在还是未来，硅将始终作为半导体材料。指甲盖大小的硅芯片能够容纳数十亿个晶体管，可在一两伏的电压下以不足毫瓦的功率运行，可供电池供电类消费设备维持数小时，而数据中心也不会出现过热情况。

但电脑、智能手机和数据中心的硅处理器均属于低压器件，工作电压为1至1.5伏左右，远远低于普通家用电源插座所提供的120伏或240伏电压。如果智能手机芯片直接连接到这些插座上，就一定会炸裂。

许多快速发展的应用仍需要更高的电压，这就意味着芯片必须能够应对数十、数百甚至数千伏电压。例如，纯电动汽车的快速直流充电器能够在480伏电压下工作，²纯电动汽车的内置电池和动力系统目前的工作电压通常为400伏，且大多数纯电动汽车的工作电压预计将在2025年达到800伏。³复合功率半导体还可用于风力涡轮机、太阳能电站、所有类型的电源、电气火车、航空航天以及防御系统等。⁴尽管称为功率金氧半场效应晶体管（MOSFET）的特殊硅基功率半导体已应用于此类设备多年，但在氮化镓和碳化硅为原材料的芯片加持下，这些系统可以实现尺寸缩减、降本增效、密度提升，同时还能增强工作频率，耐受更高温度。

图 1

复合功率半导体市场加速扩张

碳化硅和氮化镓功率半导体年度销售总额（10亿美元）

■ 碳化硅 ■ 氮化镓



注：E表示估值，P表示预期值。

资料来源：德勤基于AlphaSense信息所作的分析，Compound semiconductors: The crown joule of high voltage, Cowen Research, 2022年6月。

至2026年，消费电子产品充电器在氮化镓芯片市场的占比预计将达到66%，而以纯电动汽车为主的汽车应用在碳化硅芯片市场的占比预计将达到60%。

有趣的是，氮化镓和碳化硅芯片并不会出现相互竞争，因为二者均有自己的主导市场。至2026年，消费电子产品充电器在氮化镓芯片市场的占比预计将达到66%，⁵而以纯电动汽车为主的汽车应用在碳化硅芯片市场的占比预计将达到60%。⁶两种应用均具备可持续性和实用性。

氮化镓芯片非常适合用于消费电子设备的充电器，而全球共有超过100亿台此类设备。⁷但这个应用进程比想象的更为复杂。专用芯片可在墙上插头的120伏或240伏以及智能手机电池充电的5伏下工作。这些芯片与智能手机中的电源管理集成电路(PMIC)配合使用，可确保电池在接近充满电时安全平稳地充电，而不会过热。硅功率MOSFET将逐

渐被氮化镓芯片所取代，氮化镓芯片比等效的硅芯片更小，因此可以被压缩成更小的充电器。然而，为地球带来的最大益处是氮化镓芯片充电器的工作效率为98%，而硅芯片充电器的效率为90%。⁸八个百分点看上去不算多，但100亿台设备每年节省的能源却可高达千兆瓦。

碳化硅芯片预计将在2023年创造28亿美元收入，而随着纯电动汽车行业的发展，这一数字还将继续扩大。2021年全球纯电动汽车的销量为660万辆，较2020年翻了一番，2022年第一季度的销量较2021年同期高出四分之三。⁹此外，截至2022年第二季度，纯电动汽车占欧洲新乘用车销量的十分之一，¹⁰达到新高。根据一位分析家的预测，2023年7月，在英国售出的所有新车中，纯电动汽车的占比将高达50%以上。¹¹事实上，随着纯电动汽车内部电压从400伏提高至800伏，预计碳化硅芯片将在2023年创造28亿美元的收入，而这还只是保守的估计。一家领先的碳化硅半导体生产商在2022年第二季度电话财报会议上表示，其碳化硅芯片销售额季度环比增长了一倍。该生厂商还预估其碳化硅芯片全年销售额将翻一番，达到10亿美元左右，并表示已将碳化硅芯片三年远期销售订单额从之前的26亿美元提升至40亿美元。¹²



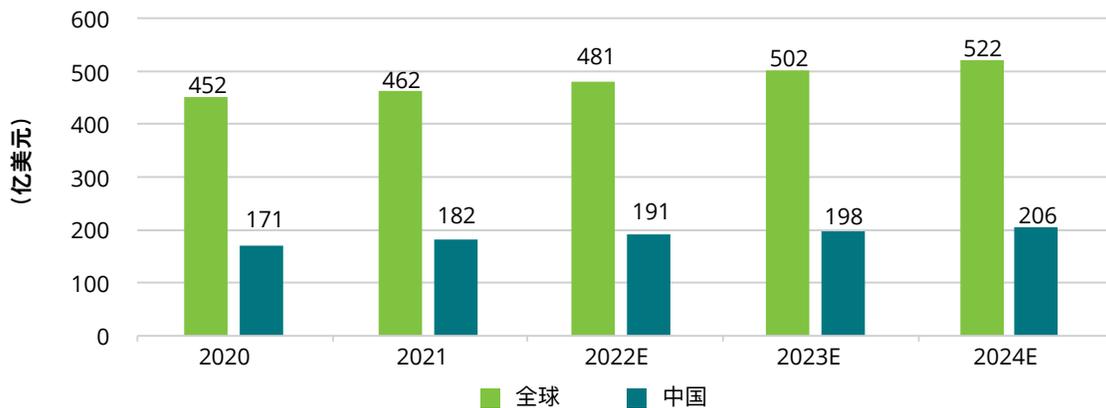
中国功率半导体呈快速发展趋势

中国是全球功率半导体最大的需求国，新能源光伏发展有望带动功率半导体需求的进一步提升。功率半导体用于所有电力电子领域，应用范围涵盖电源管理、计算机及外设设备、通信、消费电子、汽车电子、工业控制等多个领域。行业发展主要依靠新兴领域如新能源汽车、可再生能源发电、变频家电等带来的巨大需求缺口。

随着国内高电压、高功率应用（如消费电子产品、电池电动汽车）的普及程度不断提高，氮化物和碳化硅半导体正在加速发展。2023年，以碳化硅为代表的第三代半导体将保持快速增长。未来五年中国的功率半导体市场将以4.5%的CAGR持续增长，至2027年有望达到238亿美元¹。

图 2

2020-2024全球及中国功率半导体市场规模预测



资料来源：《功率半导体分立器件产业及标准化白皮书（2019版）》

小结

在氮化镓、碳化硅和其他功率半导体真正腾飞之前，还需要采取一些举措。首先应建立生产这些芯片的新设施（晶圆厂），而全球各地新建的氮化镓和碳化硅晶圆厂也在投入生产（图2）。然而，这些晶圆厂及其所需材料均引发了棘手的供应链和国家安全问题。硅、碳和氮资源充沛可供使用，但目前几乎所有的镓均来自法国、哈萨克斯坦和俄罗斯。¹³与半导体制造中使用的其他要素和气体一样，可用资源较少，因此生产风险较高。

此外，功率半导体生产的地域分布与传统的硅半导体生产存在显著不同，全球80%的产能集中在东亚，主要为中国台湾、韩国、日本和中国大陆。¹⁴尽管这四个地区在现有和计划中的功率半导体晶圆厂中占有相当比例的份额，但欧洲、中东和非洲地区以及美国所占比例也不相上下，东南亚也占据较少份额（图2）。¹⁵因此，从供应链角度看，功率半导体行业以及依赖于它的纯电动汽车和再生能源行业能够实现相对自给自足且具备一定韧性。

图2

复合功率半导体产能分布于全球各地

预计2022-2026年现有和计划中的碳化硅和氮化镓晶圆厂总数

欧洲、中东及非洲	~16
北美	~13
中国大陆	~13
日本、韩国和中国台湾	~12
东南亚	~7

注：东南亚包括泰国、马来西亚、新加坡、印度尼西亚和菲律宾。数据为德勤基于公开资料来源预估所得。

资料来源：多项公开数据。

功率半导体生产商面临一项挑战，他们很难开发出特定技术的设计工具、生产工具以及构建针对各种技术的包装、测试和组装能力。例如，硅晶圆与硅芯片不同，需要以不同方式进行蚀刻、掺杂和减薄。¹⁶

如此多的技术和工具有待开发，因此投入大量资金生产和开发这些高度专业的芯片并不足为奇。中国三大碳化硅生产商专门拨出40亿美元，作为2022年及未来的资本支出。¹⁷此外，中国还继续为碳化硅初创企业提供大量私募风投资金（仅2022年6月的总额估计就达到15亿美元）。¹⁸2021年，中国还产生了第一支超过3亿美元的碳化硅上市股，并见证了一家衬底生产商上市。¹⁹

不仅是中国，美国、欧洲、日本和韩国的碳化硅及氮化镓生产商计划在2022年实现至少100亿美元的资本支出。²⁰一家加拿大氮化镓公司从风投机构募集近2亿加元；一家美国氮化镓公司通过特殊目的收购公司（SPAC）上市，价值逾10亿美元；法国一家大型碳化硅公司在2021年年末收购了一家规模较小的法国同行。²¹

面对数万亿芯片，碳化硅和氮化镓不会取代硅，而现在以及未来，硅都将远胜一筹。尽管功率半导体仍属于小众市场，但基于其在承受高压方面具有优势，并且各方需要其所支持的更多产品，这一小众市场的增长速度可能远快于硅芯片主流市场。

尾注

1. World Semiconductor Trade Statistics (WSTS), "The World Semiconductor Trade Statistics (WSTS) has released its new semiconductor market forecast generated in August 2022," August 22, 2022.
2. CALeVIP, "Electric vehicle charging 101," accessed August 18, 2022.
3. Andrei Nedelea, "Most of the EV industry to shift to 800 volts by 2025, report says," INSIDEEVs, April 19, 2022.
4. 基于德勤分析，资料来源Hui Zhang and Haiwen Liu, "Potential applications and impact of most-recent silicon carbide power electronics in wind turbine systems," *Wind Energy Conversion Systems* (2012), pp. 81-109; Energy Efficiency & Renewable Energy, "Silicon carbide in solar energy," accessed September 26, 2022; CAF Power & Automation, "Silicon carbide, moving towards a more sustainable train," January 27, 2021; Military+Aerospace Electronics, "Silicon carbide MOSFETs for aerospace and defense power electronics applications introduced by SSDI," January 22, 2019.
5. Dean Takahashi, "Power Integrations saves energy with gallium nitride chips for mobile chargers," *VentureBeat*, May 24, 2021.
6. Patrick Waurzyniak, "The silicon carbide race begins," *Semiconductor Engineering*, September 20, 2021.
7. BankMyCell, "How many smartphones are in the world?," accessed September 26, 2022. There are well over 10 billion mobile devices (6.6 billion smartphones, plus feature phones, tablets, etc.) as of 2022, all needing chargers. Additionally, there are close to a billion laptops, plus smartwatches, e-readers, gaming devices, and more.
8. Amos Zeeberg, "What's down the road for silicon?," *The New York Times*, May 16, 2022.
9. IEA, "Global electric car sales have continued their strong growth in 2022 after breaking records last year," press release, May 23, 2022.
10. Blagojce Krivevski, "EU: Battery electric vehicle share reached 10% in Q2 2022," *Electric Cars Report*, July 26, 2022.
11. Robert Osfield, "UK market share BEV vs ICE (incl. hybrids) car sales with S-Curve projection," Twitter post, October 5, 2021.
12. The Motley Fool, "ON Semiconductor (ON) Q2 2022 earnings call transcript," August 1, 2022.
13. National Minerals Information Center, "Gallium statistics and information," USGS, accessed on August 18, 2022.
14. Dan Hamling, Duncan Stewart, and Karthik Ramachandran, *Five fixes for the semiconductor chip shortage*, Deloitte Insights, December 6, 2021.
15. 德勤全球对全球现有和计划碳化硅和氮化镓工厂相关的公开资料进行了分析。这些是实际生产点，而非公司总部。
16. Adele Hars, "How quickly can SiC ramp?," *Semiconductor Engineering*, July 21, 2022.
17. iMedia, "The SiC field of the third-generation semiconductor related standards," September 26, 2022; IjiWei.com, "China moves onto a faster track of developing silicon carbide semiconductors following a global trend," February 9, 2022.
18. 分析与预估结果基于公开二手资料中的数据和信息，包括Semiconductor Engineering、Chinaventure.com以及IjiWei.com。
19. IjiWei.com, "China moves onto a faster track of developing silicon carbide semiconductors following a global trend"; Jessie Shen, "China SiC substrate supplier to raise funds through IPO," *DIGITIMES Asia*, April 22, 2022.
20. 分析与预估结果基于公开二手资料中的数据和信息。
21. Charles Mandel, "GaN Systems nails \$189.7 million cad to drive semiconductor innovation," *Betakit*, November 19, 2021; Cision PR newswire, "Navitas Semiconductor and Live Oak II announce additional \$18mm PIPE investment and up to \$30mm forward-purchase agreement in connection with \$1.04 billion SPAC business combination," news release, October 7, 2021; Soitec, "Soitec acquires NOVAsiC to strengthen its silicon carbide wafer technology," press release, November 30, 2021.

关于作者

Duncan Stewart | dunstewart@deloitte.ca

Duncan Stewart is the director of TMT Research for Deloitte Canada and is a globally recognized specialist on the forecasting of consumer and enterprise technology, media & telecommunications trends. He presents regularly at conferences and to companies on marketing, technology, consumer trends, and the longer-term TMT outlook.

Karthik Ramachandran | karramachandran@deloitte.com

Karthik Ramachandran is a senior research manager with Deloitte's Center for Technology, Media & Telecommunications. Through his research, Ramachandran provides pragmatic solutions to help high-tech and telecom companies identify and address long-term issues and growth opportunities.

Christie Simons | csimons@deloitte.com

Christie Simons is the Audit & Assurance Technology, Media & Telecommunications (TMT) industry leader with Deloitte & Touche LLP. She specializes in serving fast-growing, dynamic venture-backed companies and large complex publicly listed technology clients with external audit, IPO, M&A, and SOX services.

Brandon Kulik | bkulik@deloitte.com

Brandon Kulik leads the semiconductor industry segment within Deloitte Consulting LLP's Technology, Media & Telecom industry practice. He has more than 20 years of experience helping technology companies with market strategy, operational, talent, and technology solutions.

致谢

The authors would like to thank **Dan Hamling, Negina Rood, Gautham Dutt, and Mark LaViolette** for their contributions to this chapter.