

【新材料●第三代半导体】拥抱第三代半导体材料， 抢占产业发展制高点！【总第十二期】

2017-06-13 人大人科创 Paul 【总第十二期】



1. 第三代半导体材料的概念

以氮化镓（GaN）、碳化硅（SiC）、氧化锌（ZnO）、氮化铝（AlN）、金刚石等材料为代表的宽禁带半导体材料经常被称为第三代半导体材料，与之对应的是以硅（Si）、锗（Ge）材料为代表的第一代半导体材料，和以砷化镓（GaAs）、磷化铟（InP）等材料为代表的第二代半导体材料（见表 1）。

第一代半导体材料广泛应用在数据运算领域，如今半导体行业中有 95% 以上的半导体器件，和 99% 以上的集成电路器件是由 Si 材料制备的，硅基芯片在人类社会的每一个角落无不闪烁着它的光辉，但随着科技需求的日益增加，硅传输速度慢、功能单一的不足暴露了出来，同时集成电路产业遵循的“摩尔定律”演进趋缓，以新材料、新结构以及新工艺为特征的“超越摩尔定律”成为产业新的发展方向。第二代半导体材料 GaAs 和 InP 与 Si、Ge 相比，具有更高的电子迁移率和电子饱和速度，是制作高频、高速、大功率的微波、毫米波器件及发光器件的优良材料，主要应用于通信领域。从 21 世纪开始，智能手机、新能

源汽车、机器人等新兴的电子科技发展迅速，同时全球能源和环境危机突出，能源利用趋向低功耗和精细管理，传统的第一、二代半导体材料由于自身的性能限制已经无法满足科技的需求，这就呼唤需要出现新的材料来进行替代。

第三代半导体材料不仅秉承了第二代半导体材料高电子迁移率和电子饱和速度的特点，还具有禁带宽度大、击穿电场高、热导率大、抗辐射能力强等优越性能（见表 1），在许多应用领域拥有前两代半导体材料无法比拟的优点，有望突破第一、二代半导体材料应用技术的发展瓶颈，是固态光源、下一代射频和电力电子器件的“核芯”，在半导体照明、消费类电子、5G 移动通信、智能电网、轨道交通、雷达探测等领域将催生上万亿元潜在市场，而碳化硅和氮化镓器件很可能成为推动整个电力电子、光电子和微波射频三大领域效率提升和技术升级的关键动力之一，有广阔的应用前景。

表 1、常见半导体材料的物理特性比较

物理参数	第一代半导体材料		第二代半导体材料		第三代半导体材料	
	Si	Ge	GaAs	InP	GaN	4H-SiC
带隙（eV）	1.12	0.661	1.424	1.344	3.39	3.23
极限场强（MV/cm）	0.3	0.1	0.4	0.5	3.3	3~5
电子迁移率（cm ² /V·s）	1450	3900	8500	5400	1245	900
空穴迁移率（cm ² /V·s）	450	1900	400	200	200	120
热导率（W/cm·K）	1.3	0.56	0.55	0.68	1.3	3.7
相对介电常数	11.7	16.2	12.9	12.5	8.9	9.7

2. 国际上，发达国家展开全面部署，美日欧欲抢战略制高点

国际上第三代半导体产业已经整体进入产业形成期，并开始步入激烈竞争的阶段，众多国家将其列入国家战略，从国际竞争角度看，美、日、欧等发达国家已将第三代半导体材料列入国家计划，并展开全面战略部署，欲抢占战略制高点。

2.1 美日欧建立了良好的发展基础

2.1.1. 美国：技术领先，拥有一批国际化生产企业

美国有很多大学、研究机构和公司都开展了第三代半导体材料单晶制备技术的研究，并一直处于技术领先地位。美国第三代半导体材料SiC、GaN、氮化铝（AlN）均已经实现了产业化，形成了一批生产企业。如美国的科锐（Cree）公司、Bandgap公司、道康宁（Dow Corning）公司、II-VI公司、Intrinsic公司实现了碳化硅单晶抛光片商品化，其中Cree公司碳化硅单晶材料的技术水平可代表了国际水平；TDI、Kyma、ATMI、Cree、CPI等公司都成功生产出氮化镓单晶衬底，Kym公司已经可以出售1英寸、2英寸、3英寸氮化镓单晶衬底；美国的TDI公司已经完全掌握HVPE法制备AlN基片技术并实现产业化。

2.1.2. 日本：研究成果丰硕，形成了一批生产企业

日本也一直热衷于第三代半导体材料的研究，并取得了丰硕的研究成果，形成了一批生产企业。如在SiC方面，Nippon和Sixon公司均已实现SiC单晶抛光片的产业化；在氮化镓衬底方面，住友电工(SEI)和日立电缆(Hitachi Cable)已经能够批量生产氮化镓衬底，日亚(Nichia)、Matsushita、索尼(Sony)、东芝(Toshiba)等也对GaN开展了相关研究；在AlN方面，拥有东京农工大学、三重大学、NGK公司、名城大学等技术研究单位，并已经取得了一定成果；在氧化锌（ZnO）方面，已经具备直径2英寸的高质量ZnO单晶生长技术。

2.1.3 欧盟：拥有一定研发能力，具备材料的生产加工能力

欧盟第三代半导体材料实现SiC单晶抛光片的生产企业有芬兰的Okmetic公司和德国的SiCrystal公司，从事氮化镓体单晶的研究主要有波兰的Top-GaN和法国的Lumilog两家公司，其中Top-GaN生产GaN材料采用HVPE工艺。另外，瑞典的林雪平大学在HVPE法生长AlN方面也有一定的研究水平。

2.2 联盟式创新发展成为美日欧的一致性选择

2.2.1 美国：成立下一代功率电子技术国家制造业创新中心

2012年美国就支持下一代半导体技术的长期研究进行项目建议征集。美国国

家标准与技术研究院（NIST）在第1年为项目提供260万美元，并计划持续资助5年时间。NIST希望获得资助的项目包含以产业为导向的合作关系，如产业界、学术界、非营利机构、政府部门等组织，以帮助克服项目中的技术障碍，NIST倾向于资助一些机构组成的团体，这样能够超越单独业界成员拥有的资源，展开广泛深入的研究工作。2014年1月15日，美国总统奥巴马宣布由北卡罗来纳州立大学率领一个由18家企业、7所大学和实验室组成的联盟，建设成立“下一代功率电子技术国家制造业创新中心”，关注下一代电力电子，通过宽带隙半导体技术开发高效能、大功率的电子芯片，使发动机、消费电子产品及电网支撑器件类的电力电子器件更快速、更小巧、更高效（详见表2）。美国能源部（DOE）将在5年内投入资金7 000万美元，同时该联盟及北卡罗来纳州也将匹配至少相同额度的经费。通过成立创新中心，美国将电力电子供应链上的企业紧密联系在一起，从材料研发与制造，到新型半导体芯片及器件的开发、设计和制造，再到芯片及器件在电力电子上的应用，推动产品和技术更快进入市场。不仅如此，创新中心的成立，还大大促进了成员间实现设备设施、测试及建模能力的共享，为成员输送芯片设计及制造人员，提供培训、高等教育课程和实习岗位等。

表2、 美国下一代功率电子技术国家制造业创新中心组成成员

成员性质	序号	成员名称
企业（18家）	1	ABB公司
	2	阿肯色（Arkansas）电力电子国际公司
	3	Avogy公司
	4	Cree公司
	5	约翰·迪尔公司（John Deere Company）
	6	德尔福（Delphi）汽车公司
	7	台达（Delta）产品公司
	8	DfR Solutions公司
	9	Grid Bridge公司
	10	黑森机电（Hesse Mechatronics）有限公司
	11	贰陆（II-VI）公司

	12	IQE公司
	13	Monolith半导体公司
	14	RF微器件公司
	15	东芝国际公司
	16	Transphom公司
	17	United Si Carbide公司
	18	Vacon集团
大学和实验室 (7家)	1	北卡罗来纳州立大学
	2	亚利桑那州立大学
	3	佛罗里达州立大学
	4	美国国家可再生能源实验室 (NREL)
	5	加州大学圣巴巴拉分校
	6	美国海军研究实验室
	7	弗吉尼亚理工学院和州立大学

2.2.2 日本：设立了下一代功率半导体封装技术开发联盟

日本作为第三代半导体材料研究和产业化的强国，设立了“下一代功率半导体封装技术开发联盟”，由大阪大学牵头，联合了包括罗姆、三菱电机、松下电器在内的18家从事SiC和GaN材料、器件以及应用技术开发和产业化的企业、大学和研究中心，共同开发第3代功率半导体封装技术，以推动第3代半导体应用的快速产业化发展（详见表3）。

表 3、日本下一代功率半导体封装技术开发联盟成员

序号	成员	序号	成员
1	上村工业	10	电装
2	爱斯佩克	11	日亚化学工业
3	三社电机制作所	12	日本触媒
4	西门子	13	日本电子元件可靠性中心
5	夏普	14	松下

6	新日铁住金化学	15	古河电气工业
7	住友电气工业	16	三菱电机
8	千住金属工业	17	罗姆
9	昭和电工	18	大阪大学

2.2.3 欧洲：启动了“LAST POWER”产学研项目

欧洲启动了产学研项目“LAST POWER”，由意法半导体公司牵头，协同来自意大利、德国、法国、瑞典、希腊和波兰等6个欧洲国家的私营企业、大学和公共研究中心，联合攻关SiC和GaN的关键技术（详见表4）。项目通过研发高性价比且高可靠性的SiC和GaN功率电子技术，使欧洲跻身于世界高能效功率芯片研究与商用的最前沿。

表 4、欧洲 LAST POWER 产学研项目成员

序号	主要成员	所属国家
1	意法半导体	意大利
2	LPE/ETC	意大利
3	Institute for Microelectronics and Microsystems of the National Research	意大利
4	Council-IMM-CNR Foundation for Research & Technology-Hellas-FORTH	希腊
5	NOVASIC	法国
6	Consorzio Catania Recerche-CCR	意大利
7	Institute of High Pressure Physics-Unipress	波兰
8	Università della Calabria	意大利
9	SiCtystal	德国
10	SEPS Technologies	瑞典
11	SenSiC	瑞典

12	Acreo	瑞典
13	Aristotle University of Thessaloniki-AUTH	希腊

3、国家意志驱动产业发展，联盟协同创新抢占战略高地

我国政府高度重视第三代半导体材料的研究与开发，从2004年开始对第三代半导体领域的研究进行了部署，启动了一系列重大研究项目，2013年科技部在863计划新材料技术领域项目征集指南中明确将第三代半导体材料及应用列为重要内容。2015年5月，国务院发布《中国制造2025》，新材料是《〈中国制造2025〉重点领域技术路线图》中十大重点领域之一，其中第三代半导体被纳入关键战略材料发展重点；同年9月，在国家科技部、工业和信息化部、北京市科学技术委员会的支持下，“第三代半导体产业技术创新战略联盟”正式成立，该联盟包括以中国科学院半导体研究所为代表的科研机构，以北京大学、南京大学、西安电子科技大学为代表的大专院校，以三安光电股份有限公司、国网智能电网研究院、中兴通讯股份有限公司、苏州能讯高能半导体有限公司、山东天岳先进材料科技有限公司为代表的企业机构（详见表5）。

当前我国第三代半导体材料研发与国外差距不大，如果通过产业链协同创新，完全有可能实现弯道超车，打破半导体产业受制于人的被动局面。今后，我国应借力产业联盟的协同作用，依托产业链形成创新链，推动产业体系形成，培育一批拥有国际品牌的企业，在国际上抢占产业发展制高点。具体措施有三：一是进一步构建完整统一的高效联盟。联盟成员不仅要包括高校、研究机构、生产企业和下游应用企业，更要积极引入标准制定、检测检验、技术认证等机构的加入，确保联盟内成员围绕产业发展实现无缝对接。二是国家应对联盟加大支持力度，在支持项目的选择上，要向以产业发展为导向的合作项目予以倾斜；在资金支持方式选择上，选择“政府+联盟”方式，在政府加大项目资金支持力度的同时，要求联盟及其成员单位配套相应的资金对项目进行支持；在支持方向上，选择制约产业发展的关键技术，以期打破制约产业发展的技术障碍。三是优化整合联盟资源，构建高效联盟。加强联盟成员间联系，实现设备、信息、人才共享，发挥企业和科研机构产业优势和资源优势，为高校学生提供实习基地和科研条件，同时助推高校为企业和科研机构输入高水平的

技术人才和科研人才。总之，要紧紧围绕产业发展需要，集合优势资源，发挥各方优势，形成促进产业发展的强效合力，更好推动产业化发展。

表 5、中国 第三代半导体产业技术创新战略联盟成员

成员性质	序号	成员名称
大学、研究所和 中心（23 家）	1	北京大学
	2	北京工业大学
	3	大连理工大学
	4	南京大学
	5	山东大学
	6	天津大学
	7	西安电子科技大学
	8	西安交通大学
	9	浙江大学
	10	重庆大学
	11	中国电子科技集团公司第十三研究所
	12	中国电子科技集团公司第五十五研究所
	13	中国科学院半导体研究所
	14	中国科学院电工研究所
	15	中国科学院上海硅酸盐研究所
	16	中国科学院苏州纳米技术与纳米仿生研究所
	17	中国科学院微电子研究所
	18	中国科学院微电子研究所
	19	中国科学院物理研究所
	20	中国科学院长春光学精密机械与物理研究所
	21	北京半导体照明科技促进中心
	22	国家硅基 LED 工程技术研究中心
	23	北京有色金属与稀土应用研究所

公司企业（44家）	1	北京国联万众半导体科技有限公司
	2	北京世纪金光半导体有限公司
	3	北京四方继保自动化股份有限公司
	4	北京中材人工晶体研究院有限公司
	5	大唐移动通信设备有限公司
	6	大族激光科技产业集团股份有限公司
	7	东莞市天域半导体科技有限公司
	8	东莞市中镓半导体科技有限公司
	9	佛山市国星光电股份有限公司
	10	广东德豪润达电气股份有限公司
	11	瀚天天成电子科技(厦门)有限公司
	12	河北同光晶体有限公司
	13	鸿利智汇集团股份有限公司
	14	华智科技（国际）有限公司
	15	晶能光电（江西）有限公司
	16	乐健科技（珠海）有限公司
	17	利亚德光电股份有限公司
	18	南通同方半导体有限公司
	19	三安光电股份有限公司
	20	厦门华联电子有限公司
	21	山东浪潮华光光电子股份有限公司
	22	山东天岳晶体材料科技有限公司
	23	深圳奥特迅电力设备股份有限公司
	24	深圳市恒之源电器有限公司
	25	深圳市洲明科技股份有限公司
	26	苏州晶品新材料股份有限公司
	27	苏州纳维科技有限公司

	28	苏州能讯高能半导体有限公司
	29	台州市一能科技有限公司
	30	泰科天润半导体科技（北京）有限公司
	31	西安特锐德智能充电科技有限公司
	32	易美芯光（北京）科技有限公司
	33	英诺赛科(珠海)科技有限公司
	34	中电科电子装备有限公司
	35	中晟光电设备（上海）股份有限公司
	36	中微半导体设备（上海）有限公司
	37	中兴通讯股份有限公司
	38	株洲中车时代电气股份有限公司
	39	山东晶导微电子有限公司
	40	北京达博有色金属焊料有限责任公司
	41	江苏华功半导体有限公司
	42	厦门芯光润泽科技有限公司
	43	樂健科技（珠海）有限公司
	44	鸿利智汇集团股份有限公司