



CASA

China advanced semiconductor industry
innovation alliance

第三代半导体材料及应用 2016年产业发展报告

第三代半导体产业技术创新战略联盟

2017年1月

目录 Content

前言	1
一、政策加紧部署，抢占战略高地	2
1. 各国加紧部署，方向逐步调整	2
2. 国内加大力度，着力换道超车	3
二、技术快速进步，国内亟待突破	4
1. 国际发展提速，应用即将爆发	4
2. 国内高度重视，技术快速跟进	6
三、产业进程加速，市场逐步渗透	11
1. 国际格局初定，市场广阔可期	11
2. 链条基本形成，产业初步启动	16
四、整合完善布局，资本引发热潮	21
1. 国际并购频现，巨头完善布局	21
2. 国内产业初启，首现投资热潮	22
五、存在问题和发展趋势	24
1. 主要问题	24
2. 发展趋势	25

第三代半导体材料及应用产业发展报告（2016）

前言

第三代半导体材料是提升新一代信息技术核心竞争力的重要支撑。第一代半导体材料以硅（Si）和锗（Ge）等元素半导体为代表，奠定了微电子产业基础；第二代半导体材料以砷化镓（GaAs）和磷化铟（InP）为代表，奠定了信息产业基础；以碳化硅（SiC）和氮化镓（GaN）为代表的第三代半导体材料，因具备禁带宽度大、击穿电场高、热导率大、电子饱和漂移速率高、抗辐射能力强等优越性能，是固态光源和电力电子、微波射频器件的“核芯”，在半导体照明、新一代移动通信、能源互联网、高速轨道交通、新能源汽车、消费类电子等领域有广阔的应用前景，有望突破传统半导体技术的瓶颈，与第一代、第二代半导体技术互补，对节能减排、产业转型升级、催生新的经济增长点将发挥重要作用。

第三代半导体材料是全球战略竞争新的制高点。美、日、欧等各国积极进行战略部署，第三代半导体材料引发全球瞩目，并成为半导体技术研究前沿和产业竞争焦点。中国正在积极推进，加快发展。2016年，我国半导体照明产业规模达到 5216 亿元，照明强国地位渐显，为第三代半导体在其他领域的技术研发和产业应用奠定了良好的基础。2016 年，第三代半导体技术显著提升，市场逐步开启，政策全面加速，资本积极进入，企业加快布局，南北基地启动，第三代半导体产业在中国迎来发展“元年”。

一、政策加紧部署，抢占战略高地

1. 各国加紧部署，方向逐步调整

美国等发达国家为了抢占第三代半导体技术的战略制高点，通过国家级创新中心、协同创新中心、联合研发等形式，将企业、高校、研究机构及相关政府部门等有机地联合在一起，通过协同组织，共同投入，实现第三代半导体技术的加速进步，引领、加速并抢占全球第三代半导体市场，在支持方向上则更加关注以应用需求带动研发，引导资源进入产品级的开发和市场终端应用。

表 1 2016 年各国第三代半导体材料相关部分政策措施

时间	地区	主体	方式	内容
2016	美国	总统科学和技术顾问委员会 (PCAST)	成立半导体工作组	加强半导体产业发展，使国家经济和安全受益。
			《确保美国在半导体领域的长期领导地位》报告	通过在尖端领域的持续创新，美国才能够减少由中国产业政策所带来的威胁，以增强美国经济。
		政府机构/企业	联合研发	美国国家宇航局（NASA）、国防部先进研究计划署（DARPA）等机构通过研发资助、购买订单等方式开展 SiC、GaN 研发、生产与器件研制。
2016	英国	创新英国	化合物半导体应用创新中心	投入 400 万英镑加速化合物半导体器件商业应用。
		卡迪夫大学	化合物半导体研究所和半导体研究中心	合作企业和机构 26 家，大学、政府、英国工程与物理科学研究委员会（EPSRC）投资超过 6000 万英镑，聚焦电力电子、射频/微波、光电、传感器 4 大技术。
2016	日本	政府机构	联合研发项目	“有助于实现节能社会的新一代半导体研究开发”的 GaN 功率元件开发项目，为期 5 年，第一年（2016 年度）预算为 10 亿日元。
2016	韩国	政府机构	研发项目	重点围绕高纯 SiC 粉末制备、高纯 SiC 多晶陶瓷、高质量 SiC 单晶生长、高质量 SiC 外延材料生长四个方面。在功率器件方面，启动了功率电子的国家项目，重点围绕 Si 基 GaN 和 SiC。

资料来源：CASA 整理

2. 国内加大力度，着力换道超车

“十二五”以来，我国开展了跨学科、跨领域的研发布局，在新材料、能源、交通、信息、自动化、国防等各相关领域分别组织国内科研院所和企业联合攻关，部分解决了第三代半导体材料和器件制备的关键技术问题。2016 年作为“十三五”开局之年，科技部、工信部、国家发改委等多部委出台多项政策，对第三代半导体材料进行布局。从政策的内容来看，科技创新仍是重点，产业化布局、专业人才储备、投资鼓励、产业园规划建设、生产制造扶植等方面的支持政策也逐步出台，力争全面实现“换道超车”。

地方政策也在 2016 年大量出台，福建、广东、江苏、北京、青海等 27 个地区出台第三代半导体相关政策（不包括 LED）近 30 条。一方面多地均将第三代半导体写入“十三五”相关规划（17 项）另一方面不少地方政府有针对性对当地具有一定优势的 SiC 和 GaN 材料企业进行扶持。

表 2 2016 年国内第三代半导体材料相关部分政策措施

颁布时间	颁布机构	名称	内容
2016.07	国务院	《“十三五”国家科技创新规划》	提出发展新一代信息技术，发展微电子和光电子技术，重点加强极低功耗芯片、新型传感器、第三代半导体芯片和硅基光电子、混合光电子、微波光电子等技术与器件的研发。
2016.09	科技部、国家发改委、外交部、商务部	《推进“一带一路”建设科技创新合作专项规划》	在共同开展高品质特殊钢等重点基础材料产业化关键技术中提到第三代半导体制造技术合作研发。
2016.09	工信部	《建材工业发展规划(2016—2020 年)》	在主要任务中提出要壮大建材新兴产业（人工晶体），重点发展高品质人造金刚石和金刚石膜，4-6 英寸 LED 用蓝宝石晶体衬底，第三代半导体晶体材料等产品。

2016.11	国务院	《“十三五”国家战略性新兴产业发展规划》	提出做强信息技术核心产业，推动智能传感器、电力电子、印刷电子、半导体照明、惯性导航等领域关键技术研发和产业化，提升新型片式元件、光通信器件、专用电子材料供给保障能力，将大功率半导体照明芯片与器件纳入节能技术装备发展工程。
2016.12	国务院	国家新材料产业发展领导小组	成立国家新材料产业发展领导小组，做好顶层设计和政策引导，抓好重点工作落实，加快推动新材料产业快速健康发展，国家重大项目“重点新材料研发及应用”有望在 2017 年启动。

资料来源：CASA 整理

二、技术快速进步，国内亟待突破

1. 国际发展提速，应用即将爆发

(1) SiC 产业链各环节进展

SiC 衬底材料方面，国际主流产品逐渐由 4 英寸向 6 英寸过渡，并开始研发和生产 8 英寸衬底。4 英寸零微管的 4H-SiC 单晶衬底已商业化，6 英寸产品的微管密度在 5 个/cm² 以下。Cree 公司 4 英寸基片的穿透型螺位错密度降至 447 个/cm²，基平面位错密度为 56 个/cm²；6 英寸基片的穿透型螺位错密度为 230 个/cm²，基平面位错密度为 112 个/cm²。外延材料方面，国际上 6 英寸外延片已经产业化，外延速率最高可以达到 170 μm/h，100 μm 以上的高厚度外延片缺陷密度低于 0.1cm⁻²。

SiC 器件方面，国际上 SiC 肖特基二极管（SBD）、金属氧化物半导体场效应晶体管（MOSFET）等均已实现量产，产品耐压范围 600V-1700V，单芯片电流超过 50A，并开发出了 1200V/300A、1700V/225A 的全 SiC 功率模块产品；实验室开发了 10000V-15000V/10A-20A 的 SiC MOSFET；并研发出了 IGBT 芯片样

品，最高耐压水平已经超过 20 kV 量级。

应用方面，SiC 器件正在渗透到以电动汽车、消费类电子、新能源、轨道交通等为代表的民用领域。在电动汽车领域，三菱电机公司在逆变器中采用 SiC 二极管和晶体管，开发出世界上最小的电动汽车马达；2015 年丰田推出了基于 SiC MOSFET 的凯美瑞 SiC 试验车，逆变器开关损耗降低 70%。在消费类电子领域，日本多家空调厂商均计划在近期推出采用 SiC 器件的空调变频驱动器，大幅提升空调效率，减小变频器体积。在新能源领域，Cree 公司（wolf speed）的 SiC 器件已经应用于开发光伏逆变器和风电变流器；日本富士开发了 1MW 的 SiC 光伏发电系统；安川电机和三菱电机分别推出采用 GaN 和 SiC 电力电子模块的光伏逆变器，转换效率均达到 98%。在轨道交通领域，东京地铁银座线的新“01 系列车”采用三菱电机的 SiC 逆变器，使系统的电力损失减少 30% 以上。在国防领域，美国采用 10kV/120A 的 SiC MOSFET 功率模块开发了 1MVA 的电力电子变压器，并开发了基于 SiC 器件的 2.7MVA 的固态功率变电站，该固态功率变电站可能将被应用于美国下一代航空母舰 CVN-21 的配电系统中。美国 GE 公司采用 SiC 器件开发了 75kW 逆变器，用于航空航天电源系统。

(2) GaN 产业链各环节进展

GaN 衬底材料方面，住友电工、日立电线、古河机械金属和三菱化学等日本公司已可以出售标准 2-3 英寸 HVPE 制备的 GaN 衬底，具备 4 英寸衬底（位错密度 10^6cm^{-2} ）的小批量供应能力。外延材料方面，美国 Nitronex，德国 Azzuro 和日本企业开始提供 6 英寸制备

600V 以上电力电子器件的 Si 上 GaN 外延材料。SiC 衬底的射频微波功率用 GaN 高电子迁移率晶体管（HEMT）外延片已实现产业化。

GaN 电力电子器件方面，目前已推出耐压 650V 及以下系列 Si 基 GaN 功率器件，主要应用于服务器电源（PFC）、车载充电、光伏逆变器等。2016 年 3 月，美国 Navitas 公司推出 650V 单片集成 GaN 功率场效应晶体管(FET)，以及 GaN 逻辑和驱动电路。8 月美国 Dialog 公司（由台积电代工）推出了针对电源适配器的 GaN IC 方案。GaN 微波射频器件方面，目前主要用于远距离信号传输和高功率级别，如雷达、移动基站、卫星通信、电子战等。美国、日本等十几家公司均推出了 GaN 射频功率器件产品。GaN 光电器件方面，产业化 LED 光效水平达到 176 lm/W 以上。东芝、三星等多家公司均推出了大尺寸 Si 衬底上产业化大功率 GaN LED 芯片产品，光效达到 130-140 lm/W。另外，3.75W 蓝光和 1W 绿光激光器已有销售，342nm 紫外激光器实现脉冲激射，但尚不能实现应用。在紫外探测器方面，普通非增益探测器量子效率超过 60%，并可以批量应用于民用产品，增益可见光盲 GaN 雪崩光电二极管（APD）已经报道了单光子探测。

2. 国内高度重视，技术快速跟进

(1) 国内重点部署研发

2000 年以来，在国家多项科技和产业计划的大力支持下，我国的先进电子材料取得了长足进步，大幅度缩小了与发达国家的差距，进入了从受制于人、跟跑到自主保障、领跑的历史性转折阶段。2016 年我国启动了“十三五”国家重点研发计划“战略性先进电子材料”

重点专项的组织实施工作，第三代半导体材料与半导体照明作为重点专项中最重要的研究领域，得到了国家层面的重点支持，以全链条部署、一体化实施的组织模式部署了 11 个研究方向，并在 2016 年和 2017 年分两批启动。2016 年度启动的 6 个方向已正式立项并取得阶段性研究成果，2017 年度启动的 5 个方向已经完成预评审工作，预计 2017 年 6 月将完成立项工作。

表 3 战略性先进电子材料—第三代半导体材料与半导体照明方向项目部署

序号	项目名称	牵头单位	启动年份
一	大失配、强极化第三代半导体材料体系外延生长动力学和载流子调控规律	北京大学	2016
二	面向下一代移动通信的 GaN 基射频器件关键技术及系统应用	中兴通讯股份有限公司	2016
	面向下一代移动通信的 GaN 基射频器件关键技术及系统应用	瑞德兴阳新能源技术有限公司	2016
三	中低压 SiC 材料、器件及其在电动汽车充电设备中的应用示范	北京华商三优新能源科技有限公司	2016
四	高压大功率 SiC 材料、器件及其在电力电子变压器中的应用示范	全球能源互联网研究院	2016
五	高品质、全光谱无机半导体照明材料、器件、灯具产业化制造技术	南昌黄绿照明有限公司	2016
	高效大面积 OLED 照明器件制备的关键技术及生产示范	苏州大学	2016
六	第三代半导体固态紫外光源材料及器件关键技术	中国科学院半导体研究所	2016
	第三代半导体紫外探测材料及器件关键技术	南京大学	2016
七	面向新一代通用电源的 GaN 基电力电子关键技术	等待最终评审结果	2017
八	超高能效半导体光源核心材料、器件及全技术链绿色制造技术		2017
九	新形态多功能智慧照明与可见光通信关键技术及系统集成		2017
十	半导体照明与生物作用机理及面向健康医疗和农业的系统集成技术与应用示范		2017
十一	用于第三代半导体的衬底及同质外延、核心配套材料与关键装备		2017

资料来源：CASA 整理

另外，为推动第三代半导体器件在新能源汽车和新能源并网领域的应用，在国家重点研发计划“新能源汽车”重点专项、“智能电网技术与装备”重点专项中也启动了相关技术研发和示范应用研究。

表 4 其他相关重点专项项目部署

国家重点研发计划“新能源汽车”重点专项			
序号	项目名称	牵头单位	启动年份
一	高温车用 SiC 器件及系统的基础理论与评测方法研究	中国科学院电工研究所	2016
二	高功率密度车用逆变器产品平台开发及产业化	上海电驱动股份有限公司	2016
三	高功率密度电机控制器	上海大郡动力控制技术有限公司	2016
四	宽禁带半导体电机控制器开发和产业化	等待最终评审结果	2017
国家重点研发计划“智能电网技术与装备”重点专项			
一	分布式光储发电集群灵活并网关键技术及示范	阳光电源股份有限公司	2016
二	分布式可再生能源发电集群并网消纳关键技术及示范应用	中国电力科学研究院	2016

资料来源：CASA 整理

(2) SiC 产业链各环节进展

SiC 衬底材料方面，国内开始批量生产 4 英寸导电衬底，并开发出 6 英寸样品。4 英寸微管密度可控制在 $1 \text{ 个}/\text{cm}^2$ ，最低可到达 $0.1 \text{ 个}/\text{cm}^2$ ，6 英寸微管密度可以控制在 $10 \text{ 个}/\text{cm}^2$ 以下，国产 SiC 衬底仍存在相对较高的位错缺陷密度，典型值为 $10^3/\text{cm}^2$ 。另外，国内已开发出射频器件用 2 英寸高阻衬底材料。SiC 外延材料方面，国内已成功批量生产 6 英寸 N 型 SiC 外延片，生长速率为 $80 \mu\text{m}/\text{h}$ - $100 \mu\text{m}/\text{h}$ ， $100 \mu\text{m}$ SiC 外延片缺陷密度已经能够达到 $0.5/\text{cm}^2$ 。另外，6 寸 P 型外延材料实现批量生产。

SiC 器件方面，国内基本处于起步阶段，目前可量产 600V-2500V 的 SiC SBD 产品，部分开始形成销售。研制出 3300V SiC SBD、

1200V-3300V 的 SiC MOSFET 原型器件,尚不具备产业化能力。此外,国内已开发出 1700V/1200A 的混合模块 (Si IGBT 和 1700V/25A 的 SiC SBD)、4500V/50-100A 等大容量的全 SiC 模块,以及 10kV/200A 的串联功率模块,正在进行测试和可靠性验证。目前进口的 SiC 功率器件已经应用于 PFC 电源、UPS、光伏逆变器、充电桩和车载充电机 (华为和比亚迪等已小规模采用)。

总体来说,高质量、高可靠性、快速厚外延技术是限制 SiC 功率器件在高压领域发展和推广的瓶颈。较小的 SiC 单晶衬底尺寸和较高的缺陷密度是制约 SiC 功率器件向大容量方向发展的制约因素。SiC 工艺技术未完全成熟是制约 SiC 功率器件发展和推广实现的技术瓶颈。高温封装技术发展滞后是制约 SiC 功率器件在高温领域推广的不利因素。

(3) GaN 产业链各环节进展

GaN 衬底材料方面,目前能够批量供应 2 英寸 GaN 衬底,其缺陷密度达到 $5 \times 10^6 \text{cm}^{-2}$,已开发出 4 英寸 GaN 衬底样品。GaN 外延材料方面,已实现商业化的 6 英寸 Si 基 GaN 外延材料和器件,GaN 外延层厚度超过 $5 \mu\text{m}$ (耐压 600V)。

GaN 微波射频器件方面,形成了系列化 GaN 微波功率器件和单片微波集成电路 (MMIC) 产品,在军用领域,主要应用于国防建设中战斗机、军舰、地面、导弹等 T/R 组件,可靠性在 8mm 波段已经达到近百万小时,在 X 波段以下可靠性达到近千万小时;在民用领域,开发了 5G 通信用 GaN 功率 MMIC,主要针对 15GHz、30GHz

等频段，在 28GHz-30GHz 工作频率下，输出功率达到 10W 以上。国内中电科 13 所和中电科 55 所有多年军工元器件的技术积累，在满足军工需求的同时开始与国内通讯企业合作开发民用器件，且在 4G 移动通信频段部分性能指标已达到国际先进水平。华为海思半导体也在积极布局 GaN 射频器件。苏州能讯与中兴和华为合作开发射频器件，并初步形成销售。GaN 电力电子器件方面，国内已经在实验室实现了耐压超过 900V 的 Si 上 GaN 电力电子器件，性能与国际先进水平有一定差距，暂未实现产业化。

GaN 光电器件方面，功率型白光 LED 产业化光效 160 lm/W，功率型硅基 LED 芯片产业化光效 150 lm/W；280nm 深紫外 LED 室温连续输出功率超过 20 mW；硅衬底黄光 LED（565nm）光效达到 130lm/W，绿光 LED（520nm）光效超过 180 lm/W，为国际报道最好水平。此外，国内可小批量生产 1.3W 蓝光和 60mW 绿光激光器，392nm 紫外激光器发光效率达到 80mW。在普通非增益 GaN 紫外探测器方面，国内和国外水平相近，增益型日盲波段 AlGaIn APD 增益可达 $1e5$ ，成像面阵规模可以做到 256×320 以上，但相较国际水平仍有差距。

GaN 应用方面，我国半导体照明应用领先国际，2016 年我国半导体照明产业规模达到 5216 亿元，其中通用照明产值达到 2040 亿元。在第三代半导体电子器件应用方面，我国仅在移动通讯、光伏逆变、雷达领域有示范应用。

三、产业进程加速，市场逐步渗透

1. 国际格局初定，市场广阔可期

(1) 产业格局基本形成

1) 电力电子领域

第三代半导体电力电子器件已初步具备产业化应用条件。目前全球有超过 30 家公司在电力电子领域拥有对 SiC、GaN 相关产品的生产、设计、制造与销售能力，但市场上能够批量稳定提供 SiC、GaN 产品的不超过 1/3。SiC 领域，2016 年，美国德州仪器（TI）等诸多企业进入该领域，但 Cree 和 NXP 则因出售相关业务退出了该领域。

目前，全球第三代半导体电力电子产业格局呈现美国、欧洲、日本三足鼎立态势。其中，美国在 SiC 领域全球独大，拥有 Cree、II--VI、道康宁等具有很强竞争力的企业，并且占有全球 SiC 70-80% 的产量。欧洲拥有完整的 SiC 衬底、外延、器件、应用产业链，拥有英飞凌、意法半导体、Sicrystal、Ascatronl、IBS、ABB 等优秀半导体制造商，在全球电力电子市场拥有强大话语权。日本是设备和模块开发方面的绝对领先者，主要产商有罗姆、三菱电机、富士电机、松下、东芝、日立等，其中罗姆、三菱是 Cree 和英飞凌的主要竞争对手。在韩国，SiC 粉末公司有 LG Innotek，晶体企业有 POSCO、Sapphire Technology、LG、OCI 和 SKC，外延企业有 RIST、POSCO 和 LG，但是涉猎 SiC 器件的企业不多，主要推动者是三星。

而在 GaN 电力电子方面，美国拥有较为完整产业链，在外延、

器件及应用环节有 Transform、EPC、GaN system、Powerex 等企业。欧盟在该领域的 2 家企业 Azzurro、EpiGaN 主要集中在外延环节。亚洲企业在材料环节占优，日本信越、富士电机和台湾汉磊等在衬底和外延表现突出。

2) 微波射频领域

在射频微波领域，目前全球约有超过 30 家企业已经从事 GaN 的研发生产，其中 10 家左右已经实现了 GaN 的量产化和商业化。2016 年，有 5 家企业进入该领域，且基本为中国企业，有 2 家退出，主要是 Cree 和 NXP 因出售相关业务退出了。美国、欧洲、日本等在军事雷达和无线基站通信方面走在世界前列。美国在 GaN 射频领域拥有 Macom、Qorvo、Raytheon、Microsemi、Analogics 等全球领先企业，现阶段 GaN 主要应用是卫星、雷达、战斗机通信等国防领域，对于 5G 通讯应用，政府和市场关注较少。欧洲拥有 IQE、Ampleon、UMS、NXP 等知名企业，在 GaN 应用于 5G 通信方面的研发成果较多，技术创新能力强。日本在 GaN 射频领域的研发和应用，多数以民用通信为主，军事通信探测为辅，主要目的是配合日本在电力电子领域和光电子领域的技术和市场优势。

3) 光电领域

在半导体照明领域，全球 LED 知名企业包括美国 Cree、荷兰 Philip、德国 Osram、日本 Nichia、韩国三星、中国台湾地区晶元光电、中国三安光电、木林森等著名企业。截至目前日亚化学在 LED 芯片方面的销售仍稳居全球第一，德国 Osram、Philip Lumileds、韩

国三星等在封装方面领先全球，中国大陆木林森也在 2014-2015 年全球 LED 封装营收排名中进入前十。

在激光器方面，Nichia、Osram 走在了国际前列。日本的住友电工、日立电缆等企业在衬底材料方面具有较深的技术储备；而美国的 Kyma 公司、法国的 Lumilog 公司也相继实现了 2 英寸 GaN 衬底的研发和产业化开发。

在探测器方面，美国通用电气（GE）公司于 2008 年已经发布了具有日盲特性，单光子探测效率可达到 9.4%，而暗计数仅为 2.5kHz 的 SAM 结构 4H-SiC APD。国际上还有韩国的 Genicom 公司和日本的 Kyosemi 公司可以批量供应 GaN 紫外探测器，其中 Genicom 公司已经推出了多款 GaN 紫外探测器的模块化应用产品。

(2) 市场前景广阔可期

1) 电力电力领域

SiC、GaN 的电力电子器件市场在 2016 年正式形成。初步估计，2016 年 SiC 电力电子市场规模在 2.1 亿-2.4 亿美元之间，而 GaN 电力电子市场规模约在 2000 万-3000 万美元之间，两者合计达 2.3 亿-2.7 亿美元。而据 IC insights 数据，2016 年全球功率半导体销售金额约 124 亿美元，意味着第三代半导体功率器件 2016 年的市场占有率已经达到 2 %左右。



图1 2015~2021 年 SiC 器件市场规模（百万美元）

数据来源：Yole，2016

SiC、GaN 在功率电子市场的前景看好。据 Yole 最新报告数据显示，2021 年全球 SiC 市场规模将上涨到 5.5 亿美元，2016-2021 年的复合年增长率（CAGR）将达到 19%。而 Yole 同时预测，GaN 功率器件在未来五年（2016-2021 年）复合年增长率将达到 86%，市场将在 2021 年达到 3 亿美元。当然，SiC、GaN 替代 Si 产品仍然为时甚早。据 Lux 研究公司数据，预计至 2024 年，第三代半导体功率电子的渗透率将达到 13%，而 Si 产品仍将占据剩下的 87% 的市场份额。

2) 微波射频领域

据 Yole 预测，2016-2020 年 GaN 射频器件市场将扩大至目前的 2 倍，市场复合年增长率（CAGR）将达到 4%；2020 年末，市场规模将扩大至目前的 2.5 倍。2015 年，受益于中国 LTE（4G）网络的大规模应用，带来无线基础设施市场的大幅增长，有力地刺激了 GaN 微波射频产业。2015 年末，整个 GaN 射频市场规模接近 3 亿美元。

2017-2018 年，在无线基础设施及国防应用市场需求增长的推动下，GaN 市场会进一步放大，但增速会较 2015 年有所放缓。2019-2020 年，5G 网络的实施将接棒推动 GaN 市场增长。未来 10 年，GaN 市场将有望超过 30 亿美元。

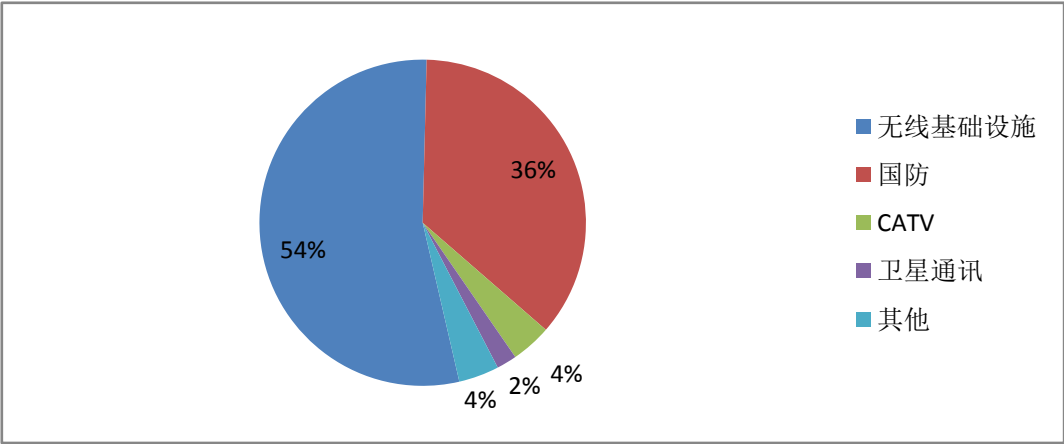


图 2 2015 年全球 GaN 射频器件市场结构（按应用领域划分）

数据来源：Yole

3) 光电领域

随着技术进步，半导体照明的应用领域不断拓宽，市场规模不断增长。据美国产业研究机构 Strategies Unlimited 2016 年发布的报告显示，2015 年，LED 器件营收约 147 亿美元，预计 2016 年约 152 亿美元；2020 年超过 180 亿美元。LED 器件照明应用仍是主流应用，约占 30% 以上，并稳步增长；LED 在汽车以及农业等应用逐年扩大。

近年来，LED 照明产品的市场渗透率快速增长，特别是在新增销售量的渗透率有较快增长，但在已安装市场上，由于基数庞大，LED 目前的（在用量）市场渗透率仍不高。IHS 数据显示，2015 年全球 LED 灯安装数量在整体照明产品在用量中的渗透率仅为 6%，预计 2022 年将接近 40%，LED 全球照明市场仍具较大增长潜力。

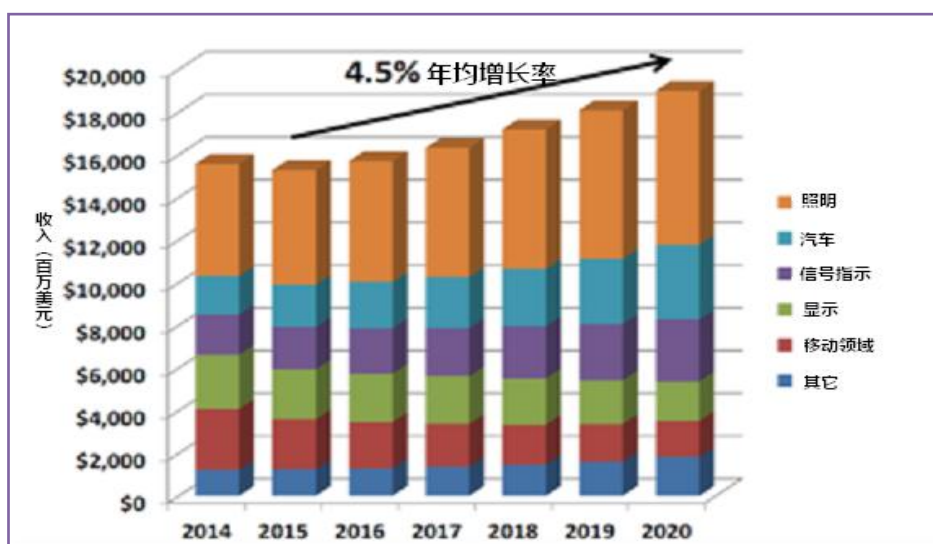


图3 全球LED器件市场规模及预测（百万美元）

数据来源：Strategies Unlimited (2016)

2. 链条基本形成，产业初步启动

2016年，我国半导体照明产业整体产值达到5216亿元，较2015年同比增长22.8%；电力电子和微波射频产业处于起步阶段。与国际领先水平相比，我国在第三代半导体衬底、外延材料、器件的整体技术水平落后3年左右；在第三代半导体光电子领域，LED技术水平已接近国际先进水平；在第三代半导体微电子应用方面，日、美、欧在地铁机车、新能源汽车、白色家电、光伏逆变器、雷达等领域开展了规模应用，而我国只在光伏逆变器、PFC电源、UPS、军用雷达等领域有小规模应用。

(1) 产业链条初具雏形

初步形成较完整创新研发和产业化体系。我国开展第三代半导体材料相关研究的国家重点实验室、国家工程中心、国家工程实验室20余家，各类国家级产业化基地、试点城市超过50家。上、中、下游及设计、配套等各环节均开始出现一些优秀厂商，初步形成了较为

完整的产业链。

SiC 材料体系方面，衬底环节有山东天岳、天科合达、河北同光等已经实现量产，外延环节有东莞天域、瀚天天成、正在投资进入，器件环节有泰科天润等。同时，扬州扬杰电子、世纪金光、中电 55 所、13 所、国家电网、株洲南车等均在 SiC 电力电子全产业链体系进行了布局。

GaN 材料体系方面，外延环节主要有苏州晶湛、江西晶能、东莞中镓等。GaN 电力电子器件方面，苏州能讯、江苏能华、杭州士兰微、江苏华功半导体均已进入布局。GaN 射频电子方面，台湾台积电和稳懋是目前国内企业代工的主要平台，三安光电、苏州能讯已经布局，而中电 13 所、55 所、29 所（海特高新）已经在军用领域占据优势。

GaN 光电子方面，国内半导体照明相关企业超过 30000 家，其中上游三安光电、华灿光电、德豪润达规模均超过 10 亿，中游木林森、国星光电、瑞丰光电、鸿利智汇等在照明之外积极布局红外、紫外、车用等细分领域，下游照明领域，飞乐、雷士、欧普、阳光等照明企业完成 LED 转型，成为行业龙头。

(2) 市场先于产业开启

2016 年是我国第三代半导体产业发展“元年”。据初步统计，2016 年我国第三代半导体产业的整体规模约为 5228 亿元，其中电力电子产值规模 7200 万元，微波射频产值规模 10.9 亿元，光电（主要为半导体照明）产业规模超过 5200 亿元。

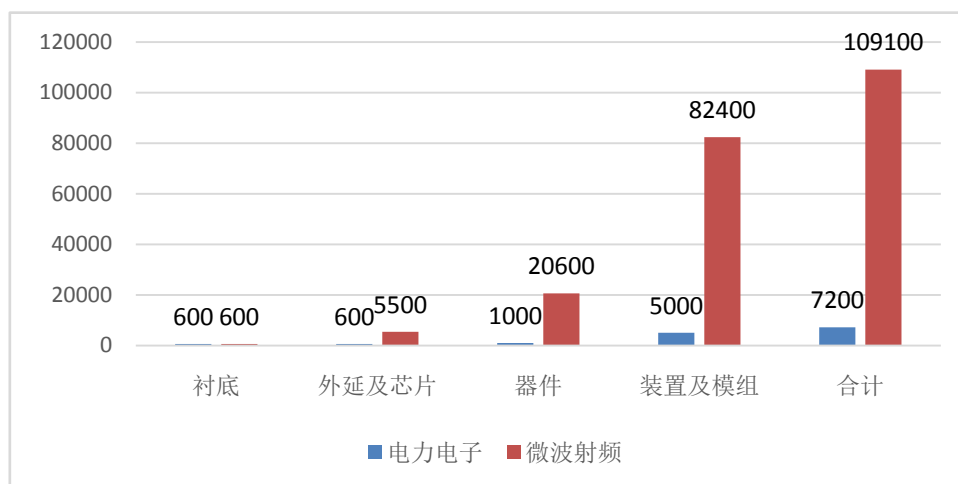


图 4 2016 年我国 SiC、GaN 电力电子产业和微波射频产业产值（万元）

数据来源：CASA

1) 电力电子市场规模超过 1 亿元

2016 年，第三代半导体器件在消费类电子、工业电机、太阳能光伏、风力发电、新能源汽车、大数据中心等应用领域开始渗透。2016 年，我国第三代半导体电力电子器件的市场规模约为 1.6 亿元，目前市场 90% 为进口产品所占有。

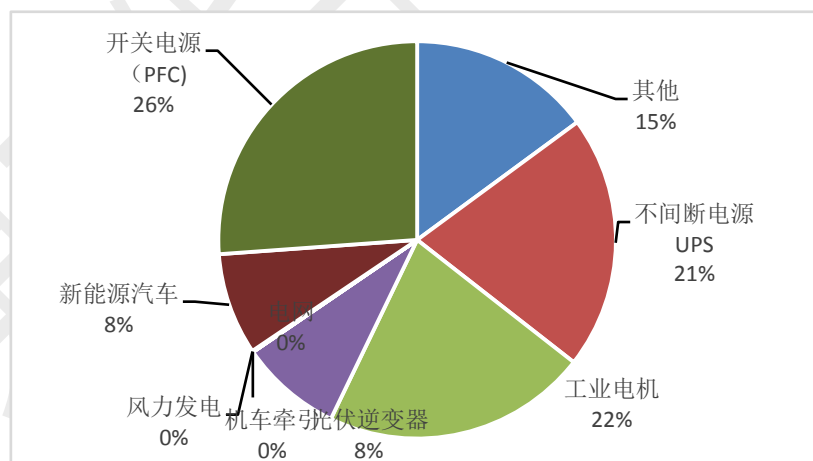


图 5 2016 年我国电力电子器件应用市场分布 (%)

数据来源：CASA

据国家统计局数据，2015 年我国半导体分立器件规模以上企业的销售额超过 900 亿元/年，国内第三代半导体电力电子的渗透率不

到 0.5%。国内目前最大的应用领域在开关电源和不间断电源，而渗透最快的是光伏应用领域。

2) 微波射频市场空间广阔

我国 GaN 器件在微波射频领域的应用正在快速成熟，特别是民用市场即将起量。全球移动通信基站射频功率器件的市场规模约 10 亿美元，我国仅中兴、华为、大唐等企业的总需求就在 3 亿-4 亿美元。2016 年，我国第三代半导体微波射频电子市场规模约为 9.43 亿元，其中国防军事和航天应用是主要应用领域。而民用领域，华为、中兴等通信设备商均早已开始针对 GaN 在无线通讯设备中应用进行布局，但目前国内市场上 GaN 射频功率器件产品基本为欧、美、日大厂所出，国内研究虽已展开，但目前尚无成熟产品应用，我国自产的具有良好性能和稳定量产供货能力的 GaN 产品迫在眉睫。

3) 半导体照明突破 5000 亿

我国第三代半导体材料成功产业化的第一个突破口是光电子领域的半导体照明产业。目前，我国已成为全球最大的半导体照明产品生产和出口地。2016 年，我国半导体照明产业整体产值首次突破 5000 亿元，达到 5216 亿元，其中上游外延芯片规模约 182 亿元，中游封装规模达到 748 亿元，下游应用规模 4286 亿元。以 LED 为主营业务上市公司增长到 28 家，营收持续增长。国内企业频繁参与国际整合并购案，国际竞争力进一步提升。

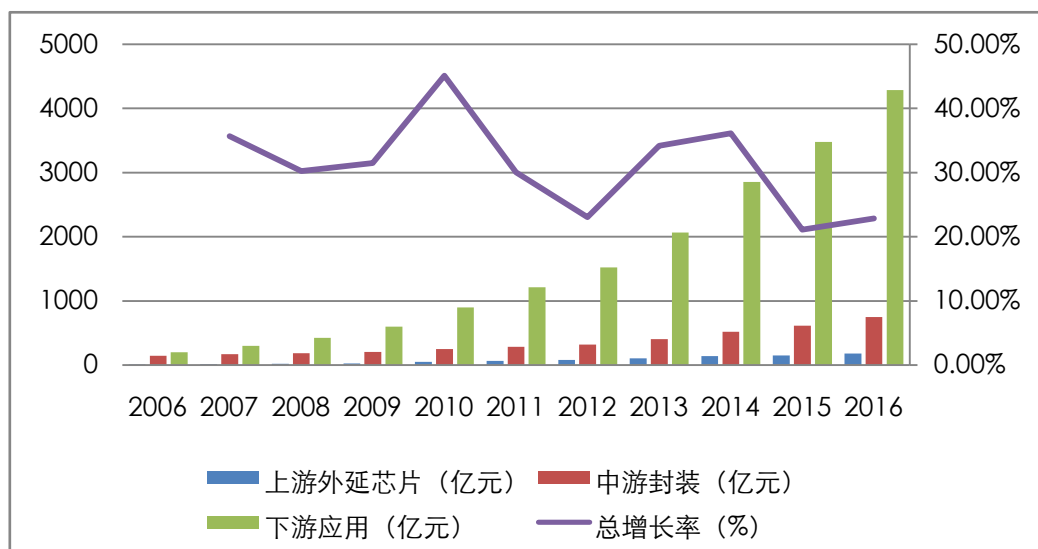


图6 我国半导体照明产业各环节产业规模及增长率

数据来源：CSA Research

(3) 基地建设开始启动

2016年，以“北京第三代半导体材料及应用联合创新基地”（以下简称“北京基地”）正式动工和第三代半导体南方基地落户广东事件为标志，我国第三代半导体的地方基地布局在各级政府推动下正在逐步展开。

1) 北京第三代半导体材料及应用联合创新基地

北京市拥有全国第三代半导体领域一半以上的科技资源、主要应用领域企业总部，以及专业的产业服务机构和首都创新大联盟等众多的产业技术创新联盟，具有发展第三代半导体产业最丰富的资源优势。自2012年起，北京市科委就已开始第三代半导体材料及应用的研发布局，并于2015年联合顺义区政府及国家半导体照明工程研发及产业联盟共同签署了《北京第三代半导体材料及应用联合创新基地建设战略合作协议》，探索了由社会资本与政府共同参与的高科技产业基

地建设模式，旨在全球范围内整合资源，形成第三代半导体重大关键技术的供给源头，区域产业集聚发展的创新高地，成果转化与创新创业的众创平台，面向全球开放协同的创新网络。基地一期占地 47 亩，并于 2016 年 7 月开工，预计 2017 年项目竣工，并吸引企业入驻，重点打造集研发中试平台、产业服务平台、产业基金和园区建设四位一体的产业创新生态系统。

2) 广东第三代半导体南方基地

第三代半导体南方基地由广东省科技厅、第三代半导体产业技术创新战略联盟、东莞市政府及相关企业共同建设。以“平台公司+研究院+产业园区+产业基金”四位一体模式建设构成的全产业链生态创新体。南方基地建设可以极大地发挥产业优势，以应用为牵引，促进创新和应用的同步快速发展。

除北京、广东基地以外，江苏、浙江、厦门、江西等地在政府多年持续推动下，继续保持先发优势，逐步开始成为国内具有较为完整产业链的第三代半导体产业特色集聚区。

四、整合完善布局，资本引发热潮

1. 国际并购频现，巨头完善布局

2016 年，半导体领域的并购案达 46 起，其中直接涉及第三代半导体的 4 项，涉及交易金额超过 100 亿美元。其中 Infineon 收购 Cree 分拆的 Wolfspeed 对产业格局影响最大。几大半导体巨头均逐步完成了从材料、器件、模组和系统解决方案全产业链的贯通。

表 5 2014-2016 年全球第三代半导体领域重要并购案

时间	并购方	被并购方	金额	并购影响
2016. 11	Skyworks	Microsemi		进行资源整合，扩充自己的营业范围；市场竞争产物；获得其 RF 与电源器件、RF 与 IC 设计及解决方案。
2016. 08	IQE	MBE Technology	1500 万 美元	获得化合物半导体晶圆制造，加大亚洲市场占有率、加强与亚洲国家企业的联系。
2016. 07	英飞凌	Wolfspeed	8.5 亿美元	获得 SiC 功率器件和 SiC 基 GaN 射频功率，开发出能效更高、面积更小、成本更低的系统，在诸如 5G 和新能源汽车等高新技术领域具有领先技术。
2016. 05	金风科技	新 能 源 企 业 RES		与欧伏电气联手共建全优产业链、收购德州 160MW 项目拟建北美最大风电场。
2015. 11	安森美	仙童	24 亿美元	高压碳化硅肖特基二极管。
2015. 07	Cree	APEI		Cree 功率与射频业务将继续扩展在业界的领先地位，并将加快高性能 SiC 碳化硅电源模块市场的发展。Cree 同时还将获得 APEI 在系统层面的知识产权和应用技术专长。
2014. 08	英飞凌	美国国际整流器公司（IR）	30 亿美元	扩充产品组合（SiC 和 GaN 的强强联合）和扩大销路，扩大在美国的影响力，强化在亚洲市场上的地位。
2014. 03	RFMD	TriQuint	16 亿美元	这项合并行动将两家射频优质单位组合，提升双方的规模与经营模式，并建立一个更强大的射频晶片产品线。经由其先进的 GaN 与光学产品组合，也将有利于利润较高的国防与航空以及网路基础设备业务的长期成长。

资料来源：CASA 整理

2. 国内产业初启，首现投资热潮

大基金强力助推半导体产业发展壮大。2014年我国成立“国家集成电路产业投资基金”（下称“大基金”），规模超过1300亿元，投资布局集成电路和半导体全产业链的相关领域。2015年6月，大基金48.39亿元入股三安光电，同时，国家开发银行也以最优惠利率向三安提供200亿元贷款，支持三安围绕GaAs和GaN材料，开展新技术研发、生产线建设与境内外并购。此外，大基金还划拨10%-20%的资金投资地方企业集成电路产业基金。在其引导下，北京、上海、武汉、深圳等多地均纷纷建立投资基金，支持本地集成电路和半导体产业发

展。据初步统计，目前各地涉及第三代半导体的地方基金规模超过1600亿元。以大基金为杠杆，引领、吸引和撬动更大规模的地方资金外，民间资金也开始投入第三代半导体产业，国家、地方、企业联动的投融资生态逐步形成，将加快我国第三代半导体产业的发展进程。

表6 2015年下半年至2016 国内部分第三代半导体相关项目列表

时间	企业	投资项目名称	计划投资额 (万元)
2015.06	北京天科合达新材料有限公司	高端医疗设备用碳化硅晶片	8,000
2015.08	扬州扬杰电子科技股份有限公司	SiC 芯片、器件研发及产业化建设项目	15,233
2015.09	苏州能讯高能半导体有限公司	年产5万片氮化镓晶圆生产线建设项目	18,125
2015.12	三安光电股份有限公司	通讯微电子器件(一期)项目	300,475
2015.12	江苏澳洋顺昌金属材料股份有限公司	澳洋顺昌集成电路芯片项目	150,000
2016.01	江苏华功半导体有限公司	年产硅基氮化镓外延片24万片、封装芯片2.4亿颗项目	119,000
2016.01	江苏华功半导体有限公司	“一院两中心”	100,000
2016.01	河北普兴电子科技股份有限公司	碳化硅外延产业化项目	5,000
2016	国家电网	碳化硅中试线	35,000
2016	厦门瀚天天成	6英寸SiC外延生产线项目	130,000
2016.03	株洲中车时代电气股份有限公司	功率半导体重点实验室暨碳化硅基地产业化建设项目	34,188
2016.07	山东科恒晶体材料科技有限公司	年产12000片2英寸氮化镓单晶基片项目	10,318
2016.08	青海矽珂电子科技有限公司	第三代半导体碳化硅材料产业化项目	22,600
2016.08	北京世纪金光半导体有限公司	宽禁带半导体功能材料与功率器件产业化项目	98,600
2016.08	北京国联万众半导体科技有限公司	第三代半导体材料及应用联合创新基地	9,000
2016.09	南方半导体科技有限公司	第三代半导体产业南方基地	200,000
2016.11	江西德义半导体科技有限公司	年产500万片新型半导体材料项目	300,000
2016.11	芜湖太赫兹工程中心有限公司	太赫兹与毫米波集成电路技术工程研究中心项目	50,000
2016.12	厦门芯光润泽科技有限公司	SiC(碳化硅)功率模块研发及产业化项目	200,000
2016.12	厦门华天恒芯	SiC器件生产线项目	150,000

资料来源：CASA 根据环评公示等公开资料整理

国内第三代半导体材料第一波的投资热潮初步显现。据初步统计，

2015年下半年至2016年底已经立项（已经环评公示）的第三代半导体相关项目达18项，总投资金额近180亿元，共涉及投资主体企业15家。从投资的构成来看，SiC材料相关投资项目8个，投资额约64亿元，其中厦门三家企业投资规模达40亿元，占62.5%。SiC单晶衬底环节，在建项目主要有青海矽珂和芜湖太赫兹，将新增超过10万片SiC单晶的产能；而SiC外延片目前投资项目多达5个，建成后将带来143万片（4英寸）的年产能。此外，流片、器件和模组环节投资达36.52亿元，将新增器件产能超过30万片，模组1150万套，带来直接经济产值超过70亿元/年。而GaN材料（不含LED）相关投资主要集中在外延、芯片环节，6个相关项目投资额达90亿元左右，新增产能达130万片，其中明确面向微波射频领域的项目主要有三安光电的通讯微电子项目。

从投产时间来看，绝大部分SiC、GaN项目尚在建设中，加上设备调试和技术磨合时间，预计产能真正发挥作用将要到2018年，届时产业发展速度将显著提速。

五、存在问题和发展趋势

1. 主要问题

(1) 研发分散、投入不够，缺乏稳定持续的有效攻关

我国总体研发投入的力度不够、不集中。企业作为创新的主体，原始创新能力不足，在产品研发方面重视不够，缺乏主动研发投入，参与创新研发少、生产跟踪仿制多，“中国制造”产品中缺乏“中国

创造”元素，只能依靠廉价销售与低层次竞争手段寻找出路。

(2) 公共研发和服务平台缺位

第三代半导体涉及多学科、跨领域的技术和应用，需要联合多领域优势资源，开展多学科、跨领域的集成创新，但研发和产业化需要昂贵的生长和工艺设备、高等级的洁净环境和先进的测试分析平台，目前国内从事第三代半导体研发的研究机构、企业单体规模小，资金投入有限，研发创新速度慢，工程化技术是短板，成果转化难，公共平台缺乏使研发“死亡谷”现象严重。

(3) 创新链没有打通

第三代半导体材料及应用技术涉及材料、能源、交通、信息、装备和自动化等多个领域，多学科交叉、融合的特点明显，从基础研发到工程化应用的创新链也很长，但目前应用端与核心材料、器件分离，无法形成利益共同体，缺乏对全产业链的顶层设计、系统布局，以及一体化整体实施。

(4) 产业体系未建立，整体创新环境较差

在第三代半导体产业具有爆发性增长潜力的应用领域，例如 5G 移动通信、电动汽车等，与国外相关产业和市场的差距还比较明显，落后程度甚于技术层面的落后程度。在标准、检测、认证等方面的行业规则、办事程序和现有的体制等与新材料产业发展规律和特点不相匹配，尚未解决材料“能用-可用-好用”发展过程中的问题和障碍。

2. 发展趋势

第三代半导体技术有许多不可替代的优越性质，正处于研究和产

业化的高速发展过程当中，产业需求驱动技术创新、应用研究需求驱动基础研究的特征非常明显。

光电子基础与前沿技术将持续突破，超越照明成重要趋势。半导体照明在过去 10 多年已形成完整的高技术产业，目前正由光效的技术推动向成本和品质的应用拉动转变，LED 发光技术已突破传统的照明概念，沿长波方向已从蓝光拓宽到绿光、黄光、红光，开拓在生物、农业、医疗、保健、航空、航天和通信等领域应用；沿短波方向已发展高效节能、环境友好、智能化的紫外光源，期望逐步取代电真空紫外光源，开启紫外技术和应用的变革。固态紫外器件的实用化，还需要在 InGaN、GaN 等紫外发光材料和以 SiC、GaN 为代表的紫外探测材料，以及关键制备工艺、封装材料等方面的技术突破。

可靠性和低成本是电力电子努力的方向。作为新一代能源技术革命，SiC 和 GaN 电力电子器件在电源转换、逆变器等应用中已经具有技术和综合成本优势，规模化生产促进价格进一步下降，将在中小功率市场快速启动，尤其在充电桩、汽车电子、光伏逆变、电源转换等领域。但目前的技术成熟度待提高、批量化生产能力、全产业链的配套能力、测试评价方法、优化的应用解决方案等方面还存在问题，需要在长期可靠性和低成本方面继续努力。SiC 器件的高耐压、大电流、高可靠和 GaN 与 Si 兼容的 IC 集成化发展将成为未来趋势。

高频和带宽是移动通信技术发展核心和主要挑战。现有主流 Si 基横向扩散金属氧化物半导体（LDMOS）技术受工作频率限制（低于 3GHz），且宽带窄、效率增益提升已接近极限，无法满足未来 5G

系统的应用需求，而 **GaAs** 则受到输出功率的限制（低于 50W）无法满足高频大功率需求。业界公认 **GaN** 功率放大器将成为移动通信基站的主流技术，正向高频率、大带宽、高效率快速演进，应用将全面启动，行业龙头大举进入，市场格局将面临重新洗牌。但目前在高频频器件的设计、制备与测试，**GaN** 射频器件的散热技术、增益提升、高度集成化等方面需要突破，是未来产业化的焦点。另外在 6GHz 以下低频及射频能量应用领域，**Si** 基 **GaN** 射频器件表现出了良好的性价比，正成为产业化热点，特别是在射频能量应用领域，通过采用可控的电磁辐射来源加热物品或为各种工序提供动能，现阶段主要采用磁控管，**Si** 基 **GaN** 射频器件可实现高功率输出（300W 以上）、低电压驱动、小尺寸高可靠的解决方案，未来将围绕全固态射频半导体形成新的产业链和应用市场。

第三代半导体材料将持续引发关注。第三代半导体材料体系在不断演进与发展，如铟镓锌氧化物半导体（**IGZO**）作为一种宽禁带半导体，**IGZO-TFT** 背板具有大尺寸、超高清（**UHD**）、超低功耗特点，有望取代目前 α -**Si TFT-LCD** 液晶显示技术，还有望用于有源矩阵有机发光二极管（**AMOLED**）等新型显示领域，苹果公司计划在 2017 年 **MacBook Pro** 产品中采用。另外宽禁带复杂氧化物、氮化硼等材料也在逐渐步入应用视野，**MoS₂**、二维 **GaN** 等二维材料特性作为前沿性、基础性研究也引起了广泛关注。第三代半导体材料所具有的独特性能，面对新时代、新环境、新需求，有望突破传统半导体技术的瓶颈，开拓新技术应用领域，与第一代、第二代半导体技术互补，对经

济社会发展将发挥重要的推动作用。

绿色低碳发展已经成为全球的共识，中国已经成为目前全球最大的半导体照明产品的生产基地和消费市场，在光电子、电力电子、微波射频等领域还有巨大的科技创新和产业化机会。但相对于美国、日本等国家在核心材料、芯片方面的长期积累，中国第三代半导体产业发展面临极大的挑战。第三代半导体产业属于技术和资金双密集型产业，特别是 SiC 和 GaN 材料和芯片大量应用于军事领域，中国在技术和人才方面将面临国外的部分封锁，在美国政府以“国家安全”为由阻止金沙江收购 Lumileds、宏芯投资基金收购德国 Aixtron 后，2016 年 10 月 31 日，美国总统科学和技术顾问委员会（PCAST）宣布成立一个新的工作组，将专注于半导体行业所面临的核心挑战，提出加强行业和维护美国在全球领导地位的建议。2017 年 1 月 6 日，美国白宫发表报告《给总统的报告：维持美国在半导体行业的领军地位》称，中国的半导体技术发展已经威胁到了美国的芯片制造商和美国的国家安全，并建议对中国芯片产业采取更严密的审查，这些都显示了中国企业在美国高科技领域所面临的重重障碍以及美国在高科技领域对中国的封锁。

联盟简介

第三代半导体产业技术创新战略联盟（以下简称“联盟”）是在国家科技部、工信部、北京市政府的支持下，由第三代半导体相关科研、院校、行业优势企业等单位自愿发起，于2015年9月9日在北京正式成立，是第三代半导体及相关新兴产业提供全方位创新的新兴组织。

联盟通过构建以应用为牵引的产业创新体系，突破材料、工艺、器件、装备及应用全产业链核心技术，建设研发、产业、市场和资本深度融合的第三代半导体生态系统；构建创新链和产业链，抢占技术和产业制高点，引领全世界的跨学科、跨行业、跨区域 的第三代半导体创新价值链，重塑全球半导体产业发展格局。

联盟研究咨询服务

集聚超过300人的国内外专家智库，超过10年专业化的半导体行业研究咨询团队，为企业解决发展中的难题，第三代半导体产业的科技研究型咨询服务平台

- 1、细分领域产业研究报告
- 2、技术方案、产线方案的可行性研究报告
- 3、产品和技术路线方案的测试分析及失效分析报告
- 4、知识产权分析、价值评估报告
- 5、根据企业需求，提供国内外合作机构、团队对接和深度合作
- 6、为企业提供产品设计评审、确认、咨询、鉴定的第三方专业化服务



CASA

第三代半导体产业技术创新战略联盟
China advanced semiconductor industry
innovation alliance

第三代半导体产业技术创新战略联盟

CHINA ADVANCED SEMICONDUCTOR INDUSTRY INNOVATION ALLIANCE

中国·北京市海淀区清华东路甲35号中科院半导体研究所院内5号楼5层(100083)
No.A35, QingHua East Road, Haidian District, Beijing P R China(100083)
联系人：赵璐冰
TEL:13811834546
E-mail：zhaolb@china-led.net
www.casa-china.cn

