

第三代半导体产业

发展现状趋势及发展战略

第三代半导体产业技术创新战略联盟 理事长

国家半导体照明工程研发及产业联盟 秘书长

吴 玲 • 2017年09月23日



目录

1

意义和必要性

2

现状及趋势

3

机遇挑战及发展战略

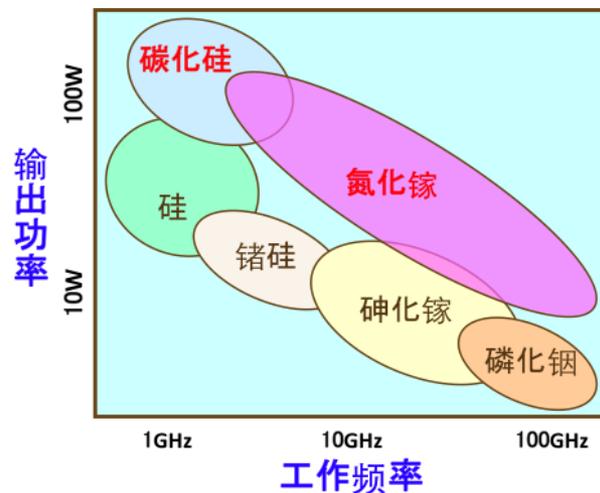
第三代半导体特征及应用

- 第一代 硅 (Si) 等奠定微电子产业基础；
- 第二代 砷化镓 (GaAs) 等奠定信息产业基础；
- 第三代半导体支撑**绿色、低碳、智能社会**的可持续发展。

材料：氮化镓、碳化硅、金刚石等。

始于1990年代

氮化镓、碳化硅等 ($>2\text{eV}$)



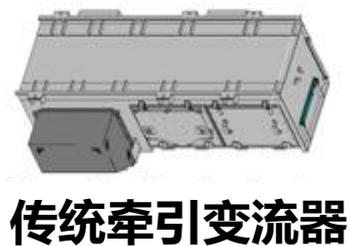
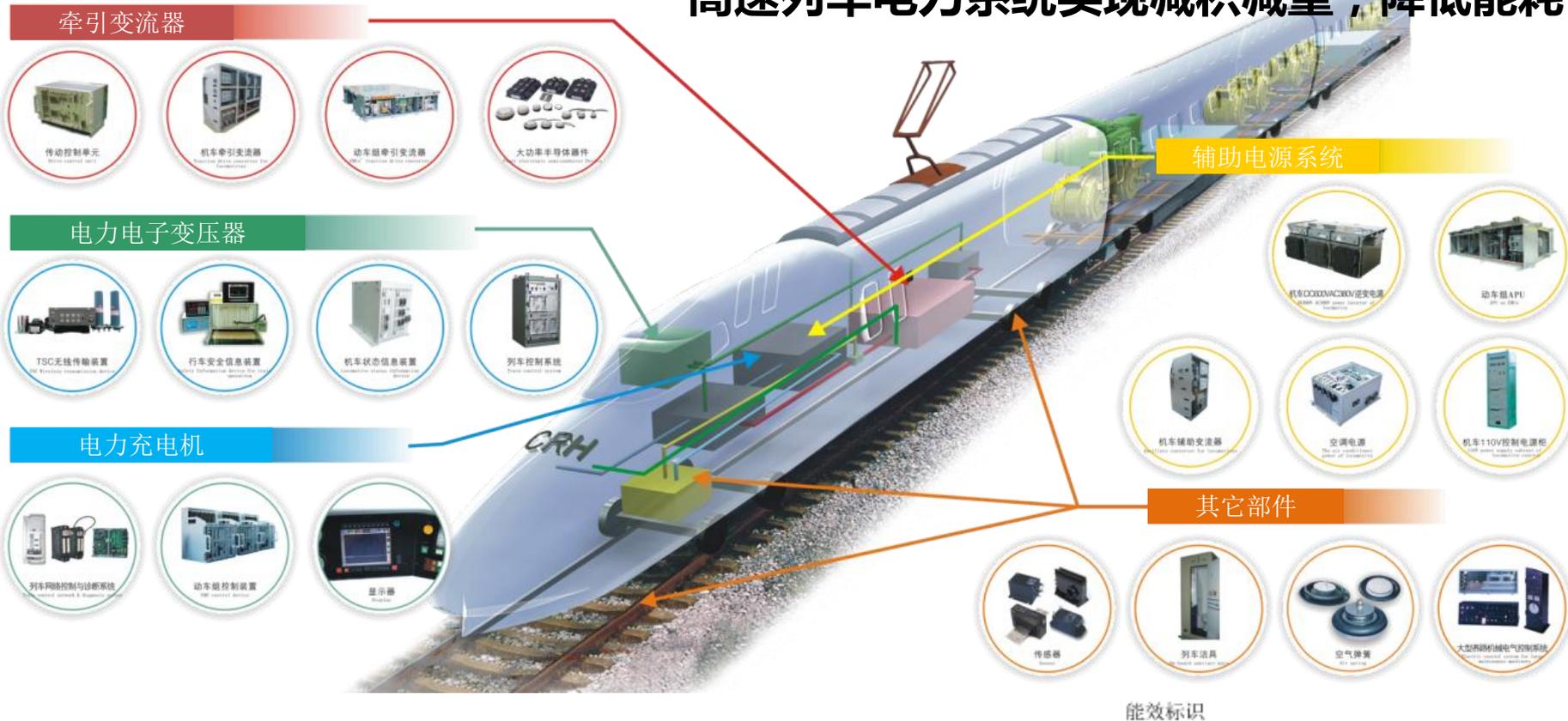
一代材料 一代装备 一代应用



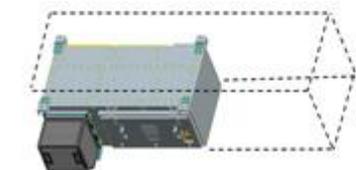
- 碳化硅是目前已知的可达到万伏千安等级（全球能源互联网必需的超特高压柔性直流输电）的唯一的功率半导体材料；
- 氮化镓是目前能同时实现高频、高效、大功率（5G通信要求频率覆盖到40GHz以上，输出功率几瓦到几百瓦）的唯一材料；
- 以氮化镓为代表的氮化物是唯一覆盖可见光到紫外波长范围的半导体发光材料体系。

支撑节能环保，应对能源与环境面临的严峻挑战

高速列车电力系统实现减积减重，降低能耗



传统牵引变流器

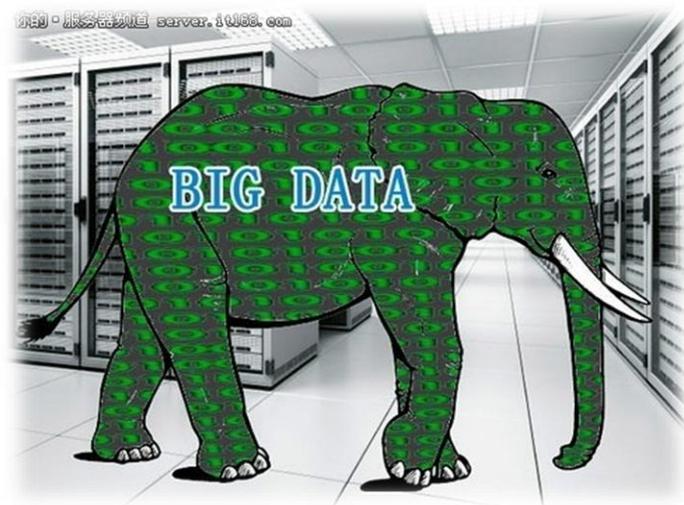


SiC牵引变流器



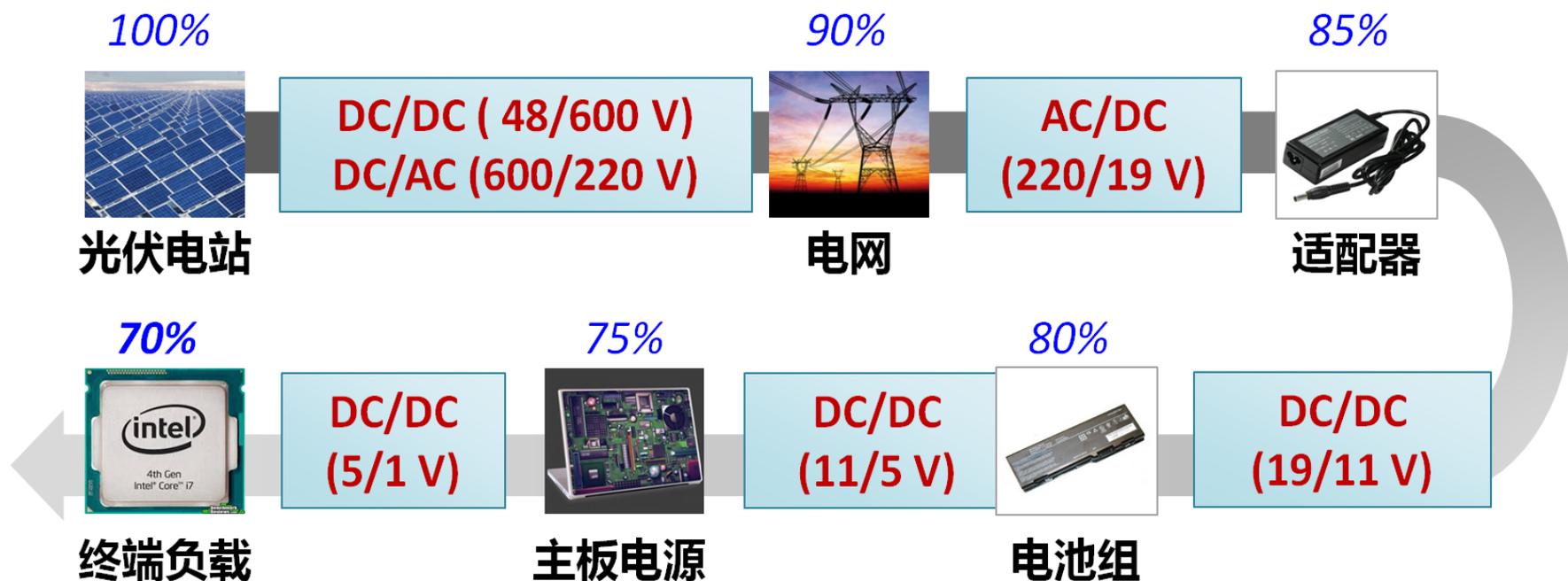
支撑节能环保，应对能源与环境面临的严峻挑战

- 一个数据中心耗能相当于一个中等城市。
降低能耗是互联网技术可持续发展面临的
最大挑战，可在能源转换过程中节能80%
以上；
- 第三代半导体技术存储密度比普通存储高出上千倍，可满足大数据时代的海量数据存储要求；
- 可应用在机器人电能管理、物联网等领域。



支撑节能环保，应对能源与环境面临的严峻挑战

- 用于工业电机、消费类电子等方面的**通用电源**，比现有硅技术的**节能优势明显**；
- GaN器件可在每个变电环节减少2-3%的电能损耗，**从电站到终端负载可节电10-15%**；2030年我国总发电量将达到10万亿度，如果GaN器件实现30%市场替代率，可节电约3000亿度。



开启万物互联，支撑智能社会发展



- 为移动通信、卫星通信提供峰值10Gbps以上的带宽、毫秒级时延和超高密度连接的核心器件；
- 为移动终端、智能设备提供低能耗、小型化、便携式的供电系统。

提升航空航天能力，避免受制于人

- 一部雷达造价2亿多美元，70%为器件，使用数万个全固态X波段8W GaAs MMIC，采用X波段16W的GaN MMIC升级，将实现精度更高、距离更远
- 使用高频、高可靠、长寿命、工作温度范围宽、抗辐照能力强的第三代半导体功率器件可以有效降低航空航天电源及配电分系统的重量和体积，起到抵抗极端环境和降低能耗的作用。



目录

1

意义和必要性

2

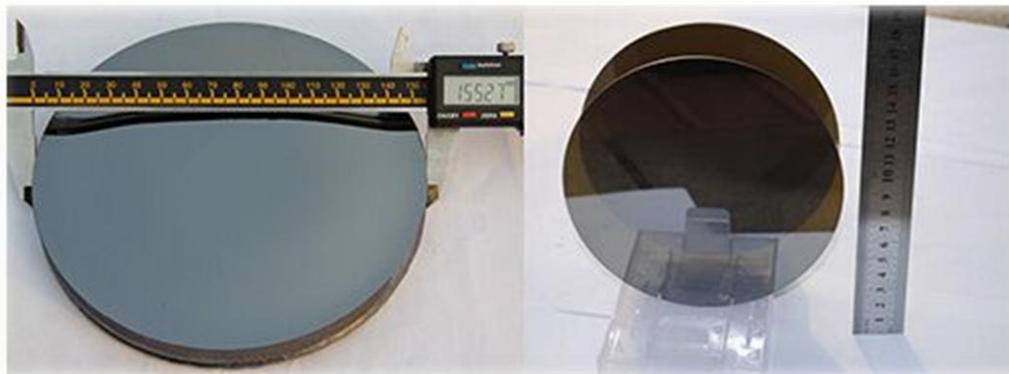
现状及趋势

3

机遇挑战及发展战略

国际技术快速进步：SiC衬底、外延与器件技术

- SiC衬底：4英寸、6英寸，开始研发8英寸。
- SiC外延：6英寸外延片已经产业化，外延速率最高可以达到 $170\mu\text{m}/\text{h}$ ， $100\mu\text{m}$ 以上的高厚度外延片缺陷密度低于 0.1cm^{-2} ；
- SiC器件：SBD、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，IGBT芯片样品，最高耐压水平已经超过20 kV量级。



国际技术快速进步：GaN技术衬底与外延

- 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；
- 采用SiC衬底的GaN外延片已实现产业化。用于微波射频GaN高电子迁移率晶体管（HEMT）。

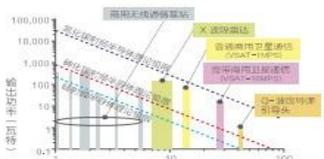
晶体管（HEMT）。



世界科技的两大趋势

推动功率半导体由硅发展为氮化镓

氮化镓应用在微波领域的优势



氮化镓应用在电力电子领域的优势

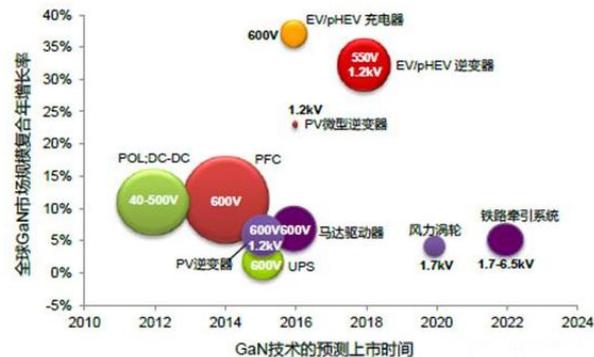
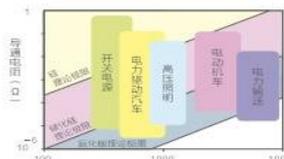


图11：氮化镓（GaN）主要应用的预期潜在市场 数据来源：Yole Development

GaN器件技术

- **GaN电力电子器件**：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**：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**：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衬底产业化大功率GaN LED芯片产品，光效达到130-140 lm/W。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。
- **在紫外探测器**：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）已报道了单光子探测。

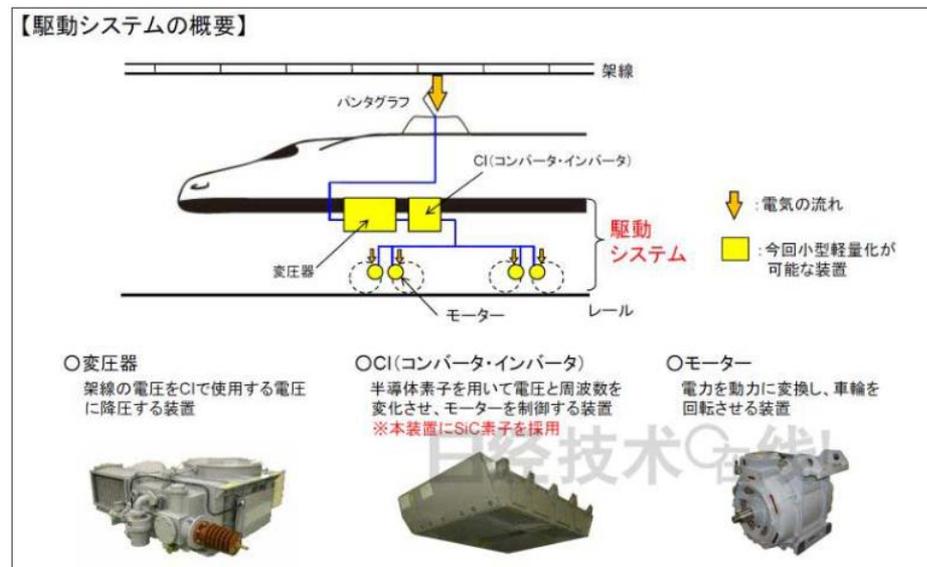
示范应用取得突破 — 新一代移动通信

- 英飞凌2015年9月8日宣布，开发出了用于第5代（5G）无线通信基础设施装置等的GaN（氮化镓）功率晶体管，并已开始样品供货。
- 该产品采用GaN ON SiC基板，采用HEMT结构，频率范围为1.8GHz~2.2GHz和2.3GHz~2.7GHz。
- 与现有LDMOS功率晶体管相比，效率高**10%**，功率密度高**5倍**。
- 使用该产品可减小无线通信装置的体积和损耗。



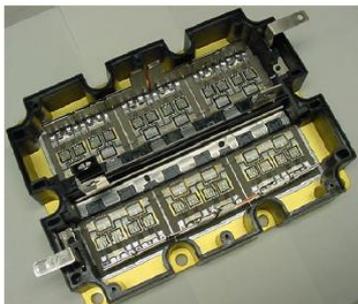
示范应用取得突破 — 高铁

- 日本高铁应用：
使用SiC的转换器和逆变器后，
与现有的N700系相比，每节
车厢的逆变器的重量由约
1500kg减至约1000kg。



- 変圧器の重量由約3600kg减至约**3500kg**；
- 马达重量由约400kg减至约**350kg**；
- 每节车厢的驱动系统重量由N700系的约58吨减至约47吨，减重约**20%**。

示范应用取得突破 — 能源互联网



10kV/120A SiC
half H-Bridge
module



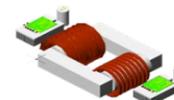
固态变压器

Application: 1 MVA single phase, 4 stages
solid state power substation (SSPS) using 10kV/120A
SiC half H-bridge modules



Low Frequency Conventional
Transformer (analog)

- 2.7MVA
- 13.8kV/450V (Δ/Y) 60Hz
- 6 tons/each
- 10 m³/each
- fixed, single output



Estimated SiC-based Solid State
Power Substation (digital)

- 2.7 MVA
- 13.8kV/465V (Δ/Y) 20 kHz
- 1.7 tons/each
- 2.7 m³/each
- multiple taps/outputs



开发的逆变器



双面冷却型全SiC模块



芯片并行连接结构

采用碳化硅功率器件的产品，其电力损耗削减**60%**，
相同体积下的电力容量扩大了约**2倍**。

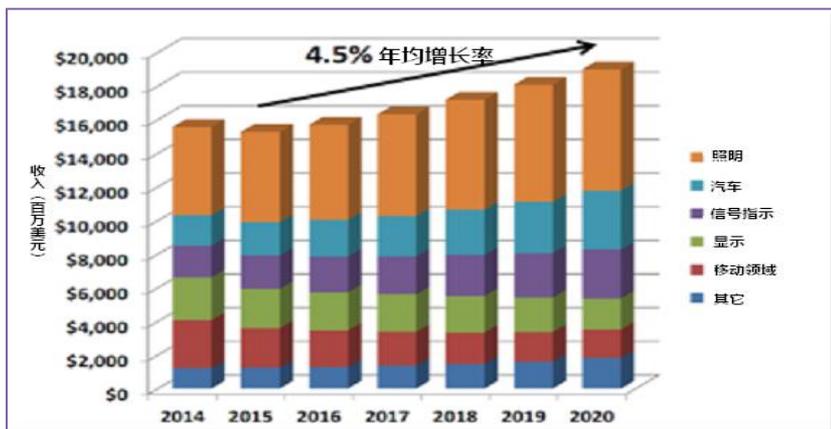
全球第三代半导体产业格局

电力电子领域：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。呈现美国、欧洲、日本三足鼎立态势。

- **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
- **日本：**是设备和模块开发方面的绝对领先者，主要有**罗姆、三菱电机**、富士电机、松下、东芝、日立等企业。
- **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SiC器件的企业不多，主要推动者是三星。

国际市场规模及前景

- 2016年SiC电力电子市场规模在**2.1-2.4亿美元**之间，GaN电力电子市场规模在**2000万-3000万**之间。预计全球SiC市场2016-2021年的复合增长率将达到**19%**，GaN功率器件在未来五年复合年增长率将达到**86%**；
- GaN射频器件市场在未来五年里将扩大至目前的**2倍**，市场复合年增长率将达到**4%**，据此推算，2025年GaN市场射频器件市场额将有望超过**30亿美元**；
- 在光电领域，2015年LED器件营收约**147亿美元**，照明仍是主流应用，约占**30%以上**，预计2020年超过**180亿美元**。



全球LED器件市场规模及预测



2015 ~ 2021年SiC器件市场规模

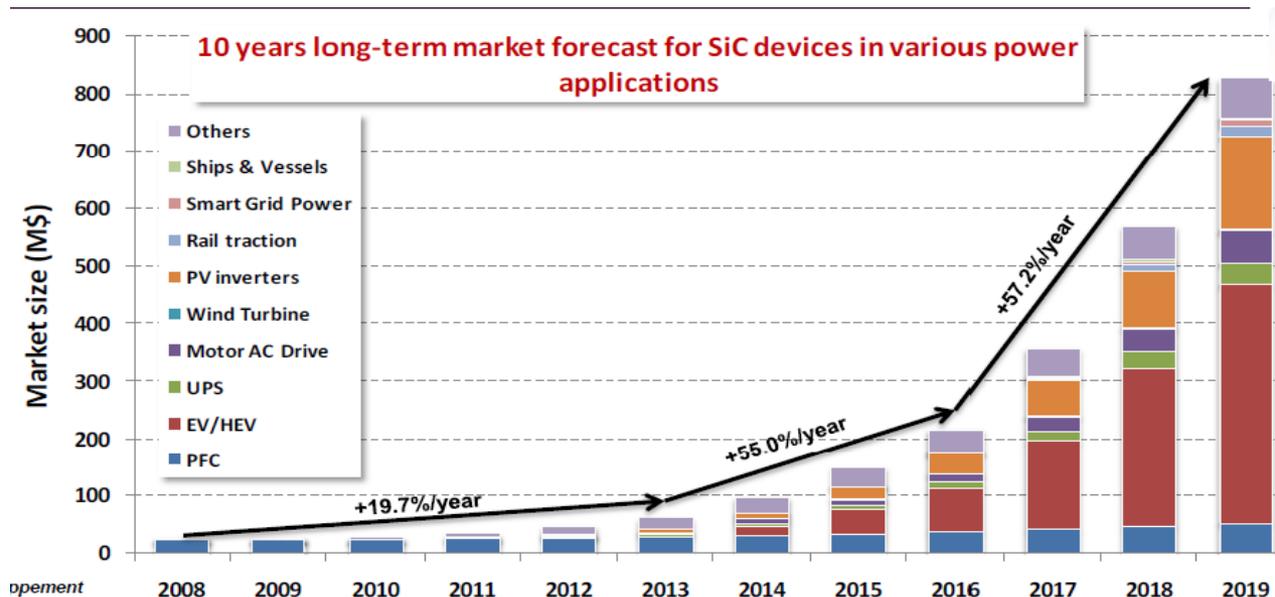
功率器件技术的发展趋势

预测到2019年：

- 电动汽车/混合电动汽车的份额占**50%**；

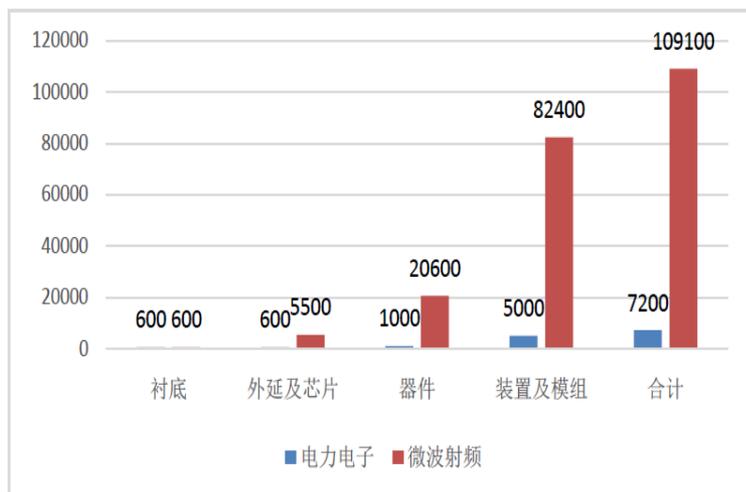
(目前，挪威、荷兰、挪威已经决定从2025年起禁售燃油车，德国2030年禁售传统内燃机汽车，英国和法国的过渡时间则较长一些,全面停售汽油车和柴油车的时间点推迟到了2040年) ；

- 光伏逆变器约占**20%**。

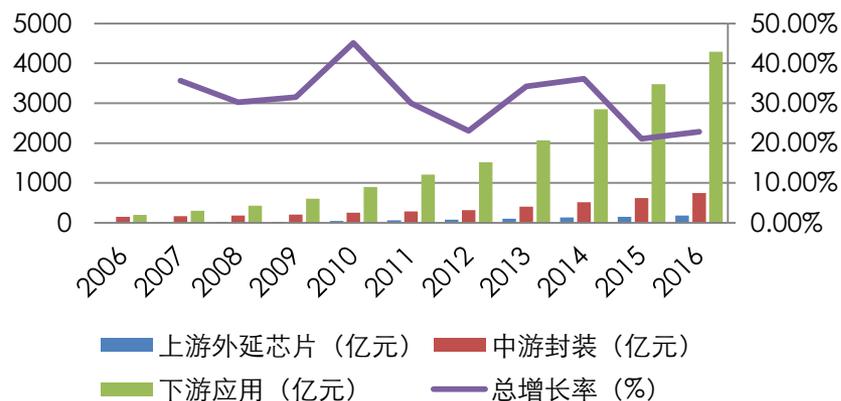


我国市场规模及前景

- 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**0.72亿元**，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**；
- 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；
- 2016年，我国半导体照明产业产值达到**5216亿元**，今年有望突破**6000亿**。



2016年我国SiC、GaN电力电子产业和微波射频产业产值（万元）



我国半导体照明产业各环节产业规模及增长率

我国第三代半导体产业发展现状

京津冀研发力量全国最强，超越照明已经开始布局具有完整的SiC产业链条，应用资源集中，装备研发制造能力强

长三角智能照明集中，GaN链条比较完备

珠三角半导体照明通用照明集中、消费及工业电子产业市场最大

• 国家电网：启动SiC中试线建设

• 中车：启动SiC中试线建设

• 十三所：微波射频器件已用于国防

• 中兴、华为：在4G系统中采用GaN微波射频器件

• 西部地区：如成都等城市的企业和科研院所也开始布局



投资热潮初现

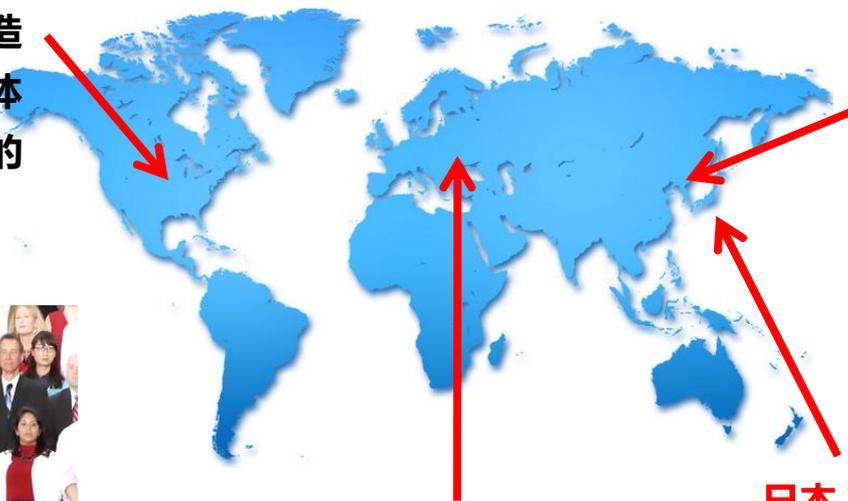
- 据初步统计，2015年下半年至2016年底已经立项（已经环评公示）的第三代半导体相关项目达**18项**，总投资金额近**180亿元**，共涉及投资主体企业**15家**，2017年青铜剑等5家公司加大了投资的力度；
- 从投产时间来看，绝大部分SiC、GaN项目尚在建设中，加上设备调试和技术磨合时间，预计产能真正发挥作用将要到2018年，届时产业发展速度将显著提速。

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	江苏瀚洋顺昌金属材料股份有限公司	瀚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	年产高氮氮化镓外延片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	功率半导体器件实验室氮化硅基产业化建设项目	34,188
2016.07	山东科恒晶体材料科技有限公司	年产12000片2英寸氮化镓单晶片项目	10,318
2016.08	青海砂砾电子科技有限公司	第三代半导体碳化硅材料产业化项目	22,600
2016.08	北京世环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	北京国瑞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器件生产项目	150,000

国外：各国政府加紧部署

第三代半导体材料及应用已进入爆发式增长期，将深刻改变全球半导体产业格局，美、日、欧、韩高度重视，部署国家计划抢占战略制高点，我国发展第三代半导体材料及应用刻不容缓。

美国：2014年奥巴马宣布成立下一代电力电子技术国家制造业创新中心，将第三代半导体产业做为重振美国能源经济的重要抓手。



韩国：2011年“绿色LED照明普及发展方案”及“LED照明2060规划”。

欧盟：ECSEL规划在2012-2015年间，共投入2.5亿欧元。

日本：NEDO正在组织由2014年度诺贝尔物理学奖获得者名古屋大学天野浩教授牵头的第三代半导体功率电子器件国家重点科技项目。

2016年世界各国重大举措

地区	主体	方式	内容
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。

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。

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。
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。

我国政府高度关注

- 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，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，部署了11个研究方向，并在2016年和2017年分两批启动；
- 2016年，国务院印发《“十三五”国家科技创新规划》，发布面向2030年的6项重大科技项目和9项重大工程，第三代半导体作为重点新材料研发及应用重大工程的重要部分，有望于今年启动；
- 北京、广东等地方政府将第三代半导体列为科技计划专项进行支持，并启动相关基金。



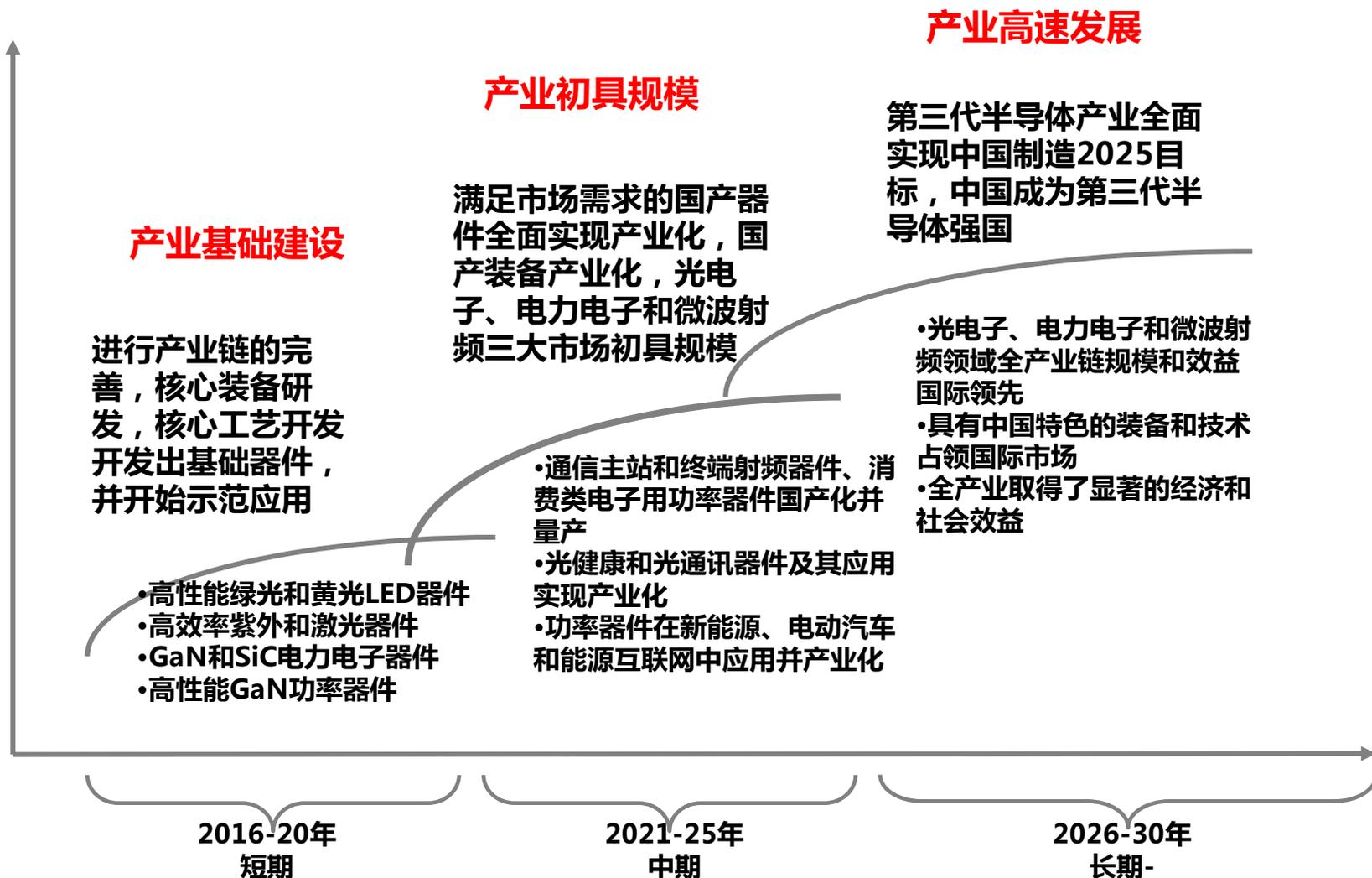
2016年国内重大政策

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、微波光电子等技术及器件的研发。
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。

产业发展预测



目录

1

意义和必要性

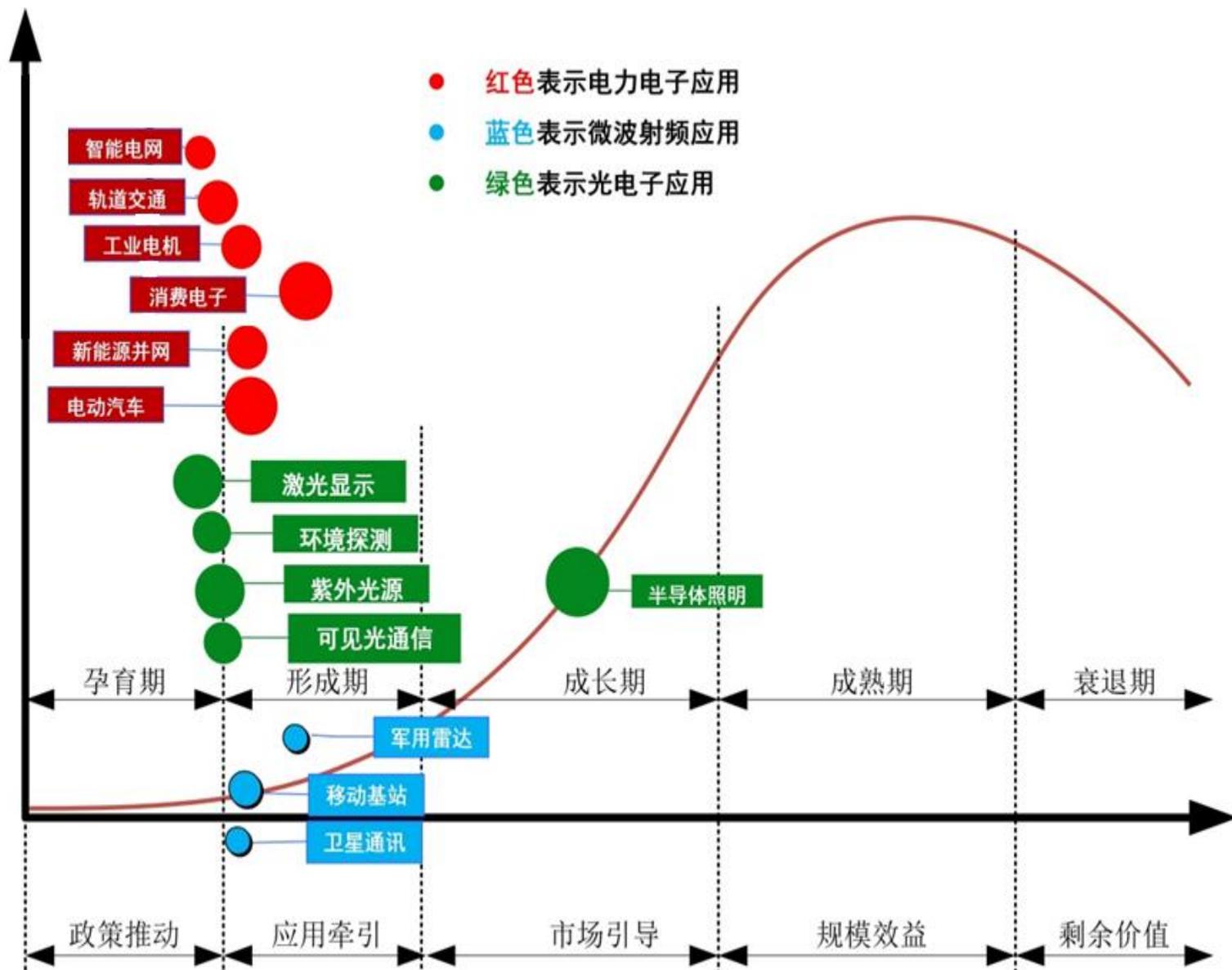
2

现状及趋势

3

机遇挑战及发展战略

第三代半导体产业处于最佳窗口期



中国在第三代半导体应用领域有**明显优势**

➤ 恩格斯的名言：

“社会一旦有技术上的需要，则这种需要就会比10所大学更能把科学推向前进”

- **全球最大、最复杂、发展最快的能源互联网建设，特高压远距离输电、新能源并网、电网控制等技术；**
- **全球最高运营速度、最长运营里程、最佳效益高速轨道交通；**
- **全球增长最快和最大的新能源汽车市场；**
- **全球最大规模的4G和5G移动通信；**
- **全球产能最大、市场最大的半导体照明及超越照明；**
- **全球用户最多、规模最大的、多元化梯度式的工业电机及消费电子市场。**

中国的需求吸引了全球厂商的目光，促成了他们产品向中国的输出；

中国的科技和产业工作者有责任、有能力先于任何人满足这种需求

第三代半导体创新发展的时机已经成熟

- 窗口期：国际半导体产业和装备巨头**还未形成专利、标准和规模的垄断**；
- 中国精密加工制造技术和配套能力的迅速进步，特别是有01、02专项的**基础，具备开发并逐步主导该产业的能力和条件**；
- 各地产业转型升级的需要，使产业界、投资界高度关注第三代半导体技术的发展，是产业创新发展的**动力和源泉**；
- 具有中国特色的“**政产学研用**”**协同创新**模式，为第三代半导体产业的发展提供了可借鉴的经验和**成功的可能性**。



面临的挑战

创新链不通，缺乏有能力落实全链条设计、一体化实施的牵头主体。

缺乏体制机制创新的、开放的公共研发、服务及产业化中试平台。



持续稳定的研发投入少、分散且不连续，核心材料、器件原始创新能力薄弱。

缺乏稳定持续的团队培养与建设，人才结构性缺失；产业创新体系和生态环境不完善。

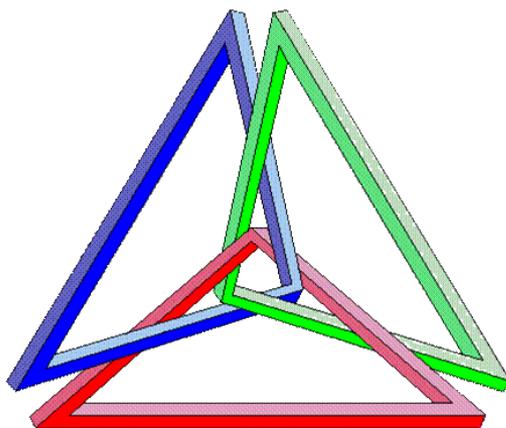
发展战略

- 全国一盘棋，发挥区域优势，差异化布局，**全链条设计、一体化实施**；
- 充分发挥**企业在决策、投入和成果转化**方面主体作用，**需求牵引**，以**系统创新**推动材料和器件创新；
- **上游材料器件突破、中游系统领先、下游应用主导**；
- 依托联盟构建**利益共同体**和**研发、产业、资本协同创新发展模式**；
- **全球视野，战略高度**，全面深度整合国际资源。



构建第三代半导体健康的产业生态体系

提升价值链
技术支撑
公共研发平台
联合实验室+众创空间



对接资本链
金融联动
金融服务平台
产业基金+VC+天使投资+上市公司

完善服务链
国际化资源共享平台

小 结



- 第三代半导体是**支撑**国家重大战略需求，实现**引领发展**，**重塑全球**半导体**战略格局**的重大选择；
- 需要**创新来引领**，**改革来推动**，形成产业创新体系和**可持续发展的**生态环境；
- 从战略高度，全面、深入整合和利用**国际资源**；
- 志存高远，建立信任，实现共赢，从利益共同体到命运共同体。





我们的中国梦：

把握变革的机会，成就伟大的事业！

敬请批评指正，谢谢！