

# 碳化硅设备行业深度报告： SiC东风已来，关注衬底与外延环节的材料+ 设备国产化机遇【勘误版】

证券分析师：周尔双

执业证书编号：S0600515090001

[zhoues@dwzq.com.cn](mailto:zhoues@dwzq.com.cn)

证券分析师：刘晓旭

[liuxx@dwzq.com.cn](mailto:liuxx@dwzq.com.cn)

研究助理：李文意

[liwenyi@dwzq.com.cn](mailto:liwenyi@dwzq.com.cn)

2023年9月14日

## 1. 关键假设、驱动因素及主要预测

### 关键假设：

1) 新能源汽车渗透率持续提升，SiC迎来上车导入期；2) 国产材料商、设备商市场份额逐步提升。

### 驱动因素：

1) 新能源汽车渗透率持续提升，我们预计未来三年全球装机量CAGR约30%。

2) 衬底环节：国产SiC衬底片厂商良率持续提升、降低衬底成本，提升SiC应用渗透率；长切磨抛设备商打破国外垄断，加速国产化。

3) 外延环节：国外外延设备产能不足、交期缓慢，利好国产替代。

### 主要预测：

1) 我们预计到2025年全球/国内6寸碳化硅衬底片新增市场空间约380/156亿元，2023-2025年CAGR为78%/90%。

2) 我们预计到2025年全球/国内6寸碳化硅单晶炉新增市场空间约100/40亿元，2023-2025年CAGR为63%/75%。

3) 我们预计到2025年全球/国内6寸碳化硅切片设备新增市场空间约30/13亿元，2023-2025年CAGR约48%/58%。

4) 我们预计到2025年全球/国内6寸碳化硅磨抛设备的市场空间约56/23亿元，2023-2025年CAGR约81%/94%。

5) 我们预计到2025年全球/国内6寸碳化硅外延炉新增市场空间约130/53亿元，2023-2025年CAGR约75%/88%。

6) 我们预计到2025年全球/国内6寸碳化硅激光切割设备新增市场空间约5/2亿元，2023-2025年CAGR约60%/71%。

## 2. 我们与市场不同的观点

1) 从行业趋势看，SiC上车是大势所趋。全球已有多家车企的多款车型使用SiC，2018年特斯拉率先在Model 3上搭载SiC，从此拉开了碳化硅大规模上车序幕，蔚来、比亚迪、吉利、现代汽车等车企纷纷跟进。

2) 衬底材料端良率提升是关键，设备端生长、切片、研磨抛光各环节国产化率逐步提升。目前衬底的材料端与国外龙头差距主要在于良率，设备端国内长晶已基本实现国产化，切片&研磨抛光国产化率有待进一步提升。

3) 外延设备由国外设备商主导，未来2-3年有望快速实现国产替代。意大利LPE、德国爱思强、日本的Nuflare占比达80%+，设备核心壁垒在于气体流量的控制，国内晶盛机电、北方华创等均在积极推进国产替代。

## 3. 股价催化剂：SiC衬底&外延持续扩产，国产设备商订单落地，设备国产化率提升。

## 4. 风险提示：新能源车销量不及预期的风险、碳化硅渗透率提升不及预期的风险、SiC设备国产化率提升不及预期、各家厂商技术研发不及预期。

- **SiC行业概况：**第三代半导体材料性能优越，新能源车等场景带动SiC放量。碳化硅（SiC）具有更高热导率、高击穿场强等优点，适用于制作高温、高频、高功率器件，新能源汽车是未来第一大应用市场，2027年新能源汽车导电型SiC功率器件市场规模有望达50亿美元，占比高达79%，全球已有多家车企的多款车型使用SiC，例如特斯拉、蔚来、比亚迪等，SiC迎来上车导入期。SiC产业链70%价值量集中在衬底和外延环节，其中衬底、外延成本分别占整个器件的47%、23%，后道的器件设计、制造、封测环节仅占30%。
- **SiC衬底：**材料端良率提升是关键，设备端生长、切片、研磨抛光各环节国产化率逐步提升。  
**(1) 衬底：**随着下游持续扩产，我们预计全球/国内6寸碳化硅衬底片新增市场空间约380/156亿元，海外龙头起步较早，根据Yole，2020年海外厂商Wolfspeed等CR3达78%，国内龙头天科合达、天岳先进分别仅为3%，国内SiC衬底良率较低约50%，而海外龙头良率已达85%左右。  
**(2) 长晶：**物理气相传输（PVT）最成熟，难点在于温度控制、杂质控制、生长速度缓慢等，随着国内SiC衬底加速扩产，我们预计2025年全球/国内6寸碳化硅单晶炉新增市场空间约100/40亿元，国内厂商已经较好的实现了碳化硅单晶炉的国产化，其中北方华创市占率超50%，晶升股份市占率约28%，晶盛机电设备自产自用。  
**(3) 切片：**金刚线切割效率高、污染少，正逐渐代替砂浆切割，激光切片损耗少、效率高，有望替代金刚线成为新一代主流切割技术，我们预计到2025年全球/国内6寸碳化硅切片设备新增市场空间约30/13亿元，金刚线切割方面高测股份已推出分别兼容4-8英寸的SiC金刚线切片机并持续推进国产替代，激光切割方面大族激光和德龙激光市场份额各占约50%。  
**(4) 研磨抛光：**我们预计2025年全球/国内6寸碳化硅磨抛设备的市场空间约56/23亿元，DISCO为龙头，国内迈为股份对标DISCO，推动设备国产化。
- **SiC外延：**国外设备商主导，未来2-3年有望快速实现国产替代。SiC外延需严格控制缺陷，工艺难度大，我们预计2025年全球/国内6寸碳化硅外延炉新增市场空间约130/53亿元，目前以意大利LPE（水平气流）、德国爱思强（垂直气流）、日本的Nuflare（垂直气流）为主，其MOCVD设备的核心差异是对气体流量的控制，国内晶盛机电、北方华创、芯三代、中电48所和深圳纳设智能等均在积极推进国产替代。此外在外延完成后，SiC仍需要激光划片进行晶圆的切割，我们预计2025年全球/国内6寸碳化硅激光切割设备新增市场空间约5/2亿元，国内德龙激光、大族激光市占率各50%。
- **投资建议：**重点推荐晶盛机电（SiC衬底片&外延炉）、迈为股份（SiC研磨机）、高测股份（SiC金刚线切片机）、德龙激光（SiC激光切片&划片机）、北方华创（SiC长晶炉&外延炉），建议关注晶升股份（SiC长晶炉）、大族激光（SiC激光切片&划片机）、纳设智能（未上市，SiC外延炉）等。
- **风险提示：**新能源车销量不及预期的风险、碳化硅渗透率提升不及预期的风险、SiC设备国产化率提升不及预期、各家厂商技术研发不及预期。

# 目录



1 SiC行业概况：第三代半导体材料性能优越，新能源车等场景带动SiC放量

2 SiC衬底：材料端良率提升是关键，设备端生长、切片、研磨抛光各环节国产化率逐步提升

3 SiC外延：国外设备商主导，未来2-3年有望快速实现国产替代

4 本土重点公司

5 投资建议

6 风险提示

- **第一代半导体（间接带隙&窄带隙）**：1950年起，以硅（Si）为代表的半导体材料取代了笨重的电子管，推动了以集成电路为核心的微电子产业迅速发展。硅材料属于间接带隙（电子跃迁至导带时需要改变动量，光利用率低）且带隙窄（不耐压），适用于低压、低频、中功率集成电路，在光电子领域和高频高功率器件方面受限。
- **第二代半导体（直接带隙&窄带隙）**：1990年起，以砷化镓（GaAs）、磷化铟（InP）为代表的半导体材料崭露头角，属于直接带隙且具有相对宽的带隙，载流子速度更快、噪音更低。其适用于制作高速、高频、大功率以及发光电子器件，但受限于材料本身，难以满足更高功率、更高电压、更高频率的器件需求。
- **第三代半导体（直接带隙&宽带隙）**：近年来，以氮化镓（GaN）、碳化硅（SiC）为代表的半导体材料备受关注，直接带隙&宽带隙的物理特性使其具有更高热导率（2倍+）、高击穿场强（~10倍）、高饱和电子漂移速率（~2倍）等优点，适用于制作高温、高频、高功率器件，在国防、新能源汽车、光伏储能等领域有广泛应用。

## ◆ 图：半导体材料从第一代到第三代的发展过程

第一代  
半导体

主要材料：Si、Ge

材料特点：低电压、低频、中功率

应用领域：电子信息、新能源、光伏产业等

第二代  
半导体

主要材料：GaAs、InP等砷化物和磷化物

材料特点：高频、低噪声

应用领域：无线通信、光通讯以及国防军工

第三代  
半导体

主要材料：SiC、GaN、ZnO、金刚石等

材料特点：禁带宽度高

应用领域：国防、新能源汽车、光伏储能等

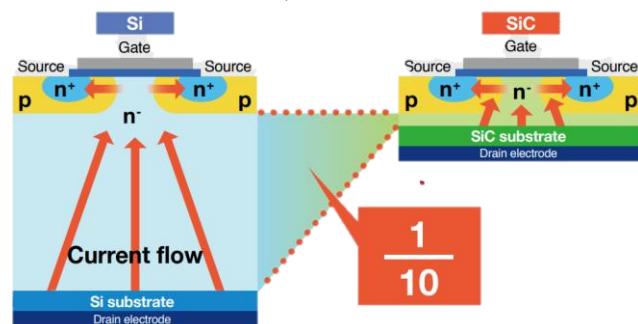
## ◆ 图：半导体材料性能对比

项目	第一代	第二代	第三代	
	Si	GaAs	4H-SiC	GaN
禁带宽度(eV)	1.12	1.43	3.2	3.4
饱和电子漂移速率( $10^7 \text{cm/s}$ )	1.0	1.0	2.0	2.5
热导率( $\text{W/cm}^* \text{K}$ )	1.5	0.54	4	1.3
击穿电场强度( $\text{MV/cm}$ )	0.3	0.4	3.5	3.3
电子迁移率( $\text{cm}^2/\text{V*s}$ )	1350	8000	3000	2000

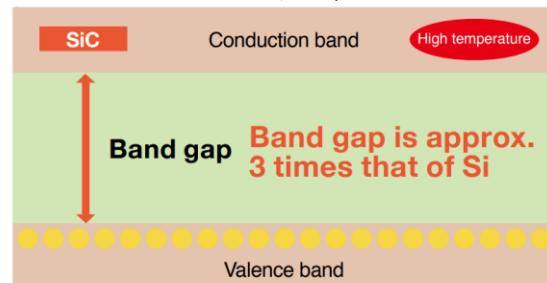
- SiC作为第三代半导体材料具备诸多显著优势：（1）耐高压：SiC材料相比于Si材料具有10多倍的击穿场强，因此可以通过更低的电阻率和更薄的漂移层实现更高的击穿电压，相同的耐压值下，SiC功率模块导通电阻/尺寸仅为Si的1/10，功率损耗大幅减少。（2）耐高频：SiC材料不存在电流拖尾现象，能够提高元件的开关速度，是硅（Si）开关速度的3-10倍，从而适用于更高频率和更快的开关速度。（3）耐高温：SiC材料具有禁带宽度大(约Si的3倍)、热导率高(约Si的3.3倍)，熔点高(2830°C，约Si-1410°C的两倍)的特点，因此SiC器件在减少电流泄露的同时大幅提高工作温度。

## ◆ 图：第三代SiC和第一代Si材料性能对比

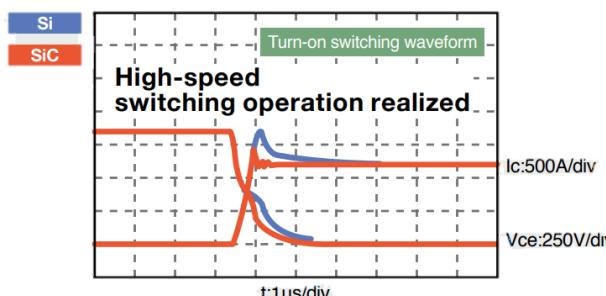
### a.低功耗：SiC器件导通电阻仅为Si的1/10



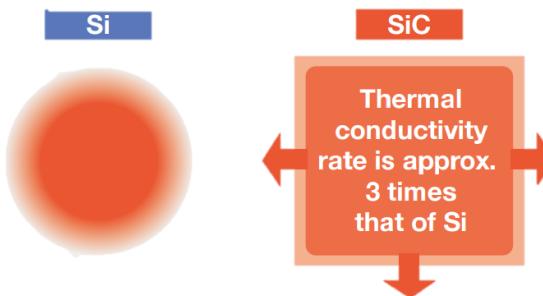
### b.耐高温：SiC 的带隙宽度是Si的3倍，可防止漏电流流动并可在高温下运行



### c.高速开关：SiC高电子迁移率更高，开关快



### d.散热：SiC的热导率约是Si的3倍，散热快



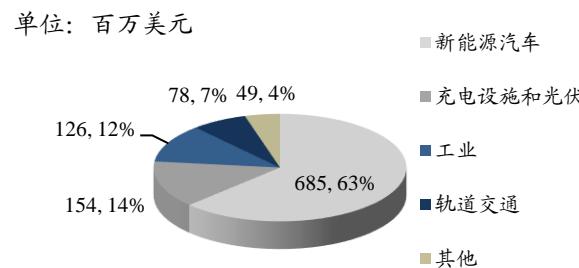
# 1.3 新能源汽车+光伏发电双轮驱动碳化硅产业放量

- 新能源汽车和光伏发电领域是SiC器件主要应用场景。  
(1) 新能源汽车：SiC器件主要应用在PCU（动力控制单元，如车载DC/DC）和OBC（充电单元），相比于Si器件，SiC器件可减轻PCU设备的重量和体积，降低开关损耗，提高器件的工作温度和系统效率；OBC充电时，SiC器件可以提高单元功率等级，简化电路结构，提高功率密度，提高充电速度。  
(2) 光伏发电领域：SiC材料具有更低的导通电阻、栅极电荷和反向恢复电荷特性，使用SiC-Mosfet或SiC-Mosfet与SiC-SBD结合的光伏逆变器，可将转换效率从96%提升至99%+，能量损耗降低50%+，设备循环寿命提升50倍。
- 新能源汽车是未来第一大应用市场。2027年全球导电型SiC功率器件市场规模有望达63亿美元，2021-2027年CAGR达34%；2027年新能源汽车导电型SiC功率器件市场规模有望达50亿美元，占比高达79%。

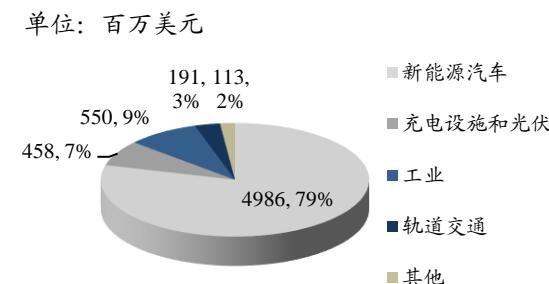
## ◆ 图：SiC的主要器件和广泛应用场景



## ◆ 图：2021年导电型SiC器件市场规模



## ◆ 图：2027年导电型SiC器件市场规模



# 1.4 全球已有多款SiC车型量产交付，SiC迎来上车导入期

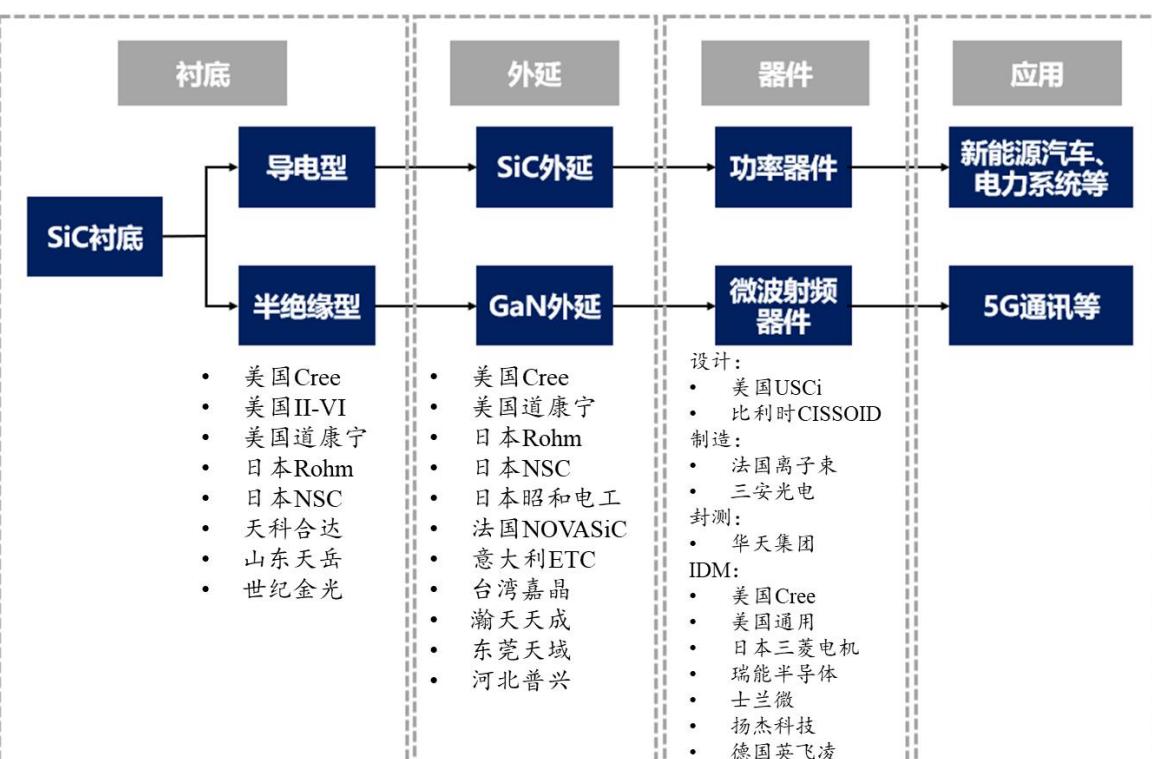
- 全球已有多家车企的多款车型使用SiC。2018年特斯拉率先在Model 3上搭载SiC，从此拉开了碳化硅大规模上车序幕，蔚来、比亚迪、吉利、现代汽车等车企纷纷跟进，特斯拉凭借先发优势以及Model 3、Model Y等主力车型热销，一直是SiC装车的主力担当。随着比亚迪汉EV、蔚来ES6、理想L9等热门车型的陆续上市，SiC装车量得到进一步扩大。据Clean Technica，2023年1-5月SiC车型超100万辆。
- 从行业趋势看，SiC上车是大势所趋。特斯拉曾在2023年3月初的投资者大会上表示，将减少75%的SiC用量，一度引发SiC未来发展前景不明的猜测，但近期全球汽车市场却用实际行动表达了对SiC的支持，如全球第四大汽车集团Stellantis宣布，已与多家供应商签订包括SiC在内的半导体合作协议，总价值超80亿元；博格华纳向安森美SiC产品下定金额超72亿元；瑞萨电子也与Wolfspeed签署了一份为期10年的碳化硅晶圆供应协议等。

## ◆ 图：全球已有多款SiC车型量产交付

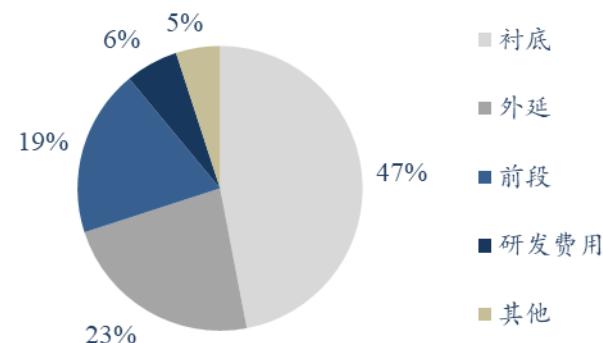
品牌	车型	上市/交付时间	2023上半年销量	SiC合作方或供应商
特斯拉	Model 3	2017年7月28日	859095	意法半导体（Wolfspeed）、安森美
特斯拉	Model Y	2019年3月15日		
比亚迪	唐 EV	2018年12月	47714	比亚迪（自研模块）、意法半导体、博世、欣锐（Wolfspeed）
比亚迪	汉 EV	2020年7月26日	4343	
比亚迪	海豹	2022年7月29日	42797	
蔚来汽车	ES6	2019年Q2	28699	
蔚来汽车	ES8	2017年12月	3601	自研电驱（蔚来驱动科技）、安森美
蔚来汽车	ET5	2022年9月	4840	
蔚来汽车	ET7	2022年3月	1525	
蔚来汽车	ES7	2022年6月	10440	
蔚来汽车	EC7	2023年4月	2220	苏州斯科（三安）
理想汽车	L9	2022年6月21日	42511	
小鹏汽车	G9	2022年10月	7136	斯达半导（模块）、瞻芯电子

- 碳化硅器件产业链主要包括衬底、外延、器件制造（设计、制造、封测）三大环节。从工艺流程上看，首先由碳化硅粉末通过长晶形成晶碇，然后经过切片、打磨、抛光得到碳化硅衬底；衬底经过外延生长得到外延片；外延片经过光刻、刻蚀、离子注入、沉积等步骤制造成器件。
- SiC产业链70%价值量集中在衬底和外延环节。碳化硅衬底、外延成本分别占整个器件的47%、23%，合计约70%，后道的器件设计、制造、封测环节仅占30%。这与硅基器件成本构成截然不同，硅基器件生产成本主要集中在后道的晶圆制造约50%（碳化硅器件制造也包含晶圆制造，但成本占比相对较小），衬底成本占比仅为7%。SiC产业链价值量倒挂的现象说明上游衬底厂商掌握着核心话语权，是国产化突破的关键。

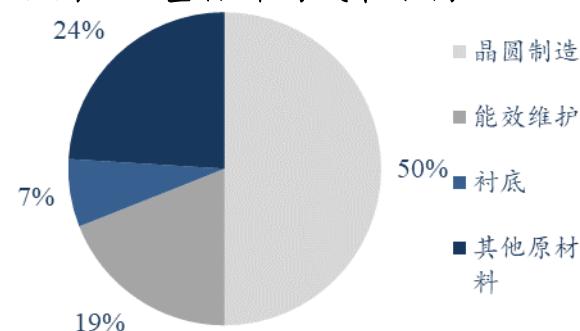
◆ 图：SiC产业链：衬底-外延-器件-应用



◆ 图：碳化硅器件成本结构



◆ 图：硅基器件的成本结构



# 目录



1 SiC 行业概况：第三代半导体材料性能优越，新能源车等场景带动 SiC 放量

2 SiC 衬底：材料端良率提升是关键，设备端生长、切片、研磨抛光各环节国产化率逐步提升

3 SiC 外延：国外设备商主导，未来 2-3 年有望快速实现国产替代

4 本土重点公司

5 投资建议

6 风险提示

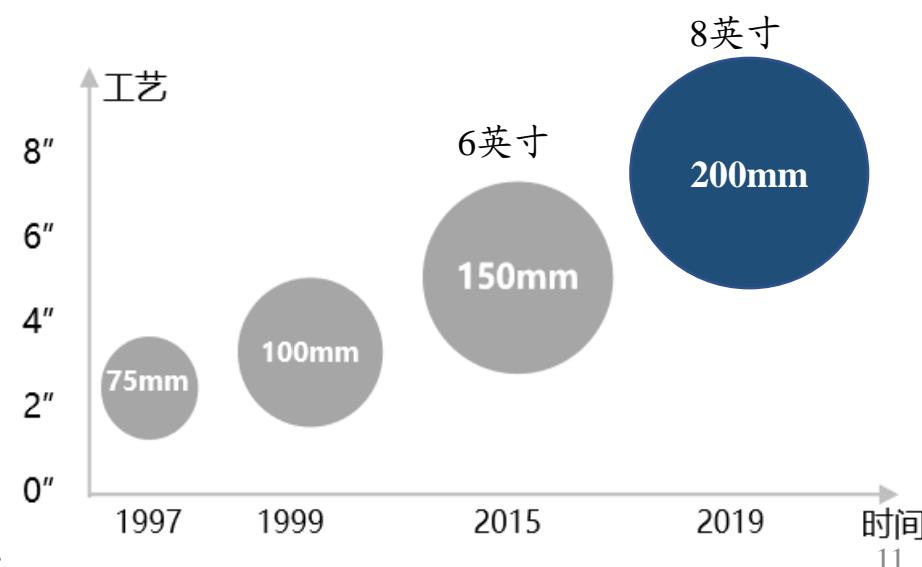
## 2.1. 衬底：大尺寸有效降本，国内外龙头均已成功研发8寸SiC衬底

- 从电化学性质差异来看，碳化硅衬底可以被分为导电型和半绝缘型。半绝缘型电阻率较高（电阻率 $\geq 10^5 \Omega \cdot \text{cm}$ ），不易导电，耐高压；导电型电阻率较低（电阻率区间为 $15\sim 30 \text{m}\Omega \cdot \text{cm}$ ），导电能力强，根据导电类型可以进一步分成N型（空穴导电）或者P型（电子导电）半导体。半绝缘型SiC衬底+GaN外延，主要用于制造射频器件，应用于5G通讯等领域；导电型SiC衬底+SiC外延，主要用于制造功率器件，应用于新能源汽车等领域。
- 大尺寸衬底有效摊薄成本，成为行业趋势。目前碳化硅衬底主流尺寸是4/6寸，其中半绝缘型碳化硅衬底以4寸为主，导电型碳化硅衬底以6寸为主。大尺寸可以摊薄单位芯片的成本，当衬底从6寸扩大到8寸时，可切割出的碳化硅芯片(32mm<sup>2</sup>)数量有望从448颗增加到845颗，增加了75%。目前国际上龙头企业碳化硅衬底正从6寸往8寸发展，国际龙头Wolfspeed、II-VI以及国内龙头天岳先进等都已成功研发8英寸衬底产品。

◆ 图：碳化硅可根据电化学性质进行分类

	半绝缘型	导电型
电阻率	$\geq 10^5 \Omega \cdot \text{cm}$	$15\sim 30 \text{m}\Omega \cdot \text{cm}$
外延	GaN 等异质外延	SiC 同质外延
器件	微波射频器件	功率器件(肖特基二极管，MOSFET)
适用	高频、高温环境	高温、高压
应用	5G通讯、军工雷达	电动汽车/充电桩、光伏新能源等

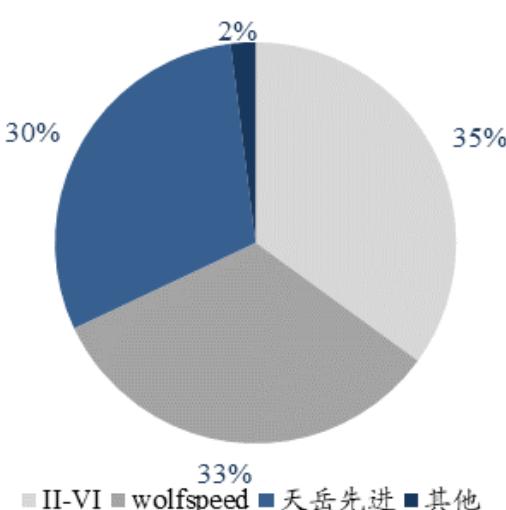
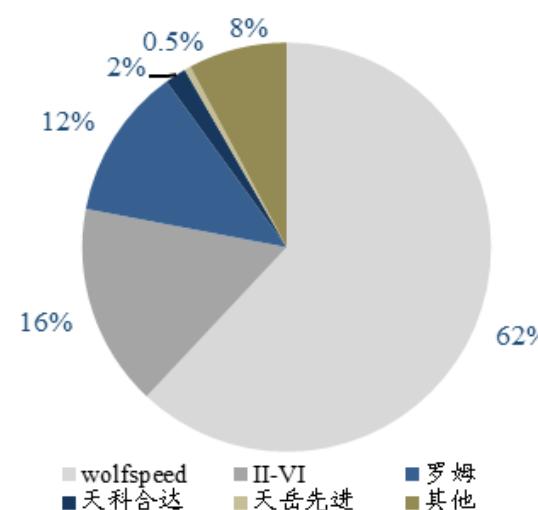
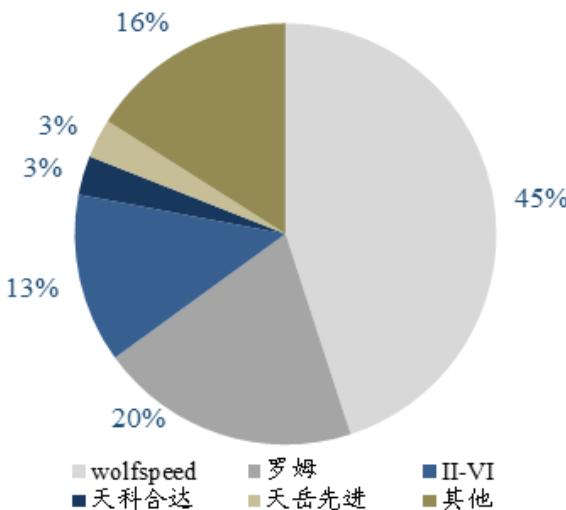
◆ 图：碳化硅衬底的发展趋势是从6英寸向8英寸发展



## 2.1.衬底：导电型Wolfspeed一家独大，绝缘型天岳先进入围前三

- 海外龙头起步较早，长期垄断SiC衬底市场，CR3达80%。海外龙头企业在碳化硅领域起步较早，其中Wolfspeed和II-VI公司在研发和产业化方面领先国内数十年，例如Wolfspeed/II-VI的6寸半绝缘型碳化硅衬底量产时间早于国内天岳先进15/10年。根据Yole数据，2020年海外厂商的SiC衬底CR3达78%，其中Wolfspeed市占率45%，罗姆（收购SiCrystal）市占率20%，位居第二；国内龙头天科合达、天岳先进仅为3%、3%。
- 导电型衬底Wolfspeed一家独大，绝缘型衬底天岳先进入围前三。2020年全球导电型SiC衬底依旧被Wolfspeed、II-VI、罗姆垄断，CR3高达90%，其中Wolfspeed市占率高达62%，一家独大；半绝缘型衬底中天岳先进表现亮眼，市占率约30%，仅次于全球龙头II-VI、Wolfspeed的35%、33%。

◆ 图：2020年全球导电型+半绝缘型SiC衬底（左）、导电型衬底（中）、半绝缘型衬底（右）市场格局



## 2.1.衬底：海外龙头积极扩产，保障8寸碳化硅衬底批量供应

- 海外企业已领先6寸碳化硅衬底供应，并开始供应8寸衬底。

(1) 美国Wolfspeed在2012年成功研制并规模化生产6寸碳化硅衬底（全球首发），2019年成功研制8寸碳化硅并宣布建设新工厂，2022年Wolfspeed又宣布将投资高达13亿美元建造世界上最大的8英寸碳化硅材料工厂，产能提高10倍以上。

(2) 美国II-VI在2015年成功研制8寸导电型SiC衬底，2019年再次推出8寸半绝缘SiC衬底，2021年II-VI表示未来5年内SiC衬底的生产能力将提高5-10倍（包括6/8寸）。

(3) 日本Rohm在2009年收购老牌碳化硅衬底供应商SiCrystal切入市场，2015年成功研发8寸碳化硅衬底，2023年7月宣布新建8寸碳化硅晶圆厂，预计2030年碳化硅产能提升35倍。

### ◆ 表：国外龙头企业碳化硅衬底研究进展与产能规划

公司	6寸衬底进展	8寸衬底进展	产能
美国 Wolfspeed	2012年全球首次成功研制并规模化生产	成功研制，2019年宣布产线建设计划	50-60万片/年
美国 II-VI	通过收购Ascatron和Innovion，拥有6寸碳化硅型SiC衬底，衬底和外延的生产能力	2015年成功研制8寸导电型SiC衬底，2019年推出8寸半绝缘SiC衬底	50-60万片/年
日本 Rohm	成功研制并规模化生产	已经研发成功8寸碳化硅衬底	50-60万片/年

## 2.1.衬底：国内企业已具备6寸SiC衬底量产能力，正积极布局8寸

- 国内龙头在8寸衬底均有突破，但产能方面仍有差距。

(1) 天岳先进已经成功研发6英寸导电型碳化硅衬底，23年5月已经实现6寸衬底交付，处于产量的快速爬坡阶段，30万片6寸衬底产能释放将早于原计划的2026年。此外，天岳也实现高质量8英寸产品的制备。

(2) 天科合达同样已经实现6英寸导电型碳化硅衬底的量产，2021年徐州生产基地6英寸系列产品产能达全国首位，2023年公司计划实现8英寸导电型碳化硅衬底的小规模量产。

(3) 晶盛机电（晶越）已经掌握了6英寸碳化硅的长晶技术和晶片加工工艺，预期产能为40万片/年，此外晶盛机电已经掌握8英寸碳化硅衬底技术。

### ◆表：国内企业碳化硅衬底研究进展与产能规划

	6寸衬底进展	8寸衬底进展	产能规划
天岳先进	已实现6英寸导电型碳化硅衬底产品量产	已经研发8英寸产品生产线，已过自主扩径实现高质量8英寸产品的制备	20-30万片/年
天科合达	已实现6英寸导电型碳化硅衬底产品量产	宣布将于2023年实现8英寸导电型碳化硅衬底小规模量产	20-30万片/年
晶盛机电（晶越）	已具备6英寸碳化硅的长晶技术和晶片加工工艺	晶盛机电已掌握行业领先的8英寸碳化硅衬底工艺和技术，公司通过自有籽晶经过多轮扩径，成功生长出8英寸N型碳化硅晶体，解决了8英寸碳化硅晶体生长过程中温场不均，晶体开裂、气相原料分布等难点问题	40万片/年

## 2.1.衬底：天科合达&天岳先进6寸半绝缘型/导电型衬底技术对标海外

- **设备&人才短缺导致国内衬底良率偏低。** 半导体行业是技术密集型行业，国内人才和技术水平相对缺乏，且宽禁带半导体关乎国家军事安全，受到海外严格出口限制。因此由于设备&人才短缺，国内SiC衬底良率较低，国内龙头天岳先进、天科合达的良率只有50%，而海外Wolfspeed的良率已达85%左右，这导致国内碳化硅功率半导体器件的价格较高昂，且市场渗透率较低。
- **天科合达&天岳先进6寸衬底参数对标海外。** 国内企业的大尺寸碳化硅衬底的量产进度仍与海外龙头有较大差距，但在6寸衬底的技术参数上，国内龙头天科合达&天岳先进与海外Wolfspeed、II-VI不存在明显差距。

◆表：6英寸半绝缘型碳化硅衬底参数对比

产品性能	Wolfspeed	II-VI	天科合达	天岳先进
直径	150.0 mm ± 0.25 mm	未披露	+150.0 mm 0.0/-0.5 mm	150.0 mm ±0.2 mm
微管密度	未披露	<0.1 cm <sup>-2</sup>	≤5 cm <sup>-2</sup>	≤0.5 cm <sup>-2</sup>
多型面积	≤5% (面积)	未披露	不允许	不允许
电阻率范围	≥1×10 <sup>6</sup> Ω·cm	≥1×10 <sup>11</sup> Ω·cm	≥1×10 <sup>9</sup> Ω·cm	≥1×10 <sup>8</sup> Ω·cm
总厚度变化	≤10μm	未披露	≤6μm	≤10μm
弯曲度 (绝对值)	未披露	未披露	≤30μm	≤25μm
翘曲度	≤40μm	未披露	≤40μm	≤40μm
表面粗糙度	未披露	R <sub>a</sub> ≤0.5nm	R <sub>a</sub> ≤0.2nm	R <sub>a</sub> ≤0.2nm

◆表：6英寸导电型碳化硅衬底参数对比

产品性能	Wolfspeed	II-VI	天科合达	天岳先进
直径	150.0 mm ± 0.25 mm	未披露	+150.0 mm 0.0/-0.5 mm	150.0 mm ± 0.2mm
微管密度	<1 cm <sup>-2</sup>	<0.1 cm <sup>-2</sup>	≤2 cm <sup>-2</sup>	≤0.5 cm <sup>-2</sup>
多型面积	≤5% (面积)	未披露	不允许	不允许
电阻率范围	0.015-0.028Ω·cm	约0.02Ω·cm	0.015-0.025Ω·cm	0.015-0.025Ω·cm
总厚度变化	≤10μm	未披露	≤6μm	≤10μm
弯曲度 (绝对值)	未披露	未披露	≤30μm	≤25μm
翘曲度	≤40μm	未披露	≤40μm	≤40μm
表面粗糙度	未披露	R <sub>a</sub> ≤0.5nm	R <sub>a</sub> ≤0.2nm	R <sub>a</sub> ≤0.2nm

## 2.1. 衬底：我们预计2025年全球6寸碳化硅衬底新增市场空间约380亿元

- 我们预计到2025年6寸碳化硅衬底新增市场空间约380亿元，其中导电型碳化硅衬底市场空间约260亿元（新能源汽车SiC衬底为主要来源，贡献市场空间约245亿元），半绝缘型碳化硅衬底市场空间约120亿元。
- 核心假设：（1）6寸导电型碳化硅衬底价格随良率提升而逐年降低，2022-25年价格分别为6600/6300/6000/5500元/片；（2）新能源汽车/光伏逆变器/风能变流器/储能逆变器的SiC衬底片用量分别为0.5/0.03/0.09/0.05片/台；（3）碳化衬底占器件成本比例50%+。

◆ 表：我们预计到2025年全球6寸碳化硅衬底新增市场空间约380亿元，2023-2025年CAGR为78%

全球碳化硅衬底片市场空间测算	2022A	2023E	2024E	2025E
<b>导电型：</b>				
全球新能源汽车销量（万辆）(1)	1007	1438	1912	2542
碳化硅渗透率(2)	2%	10%	20%	35%
6寸碳化硅衬底片的单车需求量（片/辆）(3)	0.5	0.5	0.5	0.5
<b>全球新能源汽车6寸碳化硅需求量（万片）(4)=(1)*(2)*(3)</b>	<b>10</b>	<b>72</b>	<b>191</b>	<b>445</b>
全球新增光伏装机量（GW）	230	325	348	380
全球光伏逆变器需求量（万台）(5)	1386	1680	1581	1540
碳化硅渗透率(6)	26%	34%	42%	50%
6寸碳化硅衬底片的单台需求量（片/台）(7)	0.03	0.03	0.03	0.03
<b>全球光伏逆变器6寸碳化硅衬底片需求量（万片）(8)=(5)*(6)*(7)</b>	<b>9.0</b>	<b>14.3</b>	<b>16.6</b>	<b>19.3</b>
全球新增风电装机量（GW）	107	125	137	146
全球风能变流器需求量（万台）	4.3	4.2	3.9	3.7
碳化硅渗透率	24%	32%	40%	48%
6寸碳化硅衬底片的单台需求量（片/台）	0.09	0.09	0.09	0.09
<b>全球风能变流器6寸碳化硅衬底片需求量（万片）(9)</b>	<b>0.1</b>	<b>0.1</b>	<b>0.1</b>	<b>0.2</b>
全球储能新增（GWh）	43	88	159	300
全球储能逆变器需求量（万台）	48.7	106.2	218.4	460.0
碳化硅渗透率	24%	32%	40%	48%
6寸碳化硅的单台需求量（片/台）	0.05	0.05	0.05	0.05
<b>全球储能逆变器6寸碳化硅衬底片需求量（万片）(10)</b>	<b>0.6</b>	<b>1.7</b>	<b>4.4</b>	<b>11.0</b>
全球轨道交通6寸碳化硅衬底片需求量（万片）(11)	0.01	0.01	0.01	0.01
6寸碳化硅衬底片售价（元/片）(12)	6600	6300	6000	5500
<b>全球6寸导电型碳化硅衬底片需求量（万片）</b>	<b>19.8</b>	<b>88.0</b>	<b>212.3</b>	<b>475.3</b>
<b>(13)=(4)+(8)+(9)+(10)+(11)</b>				
<b>全球6寸导电型碳化硅衬底片市场空间（亿元）</b>	<b>13.0</b>	<b>55.4</b>	<b>127.4</b>	<b>261.4</b>
<b>(14)=(13)*(12)/10000</b>				
-新能源汽车	6.6	45.3	114.7	244.7
-风光储逆变器	6.4	10.1	12.7	16.8
<b>绝缘型：</b>				
全球射频器件市场空间（亿元）	1367	1472	1647	1822
碳化硅器件渗透率	7%	8%	9%	10%
碳化硅衬底价值量占比	50%	55%	60%	65%
<b>全球半绝缘型碳化硅衬底市场空间（亿元）(15)</b>	<b>47.9</b>	<b>64.8</b>	<b>88.9</b>	<b>118.4</b>
<b>6寸碳化硅衬底片市场空间合计（亿元）(16)=(14)+(15)</b>	<b>60.9</b>	<b>120.2</b>	<b>216.3</b>	<b>379.8</b>

# 2.1. 衬底：我们预计2025年国内6寸碳化硅衬底新增市场空间约156亿元



- 我们预计到2025年6寸碳化硅衬底新增市场空间约156亿元，其中导电型碳化硅衬底市场空间约108亿元（新能源汽车SiC衬底为主要来源，贡献市场空间约103亿元），半绝缘型碳化硅衬底市场空间约47亿元。
- 核心假设：（1）6寸导电型碳化硅衬底价格随良率提升而逐年降低，2022-25年价格分别为6600/6300/6000/5500元/片；（2）新能源汽车/光伏逆变器/风能变流器/储能逆变器的SiC衬底片用量分别为0.5/0.03/0.09/0.05片/台；（3）中国半绝缘型衬底渗透率分别为32%/34%/36%/40%。

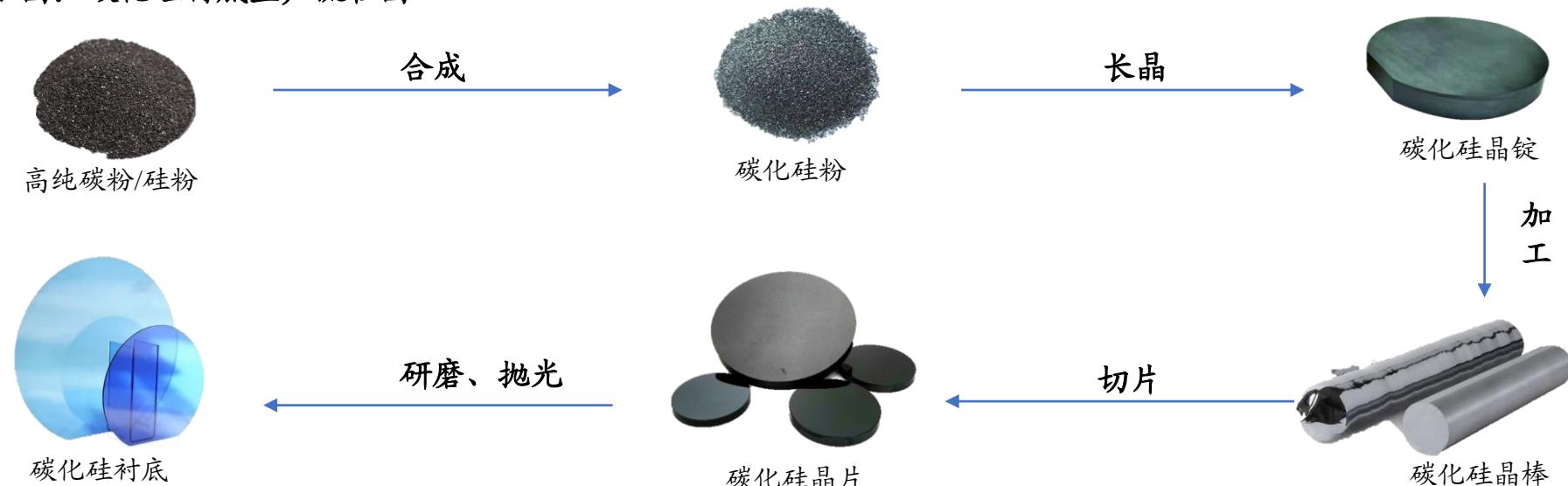
◆ 表：我们预计到2025年国内6寸碳化硅衬底新增市场空间约156亿元，2023-2025年CAGR为90%

中国碳化硅衬底片市场空间测算	2022A	2023E	2024E	2025E
<b>导电型：</b>				
中国新能源汽车销量（万辆）(1)	706	900	1162	1500
碳化硅渗透率(2)	2%	6%	18%	25%
6寸碳化硅衬底片的单车需求量（片/辆）(3)	0.5	0.5	0.5	0.5
<b>中国新能源汽车6寸碳化硅需求量（万片）(4)=(1)*(2)*(3)</b>	<b>5</b>	<b>27</b>	<b>105</b>	<b>188</b>
中国新增光伏装机量（GW）	87	118	120	124
中国光伏逆变器需求量（万台）(5)	527	613	543	503
碳化硅渗透率(6)	31%	39%	47%	55%
6寸碳化硅衬底片的单台需求量（片/台）(7)	0.03	0.03	0.03	0.03
<b>中国光伏逆变器6寸碳化硅衬底片需求量（万片）(8)=(5)*(6)*(7)</b>	<b>4.1</b>	<b>6.0</b>	<b>6.4</b>	<b>6.9</b>
中国新增风电装机量（GW）	0	0	0	0
中国风能变流器需求量（万台）	2.4	2.3	2.1	1.9
碳化硅渗透率	26%	34%	42%	50%
6寸碳化硅衬底片的单台需求量（片/台）	0.09	0.09	0.09	0.09
<b>中国风能变流器6寸碳化硅衬底片需求量（万片）(9)</b>	<b>0.1</b>	<b>0.1</b>	<b>0.1</b>	<b>0.1</b>
中国储能新增（GWh）	11	31	61	108
中国储能逆变器需求量（万台）	8.2	25.3	58.9	121.8
碳化硅渗透率	26%	34%	42%	50%
6寸碳化硅的单台需求量（片/台）	0.05	0.05	0.05	0.05
<b>中国储能逆变器6寸碳化硅衬底片需求量（万片）(10)</b>	<b>0.1</b>	<b>0.4</b>	<b>1.2</b>	<b>3.0</b>
<b>中国轨道交通6寸碳化硅衬底片需求量（万片）(11)</b>	<b>0.00</b>	<b>0.00</b>	<b>0.01</b>	<b>0.01</b>
6寸碳化硅衬底片售价（元/片）(12)	6600	6300	6000	5500
<b>中国6寸导电型碳化硅衬底片需求量（万片）</b>	<b>9.5</b>	<b>33.5</b>	<b>112.3</b>	<b>197.5</b>
(13)=(4)+(8)+(9)+(10)+(11)				
<b>中国6寸导电型碳化硅衬底片市场空间（亿元）</b>	<b>6.3</b>	<b>21.1</b>	<b>67.4</b>	<b>108.7</b>
(14)=(13)*(12)/10000				
-新能源汽车	3.5	17.0	62.7	103.1
-风光储逆变器	2.8	4.1	4.6	5.5
<b>绝缘型：</b>				
全球射频器件市场空间（亿元）	190	205	229	253
碳化硅器件渗透率	7%	8%	9%	10%
碳化硅衬底价值量占比	50%	55%	60%	65%
全球半绝缘型碳化硅衬底市场空间（亿元）(15)	47.9	64.8	88.9	118.4
中国半绝缘型衬底渗透率(16)	32%	34%	36%	40%
<b>中国半绝缘型碳化硅衬底市场空间（亿元）(17)=(15)*(16)</b>	<b>15</b>	<b>22</b>	<b>32</b>	<b>47</b>
<b>6寸碳化硅衬底市场空间合计（亿元）(18)=(14)+(17)</b>	<b>22</b>	<b>43</b>	<b>99</b>	<b>156</b>

## 2.1. 碳化硅衬底的生产流程包括长晶、切片、研磨和抛光四个环节

- **长晶：**核心环节，通过物理气相传输法（PVT）在高温高压的条件下，将碳化硅原料气化并沉积在种子晶上，形成碳化硅单晶锭。需要精确控制各种参数，如温度、压力、气流、硅碳比等，以保证晶体的质量和纯度。
- **切片：**将碳化硅单晶锭沿着一定的方向切割成薄片。由于碳化硅的高硬度和脆性，切割过程需要使用特殊的工具，如钻石线或多线切割机。切割过程会造成晶片表面的刀痕和损伤层，需要后续的研磨和抛光处理。
- **研磨：**去除切割造成的表面缺陷和控制晶片厚度。根据研磨的目的和精度，可以分为粗磨和精磨两个阶段。研磨过程需要使用高硬度的磨料，如碳化硼或金刚石粉。
- **抛光：**提高晶片表面光洁度和平整度。抛光也可以分为粗抛和精抛两个阶段。粗抛主要采用机械抛光方式，使用较小粒径的硬磨料，如B4C或金刚石等。精抛主要采用化学机械抛光（CMP）方式，利用化学腐蚀和机械磨损协同作用，实现晶片表面的全局平坦化。

◆ 图：碳化硅衬底生产流程图



## 2.2. 长晶：碳化硅晶体生长的主流方法是物理气相传输（PVT）

- 碳化硅单晶炉的长晶方式（晶体制备方法）主要包括物理气相传输（Physical Vapor Transport, PVT）、高温化学气相沉积（HTCVD）及液相外延（LPE）。

（1）物理气相传输（PVT）是最成熟的制备方法。由于设备简单，操作易控制，运行成本低等优点，国外厂商 Wolfspeed、II-VI、SiCrystal，国内厂商天岳先进、天科合达、晶盛机电均选择PVT法制备碳化硅晶体。

（2）HTCVD法的主要技术挑战是沉积温度的控制。HTCVD法生长晶体纯度较高、可实现近匀速晶体生长，但良率较低、长晶成本较高。瑞典的Norstel和日本电装公司采用HTCVD方法。

（3）LPE法的主要技术挑战是生长速率和结晶质量的平衡。LPE法生长的晶体质量高、缺陷密度低，但其生长速度缓慢、生长长度受限。日本的住友金属公司采用LPE方法。

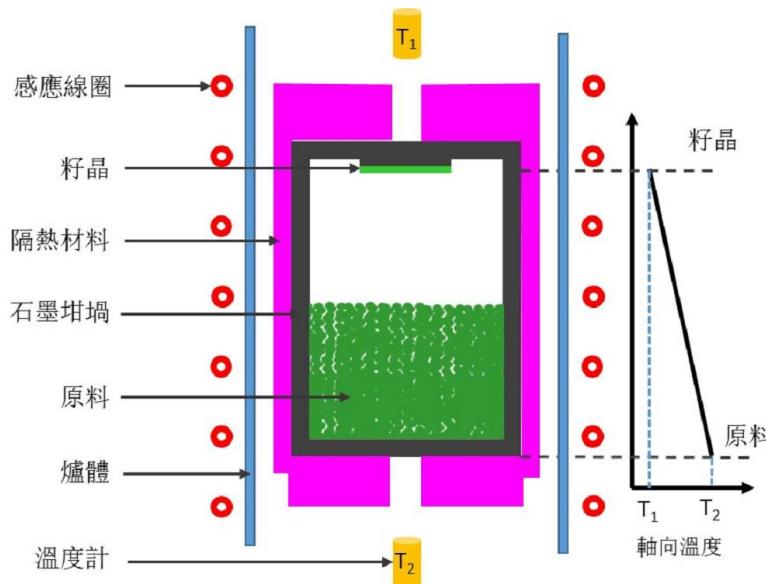
### ◆ 表：碳化硅单晶炉三种长晶方法

长晶方式	物理气相传输（PVT）	高温化学气相沉积（HTCVD）	液相外延（LPE）
示意图		 将 SiH <sub>4</sub> 、C <sub>2</sub> H <sub>4</sub> 等反应气体通过载气从反应器的底部通入，在中部热区发生反应并形成 SiC 簇，升华至反应器顶端籽晶处生长，工藝温度为 1800-2300°C	 在 1800°C 的温度下碳硅溶液共溶，从过冷饱和溶液中析出 SiC 晶体
工艺	在高温区(>2000°C)将 SiC 粉末升华，将 SiC 气体沿着温度梯度输送，在较冷的尾部 SiC 粒子凝聚为晶体	将 SiH <sub>4</sub> 、C <sub>2</sub> H <sub>4</sub> 等反应气体通过载气从反应器的底部通入，在中部热区发生反应并形成 SiC 簇，升华至反应器顶端籽晶处生长，工藝温度为 1800-2300°C	在 1800°C 的温度下碳硅溶液共溶，从过冷饱和溶液中析出 SiC 晶体
简介	目前国际主流大规模应用的晶体生长方法，具有技术方案成熟、生长过程简单、设备成本低等特点。技术难点主要为大尺寸衬底制备、缺陷水平控制及良率提升	可制备高纯度、高质量的半绝缘型碳化硅晶体，具有工艺参数可调性、产品多样性等优势。受晶体生长设备、高纯气体成本较高、生长工艺尚未成熟等因素制约，商业化进展缓慢，未实现大规模应用	目前技术成熟度仍相对较低，具有质量高、易扩径、易实现稳定的 P 型掺杂、长晶过程易观测等特点，有望成为未来制备尺寸更大、结晶质量更高、成本更低的碳化硅单晶生长方法

PVT碳化硅单晶炉的晶体生长过程：

- (1) 将高纯碳化硅粉料置于单晶炉内的石墨坩埚底部，并将碳化硅籽晶粘结在坩埚盖内部。
- (2) 通过电磁感应加热或电阻加热的方式令坩埚内的温度升高至2000°C以上，并在坩埚内形成轴向温度梯度，使籽晶处的温度略低于粉料处。
- (3) 碳化硅粉料分解成硅原子、SiC<sub>2</sub>分子以及Si<sub>2</sub>C分子等气相物质，在温度梯度的驱动下从高温区（粉料）向低温区（籽晶）输送，在籽晶的碳面上按照籽晶的晶型进行有规律的原子排列，使晶体逐渐增厚，进而生长成碳化硅晶锭。

◆ 图：PVT碳化硅单晶炉的设备构造



◆ 图：碳化硅单晶炉包含 PVT 感应加热/电阻加热单晶炉、TSSG 单晶炉等类别产品

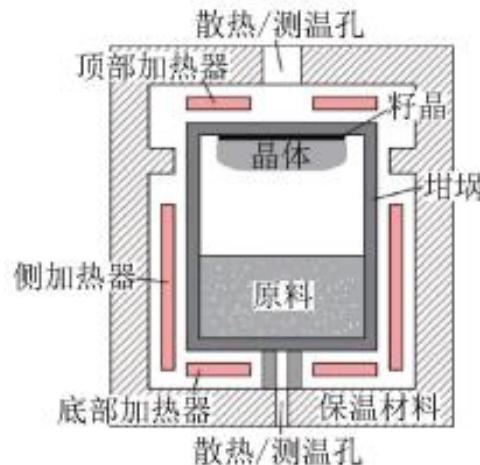


## 2.2. 长晶：工艺难点在于温度控制，热场材料仍依赖进口

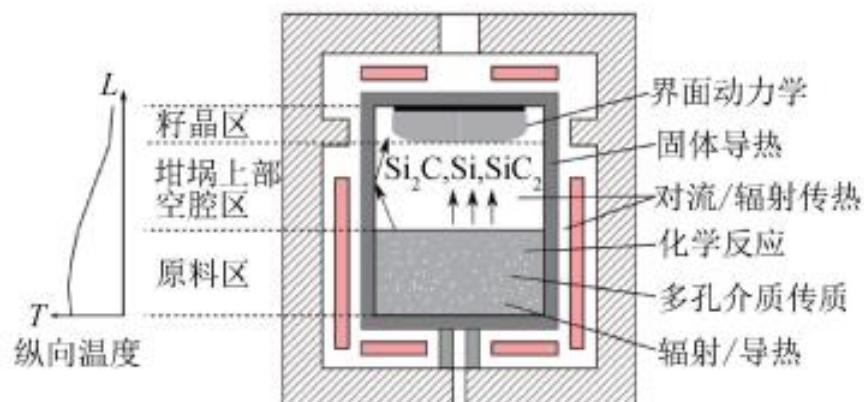
### (1) 温度控制：

- 碳化硅晶体生长需在2,000°C以上的高温环境中进行，高于传统硅片制备所需的温度要求，生长条件非常苛刻，且生长过程不可见。为保证晶体生长品质需要通过热场精确调控生长温度和压力。
- 热场是PVT碳化硅单晶炉中最关键的部分，热场设计决定了温度控制的精度。热场分为保温材料和坩埚，PVT生产工艺中热场材料主要采用细结构石墨。保温材料主要采用石墨软毡、硬毡，纯度要求<5ppm。坩埚主要采用高纯度石墨，纯度要求<5ppm。
- 热场的加热方式分为感应加热法和电阻加热法。感应加热法是生长SiC晶体的主流工艺，电阻加热法是未来生长8英寸及以上大尺寸SiC晶体的主流工艺。
- 热场主要的材料仍依赖进口（欧洲斯柯达、日本东洋碳素等）。保温材料和坩埚的更换周期分别为3~4个月和1~2个月，价格分别为3~4万和0.8~1万。

◆ 图：电阻加热式PVT碳化硅单晶炉热场结构



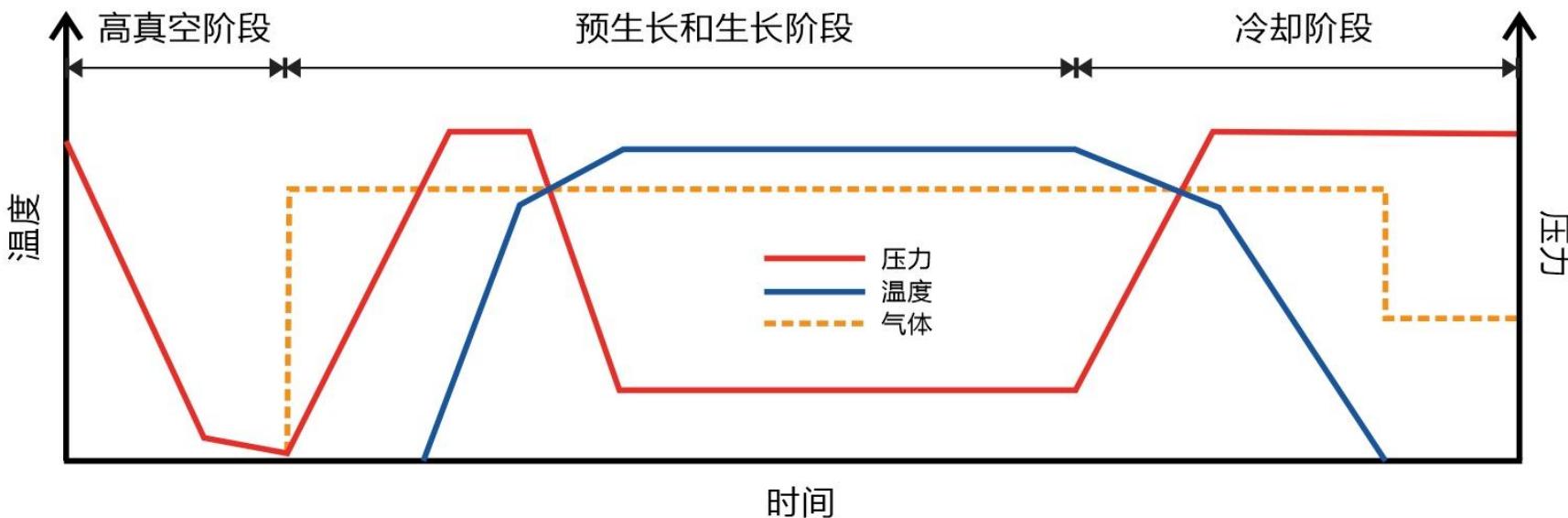
◆ 图：电阻加热式热场的特征区域和物理原理



## 2.2. 长晶：碳化硅生长速度缓慢，良率与国外龙头存在较大差距

- (2) 杂质控制：碳化硅晶体结构类型众多，但仅少数几种晶体结构的碳化硅为衬底所需材料，杂质控制难度高。在晶体生长过程中，需精确控制硅碳比、生长温度梯度、晶体生长速度以及气流气压等参数，否则容易产生多晶型夹杂，降低产品良率。
- (3) 生长速度缓慢：使用主流的PVT法约7天才能生长2cm左右厚度的碳化硅晶锭，碳化硅单晶与传统硅材料的生长速度相差近800倍。并且随着碳化硅晶体尺寸扩大，生长工艺难度呈指数级增长。
- (4) 良率低：与硅基材料相比，碳化硅衬底工艺难度高，制备效率低，截至2023年7月，国内碳化硅衬底环节的综合良率仅在37%左右，与 Wolfspeed 等海外龙头85%的良率差距较大。

◆ 图：碳化硅长晶过程中压力、温度、气体流量变化控制需要复杂的工艺



## 2.2. 长晶：预计2025年全球/国内SiC单晶炉新增市场空间约100/40亿元

- 核心假设：（1）2022-25年碳化硅单晶炉单价约60/55/50/50万元/台，单台产能（已考虑良率）分别为350/400/450/500片/年，产能利用率维持70%；（3）2022年半绝缘型碳化硅衬底价格约7000元/片（稍贵于导电型衬底），2025年有望降低到6000元/片。
- 表：我们预计到2025年全球/国内碳化硅单晶炉新增市场空间约100/40亿元，2023-2025年CAGR为63%/75%

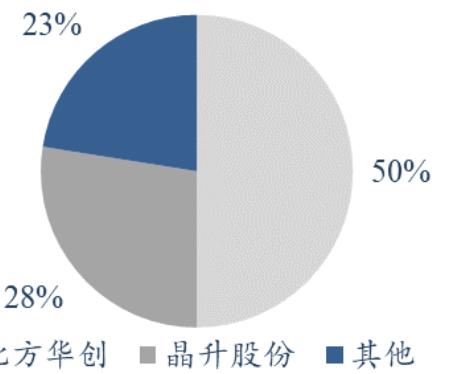
	2022A	2023E	2024E	2025E
<b>全球：</b>				
全球导电型碳化硅衬底需求量（万片）(1)	19.8	88.0	212.3	475.3
全球半绝缘型碳化硅衬底市场空间（亿元）(2)	47.9	64.8	88.9	118.4
半绝缘型碳化硅衬底平均价格（元/片）(3)	7000	6800	6500	6000
全球半绝缘型碳化硅衬底需求量（万片）(4)=(2)/(3)	68	95	137	197
<b>全球6寸碳化硅衬底需求量（万片）(5)=(1)+(4)</b>	<b>88</b>	<b>183</b>	<b>349</b>	<b>673</b>
碳化硅单晶炉平均单台产能（片/年，已考虑良率）(6)	350	400	450	500
全球6寸碳化硅单晶炉需求台数(7)=(5)/(6)*10^4	2518	4582	7759	13453
产能利用率(8)	70%	70%	70%	70%
<b>全球碳化硅单晶炉厂商产能台数(9)=(7)/(8)</b>	<b>3597</b>	<b>6546</b>	<b>11084</b>	<b>19219</b>
全球碳化硅单晶炉单台价格（万元）(10)	60	55	50	50
<b>全球碳化硅单晶炉市场空间（亿元）(11)=(9)*(10)/10^4</b>	<b>22</b>	<b>36</b>	<b>55</b>	<b>96</b>
<b>中国：</b>				
中国导电型碳化硅衬底需求量（万片）(1)	9.5	33.5	112.3	197.5
中国半绝缘型碳化硅衬底市场空间（亿元）(2)	15.3	22.0	32.0	47.4
半绝缘型碳化硅衬底平均价格（元/片）(3)	7000	6800	6500	6000
中国半绝缘型碳化硅衬底需求量（万片）(4)=(2)/(3)	22	32	49	79
<b>中国6寸碳化硅衬底需求量（万片）(5)=(1)+(4)</b>	<b>31</b>	<b>66</b>	<b>162</b>	<b>276</b>
碳化硅单晶炉平均单台产能（片/年，已考虑良率）(6)	350	400	450	500
中国6寸碳化硅单晶炉需求台数(7)=(5)/(6)*10^4	898	1647	3590	5530
产能利用率(8)	70%	70%	70%	70%
<b>中国碳化硅单晶炉厂商产能台数(9)=(7)/(8)</b>	<b>1282</b>	<b>2353</b>	<b>5128</b>	<b>7900</b>
中国碳化硅单晶炉单台价格（万元）(10)	60	55	50	50
<b>中国碳化硅单晶炉市场空间（亿元）(11)=(9)*(10)/10^4</b>	<b>8</b>	<b>13</b>	<b>26</b>	<b>39</b>

## 2.2. 长晶：国内龙头碳化硅单晶炉CR2约80%，设备基本实现国产化

- 国内厂商已经较好的实现了碳化硅单晶炉的国产化。国内碳化硅单晶炉厂商包括晶升股份、北方华创等专业晶体生长设备供应商，以及采用自研/自产设备供应模式的碳化硅衬底材料厂商，基本实现了设备国产化率。

- ✓ (1) 晶体生长设备供应商CR2约80%：北方华创、晶升股份碳化硅单晶炉分别占国内市场50%+、28%，CR2约80%，基本实现设备的国产化。其中北方华创2018年切入市场，2022年预计出货超500台，累计出货约千余台，晶升股份2015年切入市场，2022年预计出货200~240台，累计出货约500台。其他的二三梯队厂商，如恒普真空科技已实现小批量交付，连城数控、科友半导体等处于样机开发及验证阶段。
- ✓ (2) 碳化硅衬底材料厂商自研/自产：天科合达、晶盛机电、露笑科技、河北同光、山西烁科等碳化硅厂商自研/自产晶体生长设备，主要用于其自身碳化硅衬底的生产制造，不对外大批量销售。

◆ 图：国内SiC长晶炉竞争格局



◆ 表：国内龙头碳化硅单晶炉厂商设备对比

公司名称	业绩情况	单晶炉设备	单价 (含税)	市场情况
北方华创	2022年实现营收146.88亿元，同比增长51.68%；净利润25.41亿元，同比增长112.92%。	目前碳化硅单晶炉已累计出货千余台，2022年预计出货超500台。	55-110万元/台	(1) 市场占有率约50%以上； (2) 北方华创为半绝缘型碳化硅材料龙头厂商天岳先进的主要供应商，主要应用于4-6英寸半绝缘型碳化硅衬底的生产制造。
晶升股份	2022年营收为2.21亿元，同比增长13.89%；净利润0.35亿元，同期下降26.47%。	2019/2020/2021年分别销售2、7/189台(以6英寸导电型碳化硅单晶炉为主)；2022年预计实现220台至240台碳化硅单晶炉销售；累计可实现480台至500台产品销售。	60-110万元/台	(1) 市场占有率约27.47%-29.01%； (2) 公司为导电型碳化硅材料龙头厂商三安光电的主要供应商，主要应用于6英寸导电型碳化硅衬底及器件的生产制造。

## 2.2. 长晶：设备规格与国外齐平，部分晶体生长控制参数优于国外

- 国内碳化硅单晶炉产品部分技术指标与国外设备相比具有先进性。碳化硅单晶炉技术指标主要包括设备规格参数、晶体生长控制参数。其中北方华创和晶升股份的设备规格参数与国外齐平，晶体生长控制参数中的控温精度（ $^{\circ}\text{C}$ ）以及极限真空（mbar）明显优于国外主流厂商。
- 北方华创及晶升股份为国内技术领先的碳化硅单晶炉主流厂商，设备规格&晶体生长控制指标基本处于同一技术水平，具有先进性，其产品在国内均应用于下游主流碳化硅厂商，具有较强的竞争优势。

◆ 表：国内碳化硅单晶炉厂商设备规格指标参数

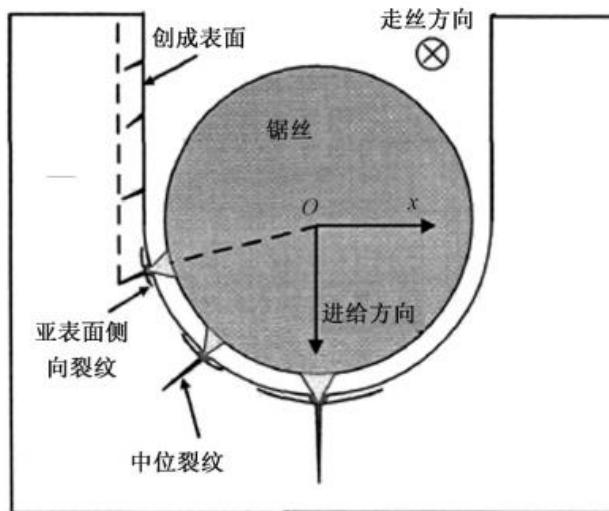


设备规格指标参数	晶升股份	北方华创	国外主流厂商
晶体尺寸	6-8英寸	6-8英寸	6-8英寸
加热方式	感应/电阻	感应/电阻	感应/电阻
线圈安装及运动精度 (mm)	$\pm 0.5$	/	/
腔室材料及冷却方式	水冷/风冷	水冷/风冷	水冷/风冷
控温精度 ( $^{\circ}\text{C}$ )	$\pm 0.5$	小于 $\pm 1$	小于 $\pm 5$
控压精度 (mbar)	小于 $5\pm 0.05$	小于 $5\pm 0.05$	小于 $5\pm 0.13$
极限真空 (mbar)	$5*10^{-6}$	小于 $5*10^{-6}$	小于 $1.33*10^{-5}$
压升率 (Pa/12h)	小于5	小于5	/

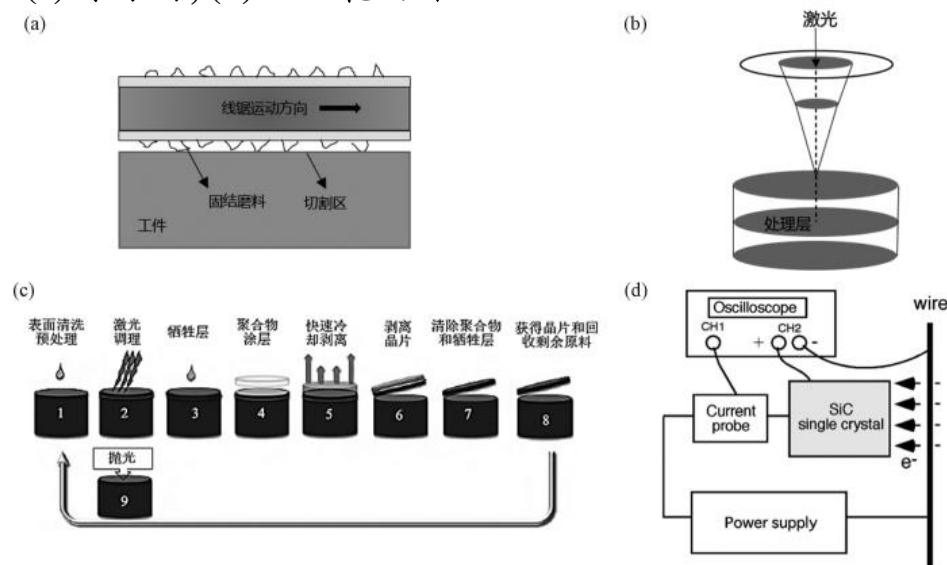
## 2.3. 切片：切割是SiC衬底加工的首道工序，线锯切割是主流技术

- SiC衬底加工精度直接影响器件性能，要求SiC晶片表面超光滑、无缺陷、无损伤。SiC单晶的加工过程主要分为切片、研磨和抛光，其中切割是SiC衬底加工的第一道工序，对后续衬底外延以及晶圆制造至关重要。
- SiC的硬度仅次于金刚石，属于高硬脆材料，切割难度大。切片容易在晶片表面和亚表面产生裂纹损伤，影响后道工艺的开展，因此对WARP（翘曲）、BOW（弯曲）、TTV（总厚度偏差）等精度控制要求很高。
- 线锯切割是主流技术。切割技术主要包括传统锯切、线锯切割、激光切割、冷分离和电火花切片等，其中传统锯切（如内圆锯片、金刚石带锯）切缝大、材料损耗多，不适用于SiC晶体切割；激光切割通过激光在晶体内部形成改性层，从碳化硅晶体上剥离出晶片，断面质量好&切割效率高，产品处于下游验证阶段；冷分离将激光聚焦在材料内部形成改质层，通过冷冻胶使材料收缩从而分离晶片，几乎无材料损耗且加工效率高，但存在光束能量均匀性问题；线锯切割技术成熟，出片率较高，速度较快，成本便宜，是主流切割技术。

◆ 图：锯切 4H-SiC 晶片表层裂纹损伤



◆ 图：SiC 单晶的切片技术：(a) 金刚线切片；(b) 激光切片；  
(c) 冷分离；(d) 电火花切片



## 2.3. 切片：未来金刚线切割和激光切割将替代砂浆线成为主流技术

- 未来金刚线切割和激光切割有望替代砂浆线成为主流技术。线锯切割以钢线作为刃具，采用机械的方式进行切割，其中砂浆切割是普遍采用的方式；近年来，金刚线切割技术因其加工效率高、线耗成本低和环境友好等优势受到业界的广泛关注，此外，激光切割方法也形成了比较成熟的研究体系并逐渐兴起。

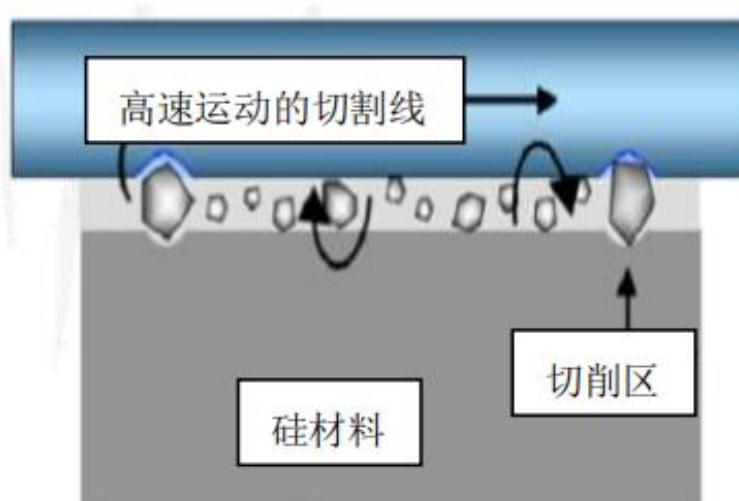
### ◆ 表：砂浆切割、金刚线切割和激光切割的对比

技术路线	砂浆切割	金刚线切割	激光切割
材料去除原理	磨料研磨	磨料研磨	脉冲激光改性
优点	1、导入生产较早，工艺成熟度较高； 2、材料损耗小； 3、成本较低	1、切割速度高，加工效率是砂浆切割的数倍以上； 2、线径细则切缝窄，材料损耗小； 3、环境污染小	1、非接触式加工，无刀具损耗和水污染； 2、SiC晶锭损耗小，单个晶锭有效切割片数高，产量高； 3、切割效率更高，超过线锯切割； 4、切割断面质量好，精度高； 5、加工方式灵活
缺点	1、切割速度低； 2、切割表面精度低； 3、砂浆液难以回收，且会对环境造成污染； 4、游离的磨粒对钢线同样具有磨削作用：使切片厚度不均匀，且降低线锯的使用寿命	1、晶片表面损伤层深； 2、线锯磨损快：极大影响线锯的寿命和晶片的翘曲度； 3、不适用于生产超薄大尺寸的SiC晶片：尺寸越大，纵向切割接触面积越大，磨料所能残渣堆积，影响器件性能提供单位面积的切削力降低，从而产生较大的形变应力	1、设备单价高； 2、激光切割区域易出现热熔损坏，且在切割口容易产生大量的残渣堆积，影响器件性能

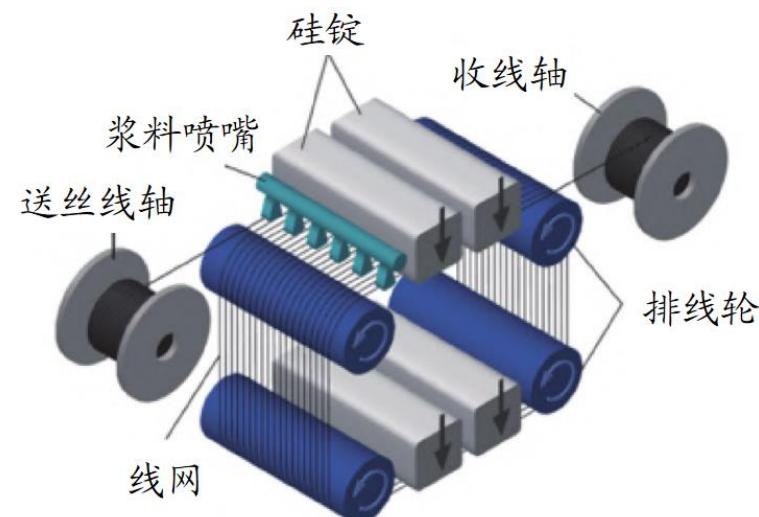
## 2.3. 切片：砂浆切割成熟度高但速度低、成本高，难满足加工要求

- 砂浆线切割又称为游离磨料线锯切割，切片加工过程实际上是三体磨料磨损的过程（切割线、切削液中的磨料与工件三者相互作用）。工作原理为：排线轮上的多根金属线组成线网，线网在排线轮的旋转带动下高速往复运动，同时晶棒在进给单元的作用下以一定的进给速度向线网移动。切割时，携带磨料（金刚石或SiC）的砂浆通过喷嘴喷向线网，高速运动的金属线带动砂浆进行切片。
- 砂浆切割工艺成熟度高，90%+衬底厂商采用该方式。与传统的内圆切片机相比，砂浆切割能加工较薄的晶圆（切片厚度<0.3mm），切片的产率更高（采用多线切割，克服了单次只能切割一片的缺点），且切出的晶片精度较高，比较稳定，由于导入生产较早，工艺成熟度较高。
- 砂浆切割的缺点在于切割速度和磨料利用率低，对环境不友好。1) 所采用的泥浆状的研磨液容易对工件和环境造成污染，且较难循环利用；2) 切削耗时长，单刀需要约150小时；3) 依靠磨料的滚压-钎入作用去除材料，会在晶片表面产生较大的微裂纹、残余应力和较深的相变层，导致晶片翘曲变形并增加后续加工工作量；4) 磨料对金属线同样有磨削作用，金属丝磨损较快且切割出来的SiC晶片厚度不均匀。

◆ 图：砂浆切割原理示意图



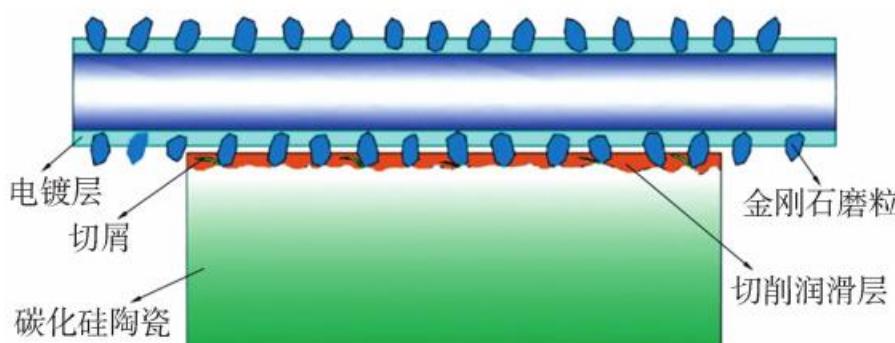
◆ 图：砂浆多线切割系统示意图



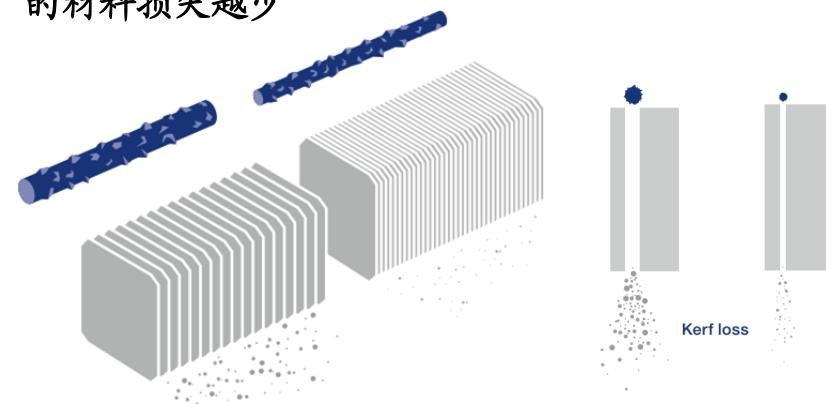
## 2.3. 切片：金刚线切割效率高、污染少，正逐渐代替砂浆切割

- 金刚线切割又称为固结磨料线锯切割，主要通过二体磨损去除切缝处的晶体材料。金刚线通常为表面附着镍基合金或树脂的不锈钢线，一般通过电镀、树脂粘接、钎焊或机械镶嵌等方法制作。切割时，具有高硬度、高耐磨性的磨料与晶体表面直接接触，通过金刚线的高速运动完成对SiC晶体的切割。
- 根据金刚线运动方式的不同，可分为单向式、往复式和环形式。往复式和环形式固结金刚石磨料线锯切割较单向式有更长的有效长度和更高的线锯单位长度重复利用率，切割效率高，是SiC晶体切割的主流工艺。
- 砂浆切割正逐渐被金刚线切割所替代。1) 金刚线切割技术依然采用多线切割机，但与砂浆线切割技术不同的是该技术通常使用水基冷却剂，因此环境污染小；2) 相较砂浆切割的“三体加工”，金刚线切割属于“二体加工”，切割效率是前者的数倍以上；3) 细线径下的金刚线切片具有切缝窄、材料损耗少等优点；4) 金刚线切割具有更高的耐磨性和耐热性，能够承受更大的切削力，切削时间大幅降低，使用寿命更长。
- 但金刚线在切割SiC这样的硬脆性材料时仍存在切割效率低、晶片表面损伤层深、线锯磨损快等缺点。实验表明，锯切直径50mm的SiC晶棒需耗时约23h，且每锯切一次晶片，线锯磨损都相当严重，极大影响到线锯的寿命和晶片的翘曲度。可见金刚线切割也不会是超薄大尺寸SiC单晶片生产的终局解决方案。

◆ 图：金刚线切割原理示意图



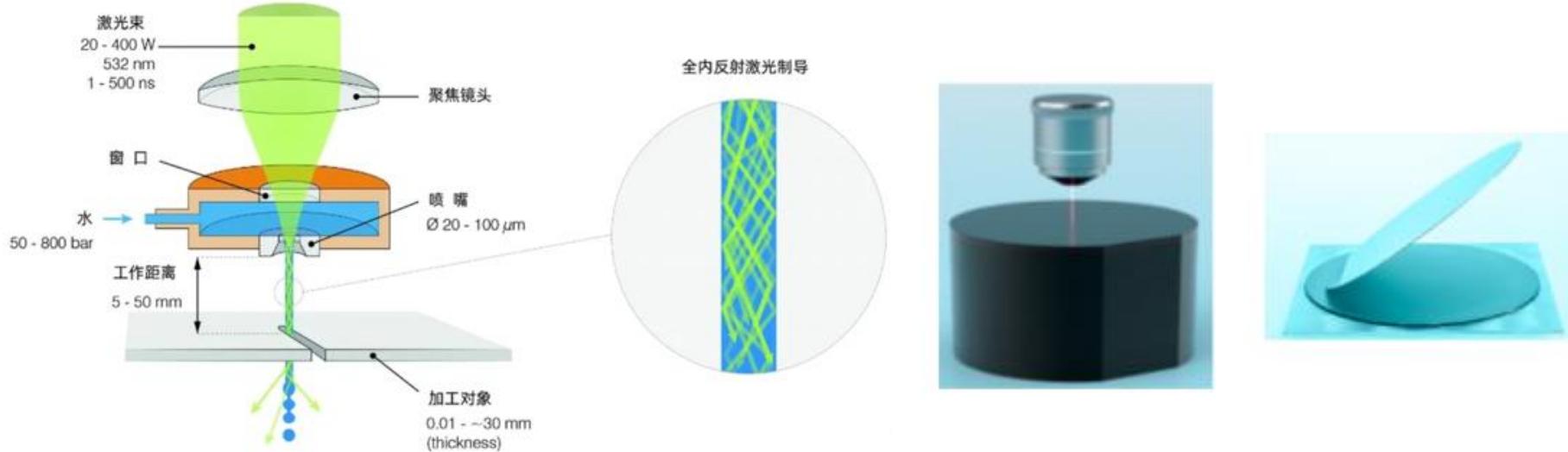
◆ 图：金钢石线的线径越细，锯缝越小，切割时产生的材料损失越少



## 2.3. 切片：激光切割有望替代金刚线成为新一代主流切割技术

- 激光切片是利用高能激光束照射工件表面，使被照射区域局部熔化、气化，从而达到去除材料，实现切割的过程。激光切割是非接触式加工，无机械应力损伤，加工方式灵活，不存在刀具损耗和水污染，设备使用维护成本低。理论上，激光波长越短、脉宽越短，加工热效应越小，有利于微细精密加工，但成本相对较高。
- 激光切割区域易受热损坏，且在切割口容易产生大量的残渣堆积。短波长激光加工热效应小，但未完全气化的熔渣在切割道内粘连堆积，使得切割断面不光滑，附着的熔渣在后续工艺环节容易脱落，影响器件性能。长波长激光器采用较大的功率，划切效率高，材料去除充分，断面均匀一致，但加工热效应太大，芯片设计中需要预留更宽的划切道。
- 过去激光工艺无法达到切片要求，激光半划用于SiC晶圆划线工艺。激光半划适用于解理性较好的材料加工，激光划切至一定深度，然后采用裂片方式，沿切割道产生纵向延伸的应力使芯片分离。这种加工方式效率高，无需贴膜去膜工序，加工成本低。但碳化硅晶圆的解理性差，不易裂片，裂开的一面容易崩边，划过的部分仍然存在熔渣粘连现象。

◆ 图：主流的激光切割技术有水导激光加工、冷切割技术等



## 2.3. 切片：激光切割有望替代金刚线成为新一代主流切割技术

- 激光切割工艺成熟后，激光切片有望全面替代金刚线切片。截至2023年7月，SiC晶锭切片仍以砂浆切片和金刚线切片为主，但是碳化硅硬度极大，使用砂轮刀片切割去除速度较慢、效率低下，刀片的耗损也很严重。随着激光切割技术逐步应用于SiC领域，材料损耗小、加工时间短、产出良率高等综合优势明显，激光切割技术成熟后有望成为替代金刚线切片的主流SiC衬底切割技术。
- 激光切片的损耗较少。以20 mm晶锭为例，在考虑良率、晶锭材质均匀的情况下，金刚线切割大概22片，激光切割大概30片。金刚线通过震荡的方式来切割晶锭，切割后边缘较为粗糙，后续需要进行研磨抛，带来较多损耗；激光切割的切面较为光滑，研磨抛带来的损耗非常少。一片SiC晶圆大约几千元，对于客户的原材料节省非常可观。
- 激光切片效率远高于金刚线。金刚线是多线程切割，平均一个晶锭需要几天时间。激光切片效率非常高，大约20分钟切一片，大概8小时切完一个晶锭，切割效率提升显著。
- 激光切片设备综合成本具有一定竞争优势。由于SiC激光切片设备能给客户带来效率和良率较大提升、材料较大节省，市场单价约为500-1000万元/台。金刚线切片单价200-300万元/台，后续加上各种耗材费用，激光切片设备的价格具有一定竞争优势。

◆ 图：激光切割工艺材料损耗小、加工效率高、综合成本具备优势

工艺参数	激光切割	金刚线切割	砂浆切割
切口 (um)	30~40	80~120	80~120
损伤层 (um)	3~4	6~8	4~7
翘曲度 (um)	3.5	8	5
6寸晶锭平均有效切割片数	约30片	约22片	约22片
切割速度 (mm/min)	6	1.35	0.9
单个晶锭切割周期	约8小时	4~5天	约1周
设备单价 (万元/台)	500~1000	200~300, 耗材价格另算	-

## 2.3. 切片：我们预计到2025年全球切片设备新增市场空间约30亿元

- 核心假设：（1）砂浆切片机产能&价格基本稳定，2022-25年产能约0.60/0.65/0.70/0.75万片/台，价格200/200/190/190万元/台，技术渗透率90%/78%/60%/40%，良率约70%，设备稼动率约50%；（2）金刚线切片机2022-25年产能约1.8/1.9/2.0/2.1万片/台，价格400/350/300/250万元/台，渗透率10%/20%/35%/50%，良率约75%。设备稼动率60%；（3）激光切片机2022-25年产能约3.0/3.2/3.4/3.6万片/台，价格约1000/950/850/800万元/台，渗透率0%/2%/5%/10%，良率约80%，设备稼动率70%。

◆ 表：我们预计到2025年全球切片设备新增市场空间约30亿元，2023-2025年CAGR约48%

	2022	2023E	2024E	2025E
全球导电型6寸碳化硅衬底需求量（万片）	19.8	88.0	212.3	475.3
全球半绝缘型6寸碳化硅衬底需求量（万片）	68.4	95.3	136.8	197.3
<b>全球6寸碳化硅衬底片需求量（万片）(1)</b>	<b>88.1</b>	<b>183.3</b>	<b>349.1</b>	<b>672.6</b>
砂浆切片机渗透率(2)	90%	78%	60%	40%
<b>砂浆切片机年产能（万片/台）（考虑整体良率70%）(3)</b>	<b>0.60</b>	<b>0.65</b>	<b>0.70</b>	<b>0.75</b>
设备稼动率(4)	50%	50%	50%	50%
砂浆切片机需求量（台）(5)=(1)*(2)/(3)/(4)/70%	378	628	855	1025
砂浆切片机单价（万元/台）(6)	200	200	190	190
<b>砂浆切片机市场规模（亿元）(7)=(5)*(6)</b>	<b>7.6</b>	<b>12.6</b>	<b>16.2</b>	<b>19.5</b>
金刚线切片机渗透率(8)	10%	20%	35%	50%
<b>金刚线切片机年产能（万片/台）（考虑整体良率75%）(9)</b>	<b>1.8</b>	<b>1.9</b>	<b>2.0</b>	<b>2.1</b>
设备稼动率(10)	60%	60%	60%	60%
金刚线切片机需求量（台）(11)=(1)*(8)/(9)/(10)/75%	11	43	136	356
金刚线切片机单价（万元/台）(12)	400	350	300	250
<b>金刚线切片机市场规模（亿元）(13)=(11)*(12)</b>	<b>0.4</b>	<b>1.5</b>	<b>4.1</b>	<b>8.9</b>
激光切片机渗透率(14)	0%	2%	5%	10%
<b>激光切片机年产能（万片/台）（考虑整体良率80%）(15)</b>	<b>3.0</b>	<b>3.2</b>	<b>3.4</b>	<b>3.6</b>
设备稼动率(16)	70%	70%	70%	70%
激光切片机需求量（台）(17)=(1)*(14)/(15)/(16)/80%	0	2	9	33
激光切片机单价（万元/台）(18)	1000	950	850	800
<b>激光切片机市场规模（亿元）(19)=(17)*(18)</b>	<b>0.0</b>	<b>0.2</b>	<b>0.8</b>	<b>2.7</b>
<b>全球切片机市场空间（亿元）(20)=(7)+(13)+(19)</b>	<b>8.0</b>	<b>14.3</b>	<b>21.1</b>	<b>31.0</b>

## 2.3. 切片：我们预计到2025年国内切片设备新增市场空间约13亿元

- 核心假设：（1）砂浆切片机产能&价格基本稳定，2022-25年产能约0.60/0.65/0.70/0.75万片/台，价格200/200/190/190万元/台，技术渗透率90%/78%/60%/40%，良率约70%，设备稼动率约50%；（2）金刚线切片机2022-25年产能约1.8/1.9/2.0/2.1万片/台，价格400/350/300/250万元/台，渗透率10%/20%/35%/50%，良率约75%。设备稼动率60%；（3）激光切片机2022-25年产能约3.0/3.2/3.4/3.6万片/台，价格约1000/950/850/800万元/台，渗透率0%/2%/5%/10%，良率约80%，设备稼动率70%。

◆ 表：我们预计到2025年国内切片设备新增市场空间约13亿元，2023-2025年CAGR约58%

	2022	2023E	2024E	2025E
中国导电型6寸碳化硅衬底需求量（万片）	9.5	33.5	112.3	197.5
中国半绝缘型6寸碳化硅衬底需求量（万片）	21.9	32.4	49.3	78.9
<b>中国6寸碳化硅衬底片需求量（万片）(1)</b>	<b>31.4</b>	<b>65.9</b>	<b>161.5</b>	<b>276.5</b>
砂浆切片机渗透率(2)	90%	78%	60%	40%
<b>砂浆切片机年产能（万片/台）（考虑整体良率70%）(3)</b>	<b>0.60</b>	<b>0.65</b>	<b>0.70</b>	<b>0.75</b>
设备稼动率(4)	50%	50%	50%	50%
砂浆切片机需求量（台）(5)=(1)*(2)/(3)/(4)/70%	135	226	396	421
砂浆切片机单价（万元/台）(6)	200	200	190	190
<b>砂浆切片机市场规模（亿元）(7)=(5)*(6)</b>	<b>2.7</b>	<b>4.5</b>	<b>7.5</b>	<b>8.0</b>
金刚线切片机渗透率(8)	10%	20%	35%	50%
<b>金刚线切片机年产能（万片/台）（考虑整体良率75%）(9)</b>	<b>1.8</b>	<b>1.9</b>	<b>2.0</b>	<b>2.1</b>
设备稼动率(10)	60%	60%	60%	60%
金刚线切片机需求量（台）(11)=(1)*(8)/(9)/(10)/75%	4	15	63	146
金刚线切片机单价（万元/台）(12)	400	350	300	250
<b>金刚线切片机市场规模（亿元）(13)=(11)*(12)</b>	<b>0.2</b>	<b>0.5</b>	<b>1.9</b>	<b>3.7</b>
激光切片机渗透率(14)	0%	2%	5%	10%
<b>激光切片机年产能（万片/台）（考虑整体良率80%）(15)</b>	<b>3.0</b>	<b>3.2</b>	<b>3.4</b>	<b>3.6</b>
设备稼动率(16)	70%	70%	70%	70%
激光切片机需求量（台）(17)=(1)*(14)/(15)/(16)/80%	0	1	4	14
激光切片机单价（万元/台）(18)	1000	950	850	800
<b>激光切片机市场规模（亿元）(19)=(17)*(18)</b>	<b>0.0</b>	<b>0.1</b>	<b>0.4</b>	<b>1.1</b>
<b>中国切片机市场空间（亿元）(20)=(7)+(13)+(19)</b>	<b>2.8</b>	<b>5.1</b>	<b>9.8</b>	<b>12.8</b>

## 2.3. 切片：砂浆切割工艺主要设备供应商：日本高鸟、Meyer Buger等

东吴证券  
SOS SOOCHOW SECURITIES

- SiC晶体砂浆切割设备厂家的主要代表为日本高鸟（Takatori）以及欧系的梅耶伯格（Meyer Buger）。日本高鸟的多线切割机是行业内最成熟的也是市场占有率最大的品牌，其蓝宝石多线切片机是国际上起步最早、市占率最高的机台，公司的SiC切割将充分受益于在蓝宝石领域的丰富经验。高鸟的SiC砂浆切片机型号包括MWS-34SN、610SD等，可覆盖对3-8英寸SiC的切片，最高线速可达700m/min（812SD和612SD型号）。
  - 国内主要设备厂家包括中国电子科技集团公司第四十五研究所、唐山晶玉和湖南宇晶等。国产设备在切割效率、加工精度、可靠性和工艺成套性等方面与国外设备仍有一定差距。
- ◆ 图：日本高鸟的SiC砂浆切割机，MWS是Multi Wire Saw的（多线锯）缩写，S代表Slurry（砂浆），D分别代表Down（倒切割）和Diamond（金刚石），3/4/6/8的数字开头分别代表对应机型尺寸（3-3英寸）
- ◆ 图：梅耶博格的硅片切割机 DS271 / DS264（支持砂浆切割和金刚线切割，前者最高线速达1200m/min）



	DS 271	DS 264
Loading length [mm]	1020	820
Workpiece dimension [mm]	max. 220 x 220	
Workpiece holders [mm]	4 x 255, 3 x 340, 2 x 510, 1 x 1020	4 x 205, 2 x 410, 1 x 820
Wire diameter	100–160 micron	
Wire speed	15 m/sec (option: max. 20 m/sec)	max. 15 m/sec
Cutting media	Slurry / diamond wire (glycol or water based)	
Wire guide rolls diameter [mm]	350	320
Machine weight [kg]	16'600	15'200



## 2.3. 切片：金刚线切割工艺主要设备供应商：日本安永、高测股份等

- 由于SiC行业的扩产速度加快，对衬底的需求增大，继续使用传统的砂浆工艺不利于产量的提升，因此国际上自20年开始推行金刚线切割。此方法从瑞士Meyer Burger开始，随后日本的东洋、DISCO等企业都开始使用金刚线切割法。
- 日本安永已有成熟的SiC金刚线切割设备。其中HW-810机型可满足6-8英寸SiC、GaN等多种高硬度材料的线切加工需求。该设备的主要特点在于高线速、高刚性、高精度、低损耗、节能环保：实现了最高线速3000m/min，相比业内较多的砂浆线切工艺，线速提升约4倍以上，可极大提高生产效率，使加工成本较砂浆线切方式有很大优势。
- 国内金刚线切片专机主要供应商包括大连连城、无锡上机、青岛高测、常州贝斯塔德等，高测已推出分别兼容4-8英寸的SiC金刚线切片机（GC-SCDW8300和6500）并持续推进国产替代。高测在SiC领域推出的GC-SCDW6500机型线速为2400m/min，于2021年上市，并在2022年开始形成批量销售；2022年底公司已推出8英寸SiC金刚线切片机GC-SCDW8300，线速可达3000m/min，已获得头部企业验证并认可。

◆ 图：日本安永的HW-810切片机



◆ 图：高测GC-SCDW6500型SiC金刚线切片机



## 2.3. 切片：国外激光切割工艺主要设备供应商：DISCO

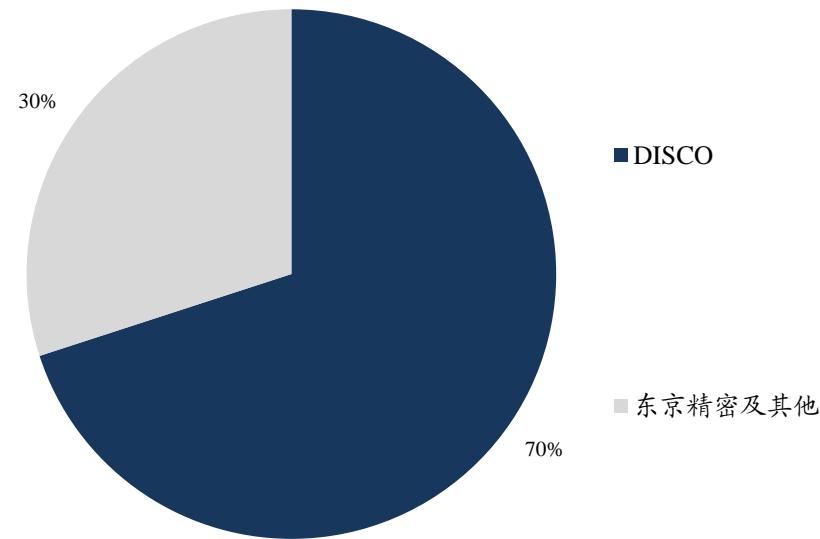
- 国际巨头DISCO深耕切、磨、抛，牢牢掌握龙头地位。

传统硅基设备根据加工方式的不同可分为冷加工的砂轮切片机和热加工的激光切片机，DISCO深耕硅基晶圆减薄切削领域，作为半导体晶圆减薄切削设备、耗材厂商的龙头。

- DISCO研发的KABRA技术显著提升SiC切片效率。

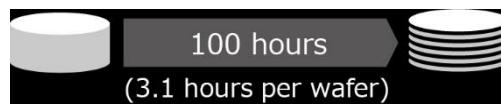
SiC晶锭具有硬度高、脆性大的特点，传统加工方法不能完全适用。2016年，DISCO研发出的KABRA技术，适用激光针对SiC晶锭切片，显著提升加工效率，单片6寸SiC晶圆的切割时间由3.1小时大幅缩短至10分钟，且不再需要后续研磨，单位材料损耗降低56%。

◆ 图：DISCO作为切片设备、耗材市场龙头



◆ 图：DISCO适用KABRA技术可将晶圆产量提升1.4倍

(a) 激光切片大幅缩短加工时间



传统工艺

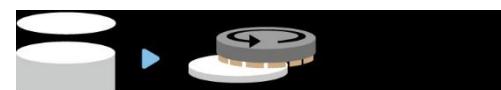


KABRA 工艺

(b) 激光切片不再需要后续研磨

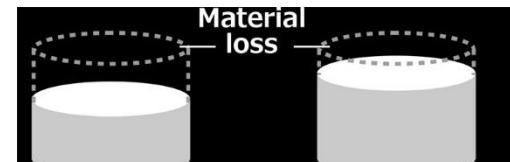


传统工艺



KABRA 工艺

(c) 激光切片大幅降低材料损耗



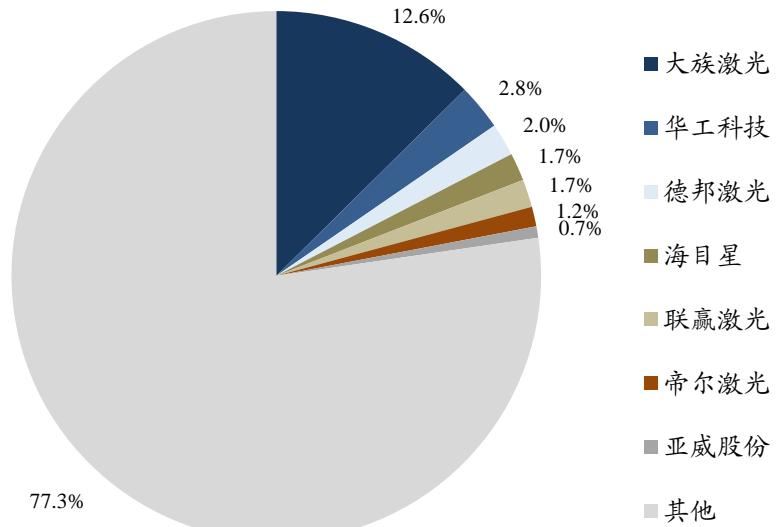
传统工艺

KABRA 工艺

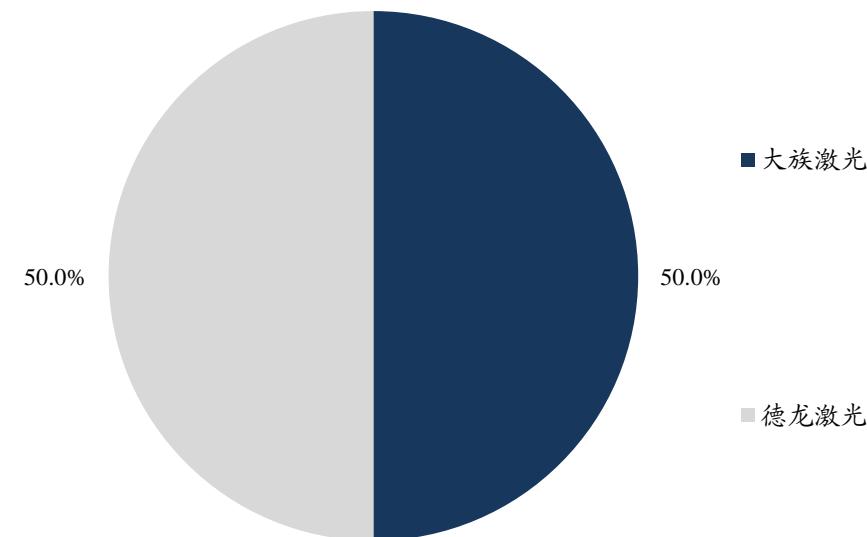
## 2.3. 切片：国内激光切割工艺主要设备供应商：大族激光、德龙激光

- 半导体加工高要求壁垒限制普通激光厂商参与晶圆段工艺。国内主流激光器件公司做宏观金属部件加工，半导体激光加工工艺要求高精细度、激光能量稳定、工作环境无尘，单个晶锭价值量大，设备交付验证周期长，技术壁垒、研发成本高昂限制众多激光厂商进入半导体行业。
- 大族激光作为国内激光厂商龙头，SiC晶锭激光切片机已交付验证。大族激光作为国内激光厂商龙头，具有明显的体量优势，经过长期激烈市场竞争，激光加工设备市占率约13%。根据大族激光2023年7月公司公告，应用于第三代半导体的SiC晶锭激光切片机已经交付客户进行验证。
- 德龙激光专注于高端激光设备和精细微加工，是国内唯二SiC切片设备供应厂商。德龙激光走定制化高端路线，凭借多年技术创新和工艺积累，德龙激光在半导体及光学领域，与下游知名客户建立了稳定的合作关系。现有SiC激光切片设备市场，大族激光为德龙激光唯一竞争对手，市占份额各占约50%。由于半导体行业高进入壁垒，短期内暂无其他明显竞争对手。

◆ 图：大族激光设备在国内市场具有明显体量优势



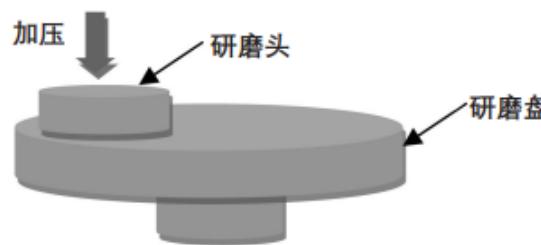
◆ 图：大族激光和德龙激光主导国内激光切片设备市场



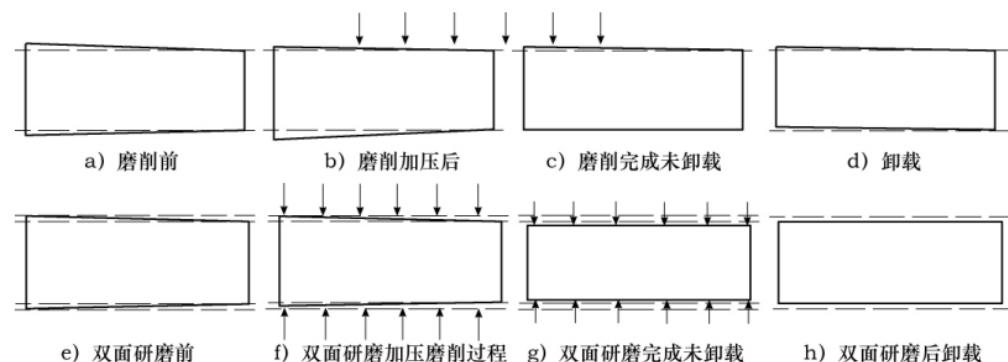
## 2.4. 磨抛：研磨初步去除SiC晶片切割中形成的表面刀痕和损伤层

- 切片会使晶圆表面损伤，而衬底表面的缺陷和划伤会在外延生长过程中延伸到外延层，形成外延缺陷进而影响器件的良率，磨削或研磨环节的目的是对SiC晶片表面进行前期加工，提高表面质量，获得相对平整的待抛光表面。研磨是在刚性研具上注入磨料，在一定的压力下，通过工件与研具之间的相对滑动，并通过磨粒的微切削去除方式使被加工材料的表面脱落，从而提高工件的形状精度、尺寸和降低材料的表面粗糙度的一种精密加工方法。
- SiC单晶衬底研磨采用金刚石研磨液进行研磨，可分为两道工艺：粗磨和精磨。粗磨是为了提高加工效率并去除由多线切割引起的刀痕和变质层，使用粒径较大的磨粒；精磨是为了去除由粗磨造成的加工损伤层，改善表面粗糙度，使用粒径较小的磨粒。
- 研磨有单面研磨和双面研磨两种方式，双面研磨能更好的改善SiC衬底的翘曲度与平面度。磨削和单面研磨一次只能磨削衬底的一个面，而双面研磨具有上、下两个研磨盘，可以同时研磨衬底的两个面。磨削或单面研磨过程中，衬底用蜡粘在钢盘上，由于施加压力前后衬底发生微变形，造成上下表面发生翘曲变形，平面度变差。双面研磨时，研磨盘首先施压工件最高点，使该处发生变形并逐渐被磨平，高点被逐渐磨平后，衬底所受压力逐渐减小，衬底均匀受力，使各处变形一致，去除压力后翘曲变形也很小。

◆ 图：SiC单晶衬底研磨示意图



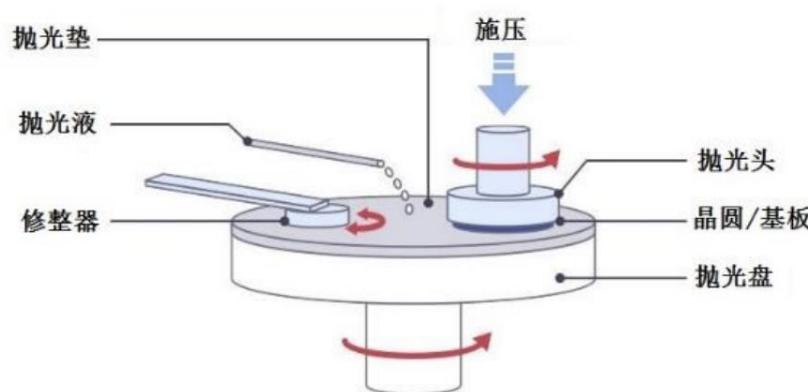
◆ 图：衬底的磨削与双面研磨时的变形过程



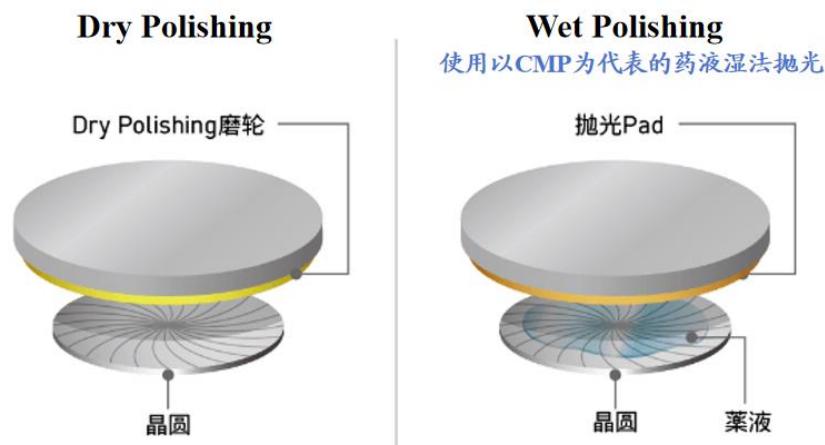
## 2.4. 磨抛：抛光进一步保障表面质量，以满足后续外延&器件制造

- SiC晶片在研磨后需进行抛光，该环节是为了去除研磨导致的表面硬粒和残留损伤层，避免在切割过程中产生破片。抛光指用高速旋转的低弹性材料（人造革、棉布等）抛光盘，或者用低速旋转的软质弹性或粘弹性材料抛光盘，添加抛光剂，是具有一定研磨性质的获得光滑表面的加工方法。
- 抛光也分为两道工艺：粗抛和精抛，化学机械抛光（CMP）是精抛中应用最为广泛的抛光技术。粗抛是针对双面的机械抛光，目的在于提高抛光的加工效率，同时提高衬底表面的总厚度变化（TTV）、弯曲度（BOW）、翘曲度（Warp），改善衬底表面的表面粗糙度（Ra）；CMP是单面抛光，作用为去除碳化硅片硅面表面的划伤以使硅面表面光洁，作为唯一能够获得全局平坦化的最有效的方法，该技术多作为SiC单晶衬底加工的最后一道工艺，是保证被加工表面实现超光滑、无缺陷、无损伤的关键。CMP工序结束后还需要倒角机设备对晶片边缘进行加工以防止晶片开裂。
- CMP属于湿法抛光，即通过化学腐蚀和机械磨损协同作用，实现材料表面去除及平坦化。晶片在抛光液的作用下发生氧化反应，生成的软化层在磨粒机械作用下相对容易被除去。此外还有干式抛光、干式刻蚀等工艺路线，干式抛光指不使用水和研磨膏等介质，只使用干式抛光磨轮进行抛光的去除应力加工工艺。

◆ 图：CMP抛光模块示意图



◆ 图：干法和湿法的抛光工艺路线



## 2.4. 磨抛：我们预计2025年全球/国内磨抛设备的市场空间约56/23亿元



- 核心假设：（1）研磨设备：研磨需要经过粗磨和精磨两道工艺，1万片SiC衬底片的年产能需要1台双面粗磨机+2台单面精磨机。2022-25年双面粗磨机价格分别为150/150/140/140万元，单面精磨机精度更高，降价稍缓慢，2022-25年价格分别为150/150/145/145万元；（2）抛光设备：1万片年产能需要1台双面抛光设备，2022-25年价格分别为500/480/450/400万元。

◆ 图：我们预计到2025年6寸磨抛设备的市场空间约56/23亿元，2023-2025年CAGR约81%/94%

	2022	2023E	2024E	2025E
<b>全球：</b>				
全球导电型6寸碳化硅衬底需求量（万片）	19.8	88.0	212.3	475.3
全球半绝缘型6寸碳化硅衬底需求量（万片）	68.4	95.3	136.8	197.3
<b>全球6寸碳化硅衬底片需求量（万片）①</b>	<b>88.1</b>	<b>183.3</b>	<b>349.1</b>	<b>672.6</b>
双面粗磨机价值量（万元/台）②	150	150	140	140
单面精磨机价值量（万元/台）*2 ③	150	150	145	145
<b>全球研磨机市场空间（亿元）④=①*（②+③*2）</b>	<b>4.0</b>	<b>8.2</b>	<b>15.0</b>	<b>28.9</b>
双面抛光机价值量（万元/台）⑤	500	480	450	400
<b>全球抛光机市场空间（亿元）⑥=①*⑤</b>	<b>4.4</b>	<b>8.8</b>	<b>15.7</b>	<b>26.9</b>
<b>全球研磨+抛光市场空间（亿元）⑦=④+⑥</b>	<b>8.4</b>	<b>17.0</b>	<b>30.7</b>	<b>55.8</b>
<b>中国：</b>				
中国导电型6寸碳化硅衬底需求量（万片）	9.5	33.5	112.3	197.5
中国半绝缘型6寸碳化硅衬底需求量（万片）	21.9	32.4	49.3	78.9
<b>中国6寸碳化硅衬底片需求量（万片）①</b>	<b>31.4</b>	<b>65.9</b>	<b>161.5</b>	<b>276.5</b>
双面粗磨机价值量（万元/台）②	150	150	140	140
单面精磨机价值量（万元/台）*2 ③	150	150	145	145
<b>中国研磨机市场空间（亿元）④=①*（②+③*2）</b>	<b>1.4</b>	<b>3.0</b>	<b>6.9</b>	<b>11.9</b>
双面抛光机价值量（万元/台）⑤	500	480	450	400
<b>中国抛光机市场空间（亿元）⑥=①*⑤</b>	<b>1.6</b>	<b>3.2</b>	<b>7.3</b>	<b>11.1</b>
<b>中国研磨+抛光市场空间（亿元）⑦=④+⑥</b>	<b>3.0</b>	<b>6.1</b>	<b>14.2</b>	<b>22.9</b>

## 2.4. 磨抛：高精度要求下设备呈现寡头垄断特点，国产替代有望加速

- SiC行业中所使用的磨抛设备均由蓝宝石、硅晶等行业中的单一设备所改造延伸而来，因此厂商众多。国外厂商包括日本的秀和工业、Disco和东京精密，法国的Soitec，瑞士的梅耶博格，美国的Applied Materials和Speedfam等；国内厂商包括迈为、特思迪、扬帆半导体等。为满足产业化需求，切磨抛的全自动量产化正在逐步开展。
- DISCO**是全球半导体制造设备龙头，多年专注于晶圆减薄、抛光等领域。产品包括研磨机（Grinders）、抛光机（Polishers）、研磨抛光一体机（Grinder/Polisher）、表面平坦机（Surface Planer）等；在SiC减薄方面，公司采用4轴磨削和干法抛光以提高产品质量。
- 国内，迈为股份对标Disco所有型号，国产化进展符合预期。迈为在2019年立项研磨机，是国内最早将全自动减薄机推向量产的厂商（23年1月），截至2023年7月，8英寸减薄机已量产。

◆ 图：DISCO磨抛产品

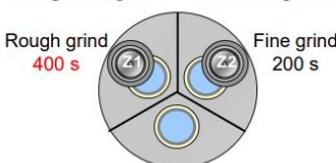


◆ 图：DISCO采用4轴磨削和干法抛光以提高SiC晶片减薄质量

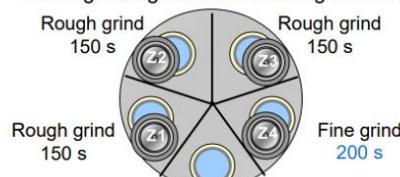
- 通过4轴磨削提高生产率

\*The processing times are reference values and differ from the actual processing times

– 2-axis grinding: rate determining time 400 s



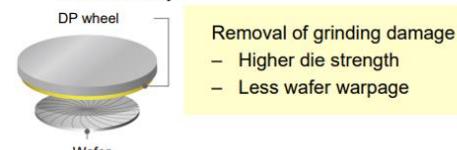
– 4-axis grinding: rate determining time 200 s



- 通过干抛光提高质量

- DISCO's original dry polishing

- Environmentally friendly process that does not use water or slurry



[Other polishing examples]



◆ 图：迈为MX-SSG1A 半导体晶圆研磨设备



# 目录



1 SiC行业概况：第三代半导体材料性能优越，新能源车等场景带动SiC放量

2 SiC衬底：材料端良率提升是关键，设备端生长、切片、研磨抛光各环节国产化率逐步提升

3 SiC外延：国外设备商主导，未来2-3年有望快速实现国产替代

4 本土重点公司

5 投资建议

6 风险提示

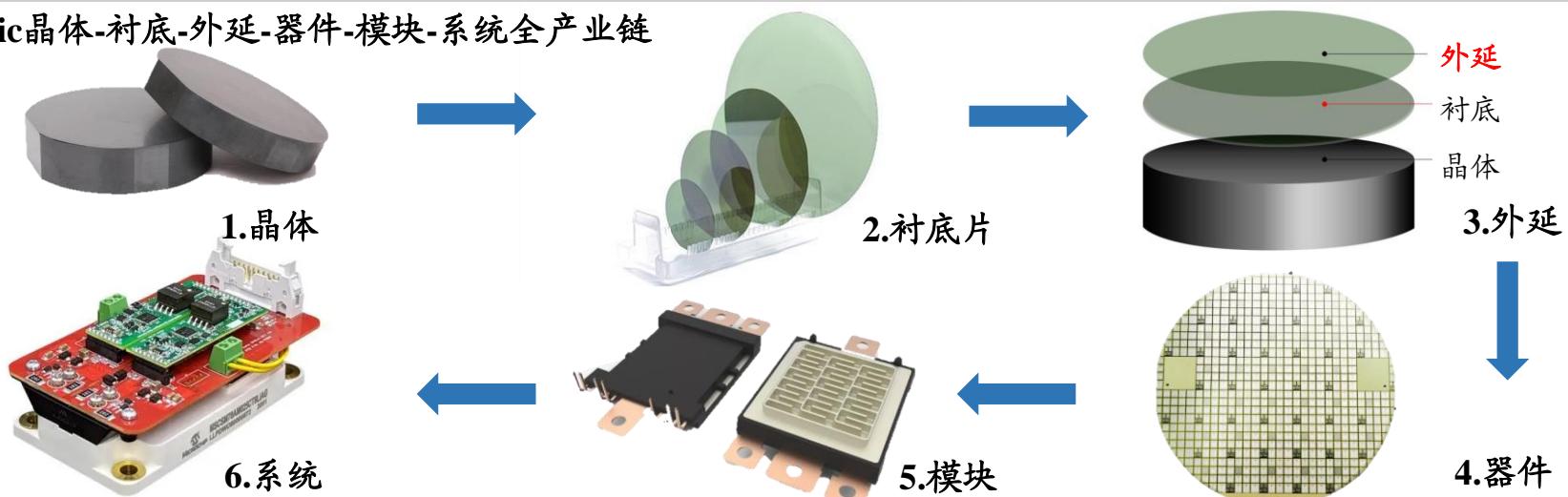
### 3.1. 外延片：晶体结构优质可控，可分为同质外延&异质外延

- 外延工艺必不可少。与传统硅器件不同，碳化硅器件不能直接制作在衬底上，需要在衬底上生长一层晶相同、质量更高的单晶薄膜(外延层)，再制作器件。外延可分为①同质外延：在导电型SiC衬底生长SiC，常用于低功率器件/射频器件/光电器件；②异质外延：在半绝缘SiC衬底生长GaN，常用于高功率器件。
- 外延晶体更优质可控，层厚越大，耐压越高。碳化硅晶体生长的过程中会不可避免地产生缺陷、引入杂质，导致质量和性能不足，而外延层的生长可以消除衬底中的某些缺陷，使晶格排列整齐。外延厚度越大（难度越大），能承受的电压越高，一般100V电压需要1μm厚度外延，600V需要6μm，1200-1700V需要10-15μm，15000V则需要上百微米（约150μm）。

#### ◆ SiC外延分为异质/同质两种类型

外延类型	衬底	电阻率	尺寸	外延层	器件	应用领域
同质外延	导电型	15-30mΩ·cm	6寸为主，向8寸发展	碳化硅SiC	低功率器件/射频器件/光电器件	新能源汽车、轨道交通以及大功率输电变电
异质外延	半绝缘	$\geq 10^5\Omega\cdot\text{cm}$	4寸为主，向6寸发展	氮化镓GaN	高功率器件( $\geq 650\text{V}$ )	信息通讯、无线电探测

#### ◆ 图：SiC晶体-衬底-外延-器件-模块-系统全产业链



### 3.1. 外延片：工艺难度大，Wolfspeed的SiC外延厚度已实现200μm

- SiC外延需严格控制缺陷，工艺难度大。SiC外延会复制衬底的晶体结构，因此外延层缺陷包括来自衬底的缺陷（如微管、贯穿螺型位错TSD、贯穿刃型位错TED、基平面位错BPD），以及生长过程的位错以及宏观缺陷（如掉落物、三角形缺陷、胡萝卜缺陷/彗星型缺陷、浅坑、生长的堆垛层错）。
- 掉落物、三角形缺陷等属于致命性缺陷。衬底缺陷的TSD和TED基本不影响碳化硅器件性能，只有BPD会引发器件性能的退化。而生长过程的掉落物、三角形缺陷等是致命性缺陷，一旦出现，会导致器件测试失败（击穿电压VB降低20%~90%），良率大幅降低。
- 低缺陷&厚外延是主要趋势：随着器件耐压等级的提高，外延厚度从过去几微米发展到几十甚至上百微米。Wolfspeed (Cree)的N/P型碳化硅外延厚度均可达到200μm，国内存在一定差距，瀚天天成N型碳化硅外延厚度达40μm，东莞天域N型碳化硅外延厚度做到30μm。

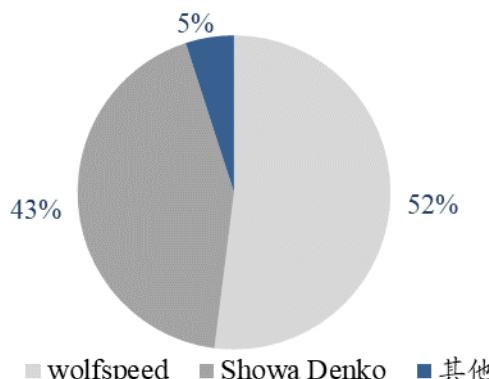
#### ◆ SiC外延常见的缺陷类型

类型	缺陷/器件	SBD	MOSFET,JFET	PIN, BJT, 晶闸管, IGBT
衬底缺陷	贯穿螺型位错TSD（无蚀坑）	无	无	无，但会引发局部载流子寿命降低
	贯穿刃型位错TED（无蚀坑）	无	无	无，但会引发局部载流子寿命降低
	基平面位错BPD（包括界面位错、半环阵列）	无，但会引发MPS二极管退化	无，但会引发二极管退化	双级退化（导通电阻及漏电流增加）
生长缺陷	内生堆垛层错	VB降低（20~-50%）	VB降低（20~-50%）	VB降低（20~-50%）
	胡萝卜缺陷、三角形缺陷	VB降低（30~-70%）	VB降低（30~-70%）	VB降低（30~-70%）
	掉落物缺陷	VB降低（50~-90%）	VB降低（50~-90%）	VB降低（50~-90%）

### 3.1. 外延片： Wolfspeed & 昭和电工双寡头垄断，设备成为最大掣肘

- 国外双寡头垄断全球市场，CR2超90%。2020年Wolfspeed与昭和电工分别占据全球碳化硅导电型外延片市场52%和43%的市场份额，合计高达95%，形成双寡头垄断。由于进口外延炉供货短缺+国内外延炉仍需验证+外延工艺难度大，国内SiC外延厂商较少，市占率较低。
- 瀚天天成和东莞天域国内CR2超80%。①技术方面：6寸外延均较为成熟和稳定，8寸均有储备，其中瀚天天成已实现8寸外延技术的突破，且具有量产能力；东莞天域正攻克关键技术，预计2025年首条8寸外延产线投产。②产能方面：瀚天天成2022年6寸产能达12万片，2023年计划产能40万片（包括6/8寸），至2025年产能目标约140万片；东莞天域2022年6寸产能达8万片，并且启动年产100万片的6/8寸外延项目，预计2025年竣工并投产。

#### ◆ SiC外延片竞争格局



#### ◆ SiC外延片国产率低

- 进口外延炉供货短缺
- 国产外延炉有待验证
- 外延片量产质量不稳定（浓度、厚度一致性），难量产

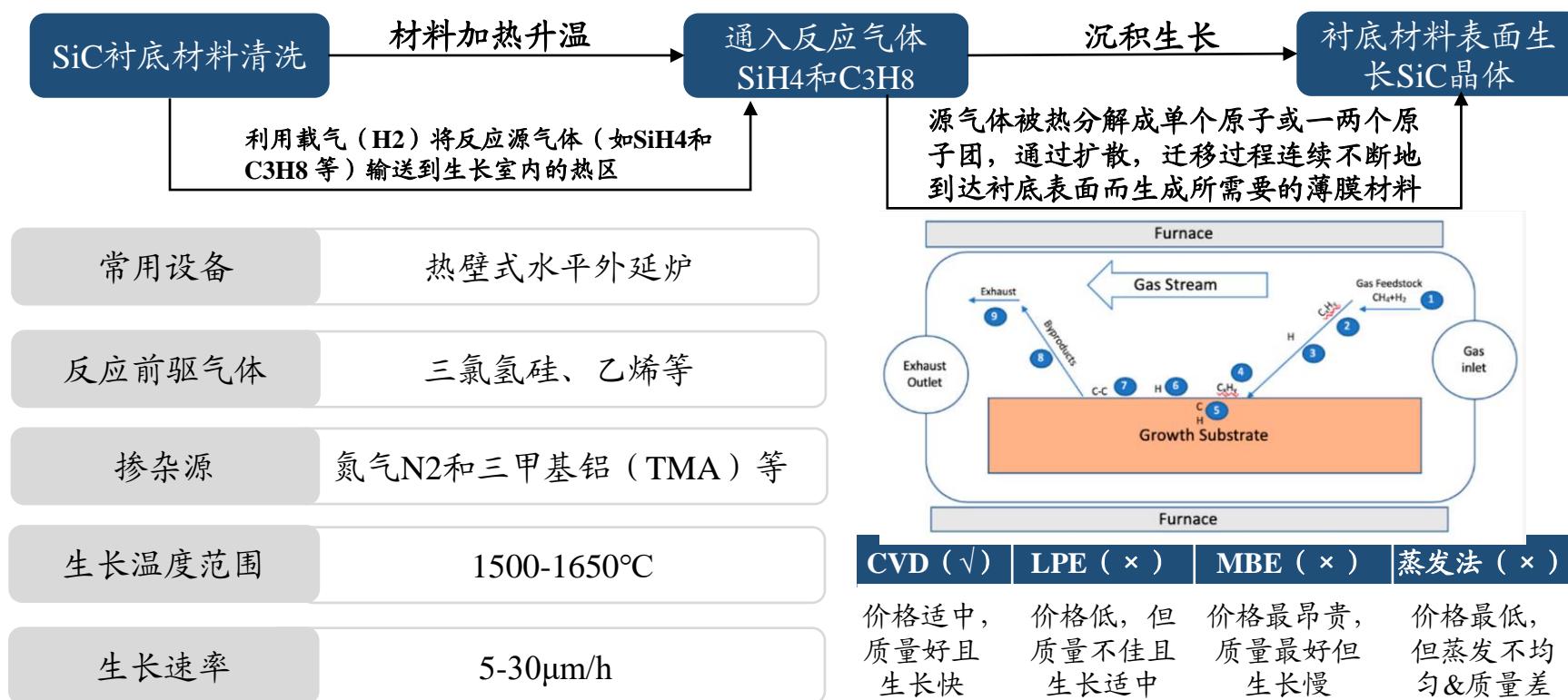
#### ◆ 国内外碳化硅外延厂商产品/产能布局

	厂商	外延片尺寸	产能/规划	外延设备供应商
国外	Wolfspeed	6寸为主， 25年供8寸	22年产约230万片	超100台， Aixtron/LPE 为主
	昭和电工	6寸/8寸	22年产约190万片	超100台， Nuflare为主
	SK Siltron	6寸/8寸	Qorvo与SK Siltron签订一项SiC衬底 和外延片多年供货协议	-
	Coherent	8寸	22年3月宣布扩产6英寸和8英寸SiC衬 底和外延片（厂房近30万平方英尺）	-
国内	瀚天天成	6寸为主， 8寸已突破	22年产12万片； 23年产40万片； 25年 年产140万片	> 80台， LPE为主
	东莞天域	6寸为主， 8寸研发中	22年产8万片， 100万片产能项目启动	> 60台， LPE/深圳纳设
	南京百识	6寸为主	21年正式投产， 23年销售5万片	NuFlare/芯三代为主
	中电化合物	6寸为主	21年正式投产， 23年销售5万片	NuFlare、 LPE为主
	露笑科技	6寸	23年产5万片	-
	三安光电	8寸	公司与意法半导体拟32亿美元(228亿 元)合建8英寸碳化硅外延/芯片代工厂	北方华创等

### 3.2. 外延炉：CVD成本适中&质量好&生长速度快，是主流外延技术

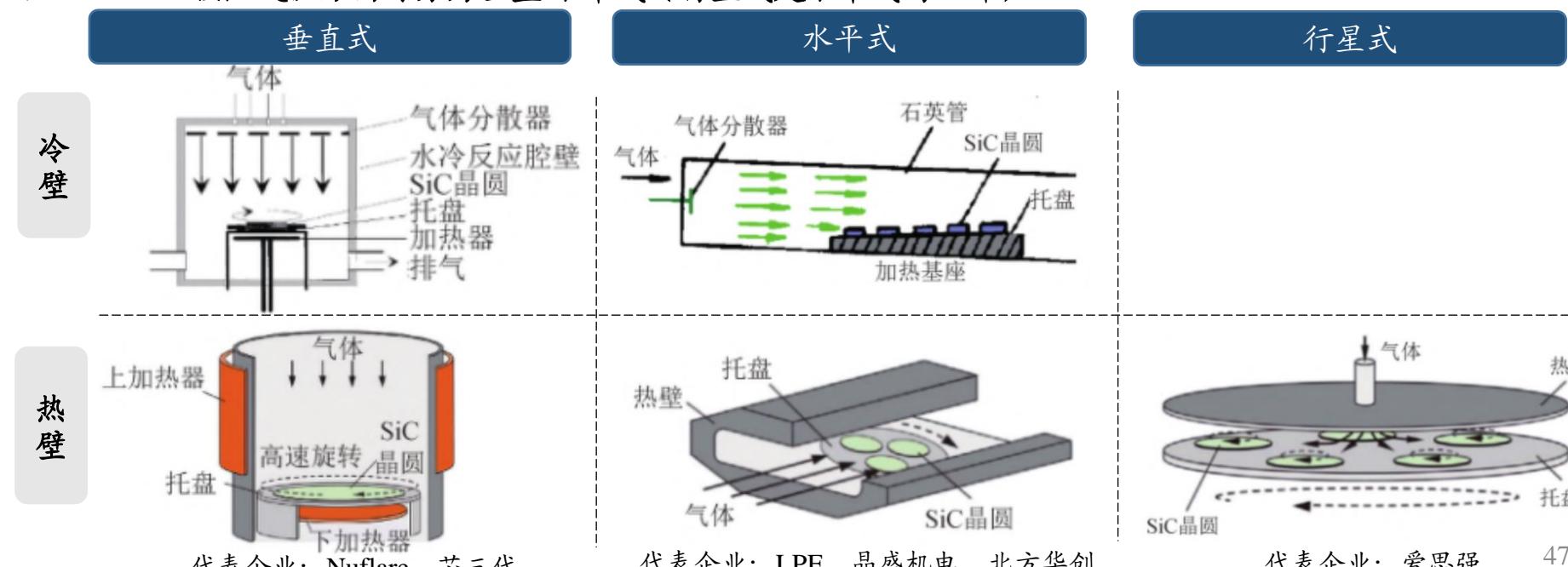
- SiC外延主要设备是CVD。SiC外延需要严格控制厚度均匀性、掺杂均匀性、缺陷率和生长速率，方法包括化学气相沉积CVD、液相外延LPE、分子束外延MBE等，其中CVD兼备成本适中+外延质量好+生长速度快的优势，应用最广。CVD工艺流程：①利用载气（H<sub>2</sub>）将反应源气体（如SiH<sub>4</sub>/C<sub>3</sub>H<sub>8</sub>）输送到生长室内的热区；②气体达到被加热的SiC衬底，反应沉积单晶薄膜（外延片）。
- MOCVD是新型CVD，沉积温度更低&沉积层多样。MOCVD反应源是金属有机化合物，传统CVD是无机化合物，一般有机物熔点比无机物低，且种类远大于无机物。因此MOCVD沉积温度（500-1200°C）显著低于传统CVD（900-2000°C），且能在不同衬底上沉积超薄层甚至原子层的特殊结构表面。

#### ◆ CVD制作SiC外延片过程



### 3.2. 外延炉：水平/垂直式多技术并行，多腔&多片有效提高产能

- CVD分为冷壁和热壁，热壁是主流。冷壁的壁温<基片温度，在反应室内对基片加热，器壁和原料区都不加热；热壁的壁温>基片温度，在反应室外对器壁+原料区+基片加热。冷壁CVD结构简单，但热辐射损失大，导致加热效率很低，且温场/流场不均匀，晶体表面温度梯度很大( $>100\text{K/mm}$ )，容易翘曲；热壁CVD克服了这些缺点，改变加热方式&增加绝热材料(如石墨)，温场/流场更均匀，温度梯度显著降低( $<10\text{K/mm}$ )，外延质量好，是量产CVD的主流。
- 水平式难度较低，是新进入者首选。水平式/行星式CVD技术难度&成本相对较低，是新进入者的首选，但水平式气体迁移路径长，膜厚和掺杂浓度不稳定，同时气体入口距衬底近，流场和温场不均匀，容易形成SiC颗粒掉落，造成缺陷；垂直式的气体入口距衬底较远，流场和温场更均匀，不易生成SiC颗粒，但技术难度大&设备昂贵，使用垂直式的主要是Nuflare。
- ◆ SiC-CVD按照气流方向可分为垂直/水平式(行星式是水平式的一种)

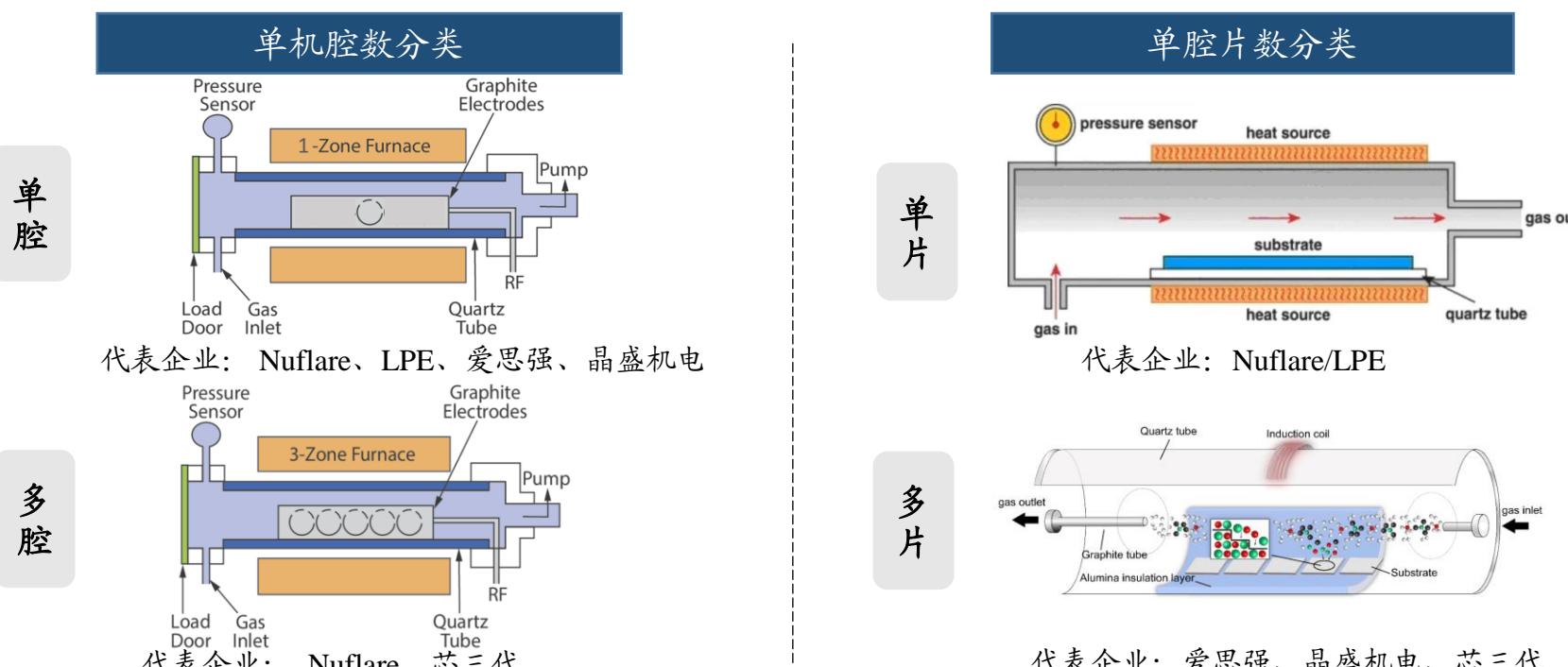


代表企业：Nuflare、芯三代

代表企业：LPE、晶盛机电、北方华创

代表企业：爱思强

- **单机多腔VS单机单腔。**单腔室中的多步工艺可以转变为多腔室中的单步工艺，这种设计有利于简化腔室内的设计，提升工艺的效率和重复性。当某个腔室发生故障时，可以单独维修，而不影响其他腔室的工艺，提高设备稼动率与整线的产出，但双腔室技术难度远高于单腔室。Nuflare的双腔\*单片6寸产能约1500-1800片/月（全自动），而原先的单腔\*单片产能约600片/月，产能实现翻番。
- **单腔单片VS单腔多片。**单腔多片通过片数的增加提高单位时间产能，但单腔多片的难点在于控制多片外延的厚度均一性、掺杂均一性。例如国外爱思强曾采用单腔8片式，产能600-1200片/月，但气体浓度控制难度大，外延不均匀且缺陷比较多，不受市场认可。国内晶盛机电成功推出了6寸单腔双片式，产能达到600-650片/月，比单腔单片产能增加70%，单片运营成本降幅可达30%以上。
- ◆ SiC-CVD按照技术路线可分为单机单腔/单机多腔，单腔单片/单腔多片



### 3.2.外延炉：国外厂商主导，未来2-3年有望快速实现国产替代

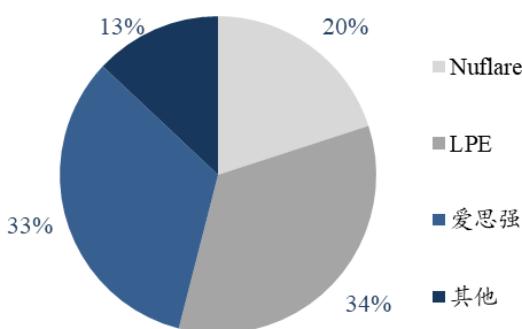
- 国内外外延设备由国外厂商主导，国内主打外延设备以意大利的LPE、德国的爱思强、日本的Nuflare产品为主，其MOCVD设备的核心差异是对气体流量的控制：（1）Nuflare：垂直气流，喷淋头和托盘距离长，优势在于流场均匀、particle少、产能大，缺陷在于设备成本高（3500万元单腔）、厚度和掺杂的均匀性略差、耗材成本高。（2）LPE：水平气流，优势在于价格适中（1100万元单腔）、生长速率高、厚度和掺杂的均匀性较好，缺陷在于上壁粒子掉落导致良率偏低、工艺可调性差、PM周期短、单设备产能提升难度大。（3）爱思强：垂直气流（公转+自转），优势在于厚度和掺杂的均匀性好，缺陷在于重复性差（不适用量产）、Particle较多。
- 未来2-3年SiC MOCVD设备国产替代加速。国内设备相对国外在技术、成本和性价比方面具备优势，在SiC产业即将迎来井喷之际，时间上不允许国外几家厂商进行大的技术方案革新或者推倒重来。我们预计接下来2-3年SiC MOCVD会出现和LED MOCVD格局类似的演变，即市场上国产短时间内大量替代国外设备。

	意大利LPE	德国爱思强（GSWW）	日本Nuflare（S6）	芯三代设备
工艺类型	水平气流	垂直气流 喷淋头和托盘距离短 自转+公转	垂直气流 喷淋头和托盘间距大	垂直气流 喷淋头和托盘间距适中
厚度均匀性	0.5-1.5%	<1%	<2%	<b>&lt;1.5%</b>
掺杂均匀性	1.5-5%	<4%	<4%	<3%
缺陷	<0.5/cm <sup>2</sup>	<0.5/cm <sup>2</sup>	<0.02/cm <sup>2</sup>	<0.02/cm <sup>2</sup>
生长速率	≤90μm/h	>25μm/h	>50μm/h	>50μm/h
升温/冷却时间	---	20+40min/65+14min	7min/7min	<b>7-15min/7-30min</b>
最高温度	1650°C	1650°C	1650°C	1650°C
温度均匀性	<2°C	<2°C	4"wafer<1°C 6"wafer<2°C	6"wafer<1.5°C
设备价值量	1100万RMB 单腔	2200万RMB 单腔	3500万RMB 双腔	<b>1200~万RMB 单腔</b>
单腔产能（6寸）	单腔*单片 300~500片/月	单腔*8片 600~1200片/月	双腔*单片 1500~1800片/月	单腔*3片（可扩更多片）； <b>600~2000片/月</b>
优势	生长速率高，价格适中，厚度和掺杂的均匀性较好	厚度和掺杂的均匀性好	流场均匀，Particle少，设备利用率高	<b>厚度和掺杂的均匀性好，生长速率高，价格低</b>
劣势	工艺可调性差，Particle多，PM周期短	Particle非常多，重复性差（不适用于量产），衬底背面污染	厚度和掺杂的均匀性略差，设备成本高，耗材成本高	验证迭代需要时间

### 3.2.外延炉：海外龙头Nuflare/ LPE产能不足，国产替代好时机

- 海外产能不足，Nuflare基本供给美国，LPE只保证瀚天天成&东莞天域，爱思强口碑难以逆转。（1）NuFlare：年产能约12台，订单基本被国际大公司买断，预计在25年才开始供应国内市场；（2）LPE：年产能30台+，效率不及Nuflare，2/3设备供给中国，22年主要供给瀚天天成和东莞天域，23年天成转向国产设备后，LPE客户将仅有天域；（3）爱思强：唯一一家多片型厂商，但是工艺达不到要求，缺陷多&不均匀，口碑难以逆转。
- 国外设备短缺，利好国产替代。国内厂商晶盛机电、北方华创、芯三代、中电48所和深圳纳设智能主要借鉴LPE的水平气流&单片外延方式，其中芯三代也研发Nuflare垂直气流&双腔外延方式。其中晶盛机电6寸单片式碳化硅外延设备（型号为150A，产能350-400片）已实现国产替代，22年公司外延设备市占率居国内前列。23年6月公司又成功研发8英寸单片式碳化硅外延生长设备，引领国产替代。

#### ◆ SiC-MOCVD设备竞争格局



#### ◆ SiC-MOCVD设备进展/产能规划

厂商	设备进展/产能规划
NuFlare	年产能约12台，大部分订单被国际大公司买断，订货周期特别长。2025年才开始供应国内市场。
LPE	年产能约30台，2/3供给中国，国内厂商只有瀚天天成与LPE签订合约，可保证每年20-30台外延炉设备供应。
爱思强	由于设备稳定性问题尚未完全进入国内供应链。
晶盛机电	2018年开始开发单片式外延设备，2023年发布双片式外延设备
北方华创	外延设备应用广泛，包括单晶硅、多晶硅、碳化硅（SiC）、氮化镓（GaN）、磷化铟（InP）等
中电48所	主要客户是比亚迪，比亚迪已经投资2亿元建设一条碳化硅外延片生产线，生产规模为12000片/年。
深圳纳设	纳设智能已与超过10个客户签署销售合同
芯三代	累计已签署了超亿元的SiC外延设备销售合同

#### ◆ 国内水平流、手动、单腔：

- 晶盛机电 北方华创
- 中电48所 深圳纳设

#### ◆ 国内垂直流、自动、双腔：

- 芯三代半导体

### 3.2.外延炉：2025年全球/国内SiC-MOCVD新增市场空间约130/57亿元

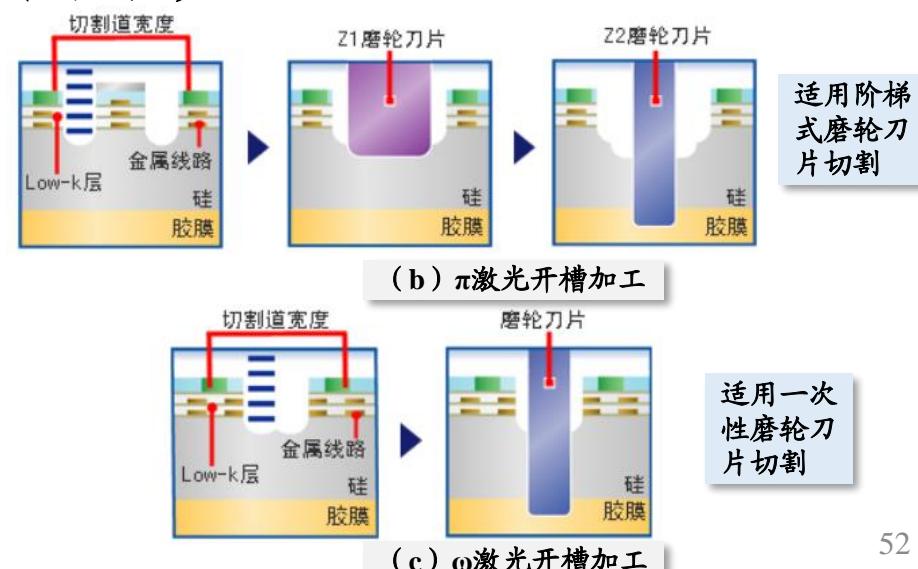
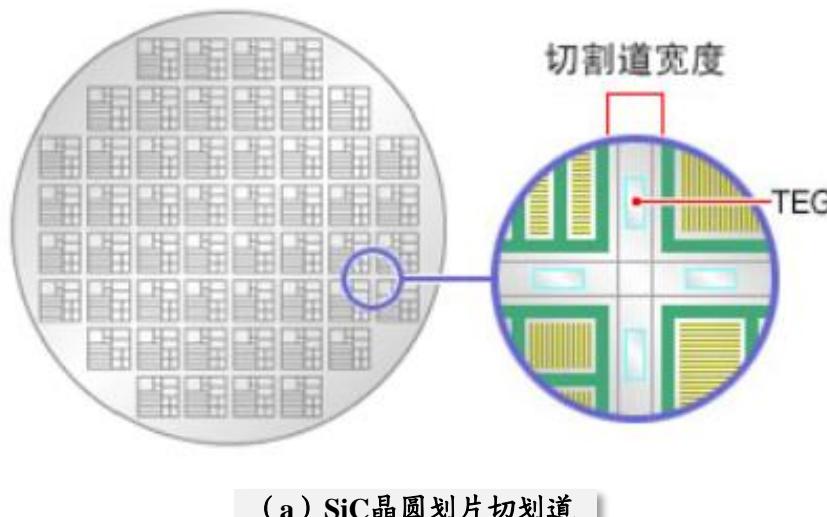


- 核心假设：（1）假设碳化硅外延炉实际产能逐年提升，2022-2025分别为0.48/0.48/0.50/0.52万片/年/台（0.48万片/年对应400片/月，即晶盛机电6寸单片式外延炉产能上限）；（3）2022-2025年碳化硅外延炉平均价格分别为1200/1100/1000/1000万元/台。
- ◆ 2025年全球/国内碳化硅外延炉新增市场空间约130/53亿元，2023-2025年CAGR约75%/88%

	2022	2023E	2024E	2025E
<b>全球：</b>				
全球导电型6寸碳化硅衬底需求量（万片）	19.8	88.0	212.3	475.3
全球半绝缘型6寸碳化硅衬底需求量（万片）	68.4	95.3	136.8	197.3
<b>全球6寸碳化硅衬底片需求量（万片）①</b>	<b>88.1</b>	<b>183.3</b>	<b>349.1</b>	<b>672.6</b>
单台设备产能（万片/年/台）②	0.48	0.48	0.50	0.52
设备需求量（台）③=①/②	184	382	698	1294
设备价格（万元/台）④	1200	1100	1000	1000
<b>市场空间（亿元）⑤=③*④</b>	<b>22</b>	<b>42</b>	<b>70</b>	<b>129</b>
<b>中国：</b>				
中国导电型6寸碳化硅衬底需求量（万片）	9.5	33.5	112.3	197.5
中国半绝缘型6寸碳化硅衬底需求量（万片）	21.9	32.4	49.3	78.9
<b>中国6寸碳化硅衬底片需求量（万片）①</b>	<b>31.4</b>	<b>65.9</b>	<b>161.5</b>	<b>276.5</b>
单台设备产能（万片/年/台）②	0	0	1	1
设备需求量（台）③=①/②	65	137	323	532
设备价格（万元/台）④	1200	1100	1000	1000
<b>市场空间（亿元）⑤=③*④</b>	<b>8</b>	<b>15</b>	<b>32</b>	<b>53</b>

### 3.3. 划片：激光开槽有效降低SiC晶圆机械划切崩边带来的不良影响

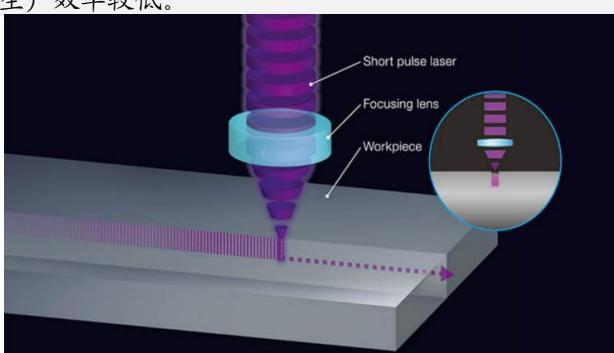
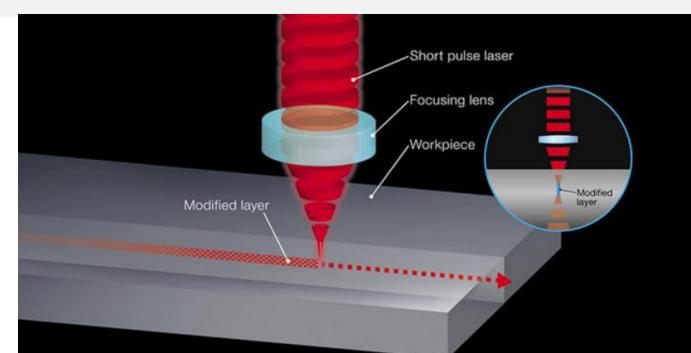
- SiC晶圆硬度高、脆性大、韧性低，传统晶圆机械切割容易造成较多缺陷。传统机械切割（砂轮）方法是最常见的晶圆划片方法，刀片可根据产品选择。而SiC晶圆莫氏硬度分布在9.2-9.6，高硬度、高脆性、低断裂韧性使得其磨削加工过程中易引起材料的脆性断裂，切割槽的背面容易出现崩刀，裂纹，崩边大，层状剥离等缺陷。严重影响良品率，降低了产能效益，增加生产成本。
  - 通过激光开槽工艺，先行在划切道内开2条细槽，再采用机械刀片划片，有效减小崩边等因素带来的缺陷。日本DISCO针对SiC晶圆难以使用普通金刚石刀片进行划切加工的问题，开发了一种激光开槽加工工艺。先在切割道内切开2条细槽（开槽），然后再使用磨轮刀片在2条细槽的中间区域实施全切割加工。通过采用该项加工工艺，能够提高生产效率，减少甚至解决因崩裂、分层（薄膜剥离）等不良因素造成的加工质量问题。
- ◆ 图：激光开槽有效降低高硬度SiC晶圆机械划切崩边带来的不良影响



### 3.3. 划片：隐形激光切割技术为高硬脆SiC晶圆提供成熟解决方案

- 激光划片有效解决砂轮划片崩刃、刀具磨损等问题，但是热效应和熔渣仍是不可忽视的问题。激光划片是指将激光能量于极短的时间内集中在微小区域，使固体升华、蒸发的全切割加工，开槽加工方式，属于激光烧蚀加工技术。激光划片属于非接触式加工，加工效率跟晶圆厚度有密切关系，厚度越厚，划片速度越慢，吞吐量就越低。
- 采用隐形激光切割技术，有效减小切割道损耗，是主流的激光划片技术路线。激光隐形切割通过将脉冲激光的单个脉冲通过光学整形，让其透过材料表面在材料内部聚焦，在焦点区域能量密度较高，形成多光子吸收非线性吸收效应，使得材料改性形成裂纹。每一个激光脉冲等距作用，形成等距的损伤即可在材料内部形成一个改质层。在改质层位置材料的分子键被破坏，材料的连接变的脆弱而易于分开。切割完成后通过拉伸承载膜的方式，将产品充分分开，并使得芯片与芯片之间产生间隙。

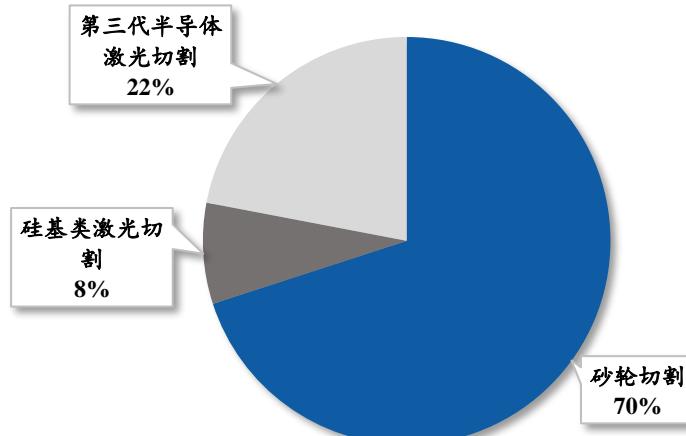
◆ 图：隐形激光切割技术更适用于第三代半导体划片，减小材料加工损耗，简化加工工序

参数对比		激光表面直接划片	隐形激光划片
优点		<ul style="list-style-type: none"><li>①不会产生崩刃、刀具磨损和水污染；</li><li>②适用于异形工件、较脆材料的加工，比如第三代半导体材料、超薄硅片的划片，避免传统刀片划片进给速度引发的破片风险。</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>①由于工件内部改质，因此可以抑制加工屑的产生，适用于抗污垢性能差的工件；</li><li>②适用于抗负荷能力差的工件，且采用干式加工工艺，无需清洗；</li><li>③可以减小切割道宽度，因此有助于减小芯片间隔，适用于窄划道工件。</li></ul>
缺点		<ul style="list-style-type: none"><li>①热影响和夹渣是不可忽视的问题，通过冷加工355nm紫外激光或超快激光，在非常高的加工要求规则下，仍具有一定的热效应；</li><li>②激光聚焦无法精确控制到刀具的深度，晶圆完全切穿时，蓝膜往往会被破坏，影响后续的晶体膨胀过程；</li><li>③激光烧蚀在表面会产生碎屑，需要额外的湿法清洗工序，有切割道，相对而言生产效率较低。</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>①技术实现存在一定难度；</li><li>②设备价格相对更高。</li></ul>
工艺示意图	 		

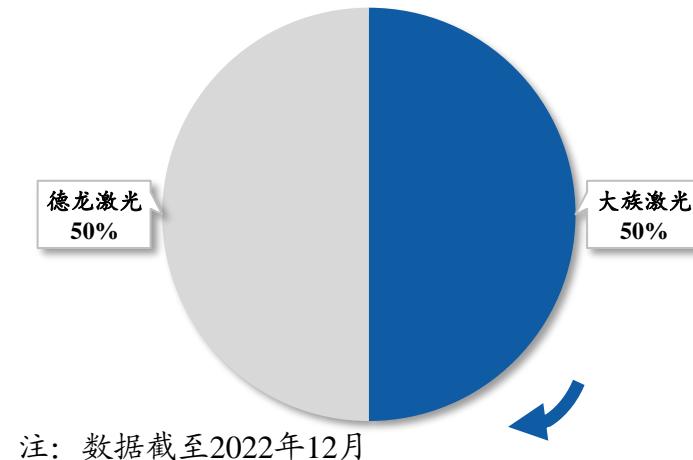
### 3.3. 划片：德龙激光、大族激光是唯二国产激光划片设备厂商

- 以SiC为代表的第三代半导体材料基本采用激光切割划片。截至2023年7月，划片行业晶圆切割约70%市场份额为砂轮切割。传统硅基类90%采用砂轮切割；碳化硅作为第三代半导体材料，主要用于功率器件芯片以及射频芯片器件的制造，生产、加工难度较大，采用传统砂轮切割工艺，材料耗损高，产出率、良率、切割效率均存在一定问题，因此基本采用激光切割。
- 德龙激光、大族激光是国内唯二的激光划片设备厂商，市场份额接近平分。在晶圆激光切割领域，国内主要参与者仅有德龙激光和大族激光两家，早期德龙激光市场占比更多，随着大族激光加入晶圆激光切割市场，截至2022年12月，两家市场份额各占约50%。

◆ 图：第三代半导体基本采用激光切割划片



◆ 图：德龙激光、大族激光平分激光划片设备市场



### 3.3. 划片：2025年全球/国内激光切割设备新增市场空间约5/2亿元

- 核心假设：（1）假设激光切割设备实际产能逐年提升，2022-2025分别为3.00/3.25/3.50/3.75万片/年/台（3.00万片/年对应2500片/月，即德龙激光切割设备单台产能）；（2）2022-2025年激光切割设备平均价格分别为400/350/300/280万元/台。
- ◆ 2025年全球/国内激光切割设备新增市场空间约5/2亿元，2023-2025年CAGR约60%/71%

	2022	2023E	2024E	2025E
<b>全球：</b>				
全球导电型6寸碳化硅衬底需求量（万片）	19.8	88.0	212.3	475.3
全球半绝缘型6寸碳化硅衬底需求量（万片）	68.4	95.3	136.8	197.3
<b>全球6寸碳化硅衬底片需求量（万片）①</b>	<b>88.1</b>	<b>183.3</b>	<b>349.1</b>	<b>672.6</b>
单台设备产能（万片/年/台）②	3.00	3.25	3.50	3.75
设备需求量（台）③=①/②	29	56	100	179
设备价格（万元/台）④	400	350	300	280
<b>市场空间（亿元）⑤=③*④</b>	<b>1.2</b>	<b>2.0</b>	<b>3.0</b>	<b>5.0</b>
<b>中国：</b>				
中国导电型6寸碳化硅衬底需求量（万片）	9.5	33.5	112.3	197.5
中国半绝缘型6寸碳化硅衬底需求量（万片）	21.9	32.4	49.3	78.9
<b>中国6寸碳化硅衬底片需求量（万片）①</b>	<b>31.4</b>	<b>65.9</b>	<b>161.5</b>	<b>276.5</b>
单台设备产能（万片/年/台）②	3.00	3.25	3.50	3.75
设备需求量（台）③=①/②	10	20	46	74
设备价格（万元/台）④	400	350	300	280
<b>市场空间（亿元）⑤=③*④</b>	<b>0.4</b>	<b>0.7</b>	<b>1.4</b>	<b>2.1</b>

# 目录



1 SiC行业概况：第三代半导体材料性能优越，新能源车等场景带动SiC放量

2 SiC衬底：材料端良率提升是关键，设备端生长、切片、研磨抛光各环节国产化率逐步提升

3 SiC外延：国外设备商主导，未来2-3年有望快速实现国产替代

4 本土重点公司

5 投资建议

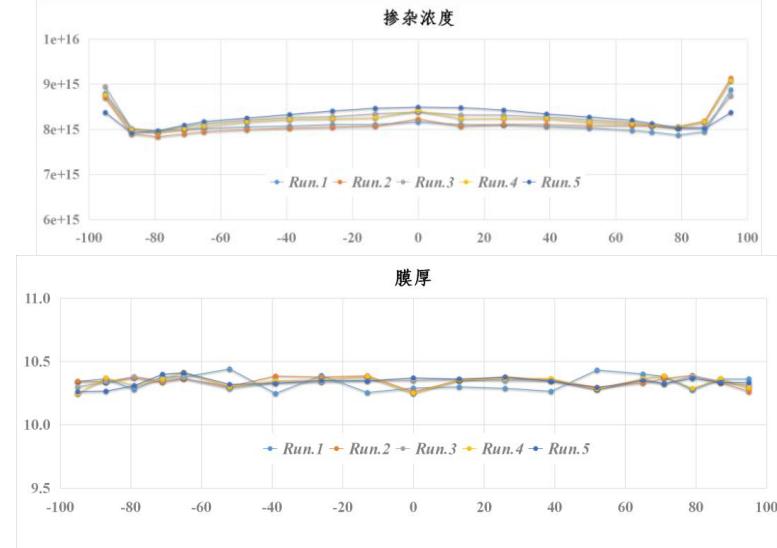
6 风险提示

- 2022年公司6寸外延设备市占率国内第一，2023年国内首发8寸单片式SiC外延设备。晶盛机电于2017年涉足碳化硅领域，2022年晶盛机电行业首发6寸单片式碳化硅外延设备（型号为150A，产能350-400片）并实现国产替代，市占率为国内第一。2023年2月公司成功发布6寸双片式碳化硅外延设备（型号为150D，产能600-650片），同年6月再次成功推出8寸单片式碳化硅外延生长设备。
- 8寸单片式SiC外延设备兼容6&8寸衬底：8寸设备基于6寸的温度高精度闭环控制、工艺气体精确分流控制等技术，解决了腔体的温场均匀性、流场均匀性等难题，相比于6寸，8寸碳化硅晶圆成本有望降低60%以上。
- 技术指标处于行业领先：截至2023年7月，晶盛机电在子公司晶瑞的8英寸衬底基础上，已实现8英寸单片式碳化硅外延生长设备的自主研发与调试，外延的厚度均匀性1.5%以内、掺杂均匀性4%以内，未来外延设备迭代方向将从单片到多片（单腔多片式或单片多腔式），增加单位产能、降低生产成本。

◆ 图：晶盛机电8英寸单片式碳化硅外延设备



◆ 图：8英寸单片式碳化硅外延生长设备外延的厚度均匀性1.5%以内、掺杂均匀性4%以内，已达到行业领先水平



- **6寸SiC衬底已批量供应。**公司已经成功生长出有效厚度25mm-30mm的6英寸导电型碳化硅晶体，2021H2开始向客户送样，通过了下游客户和第三方检测机构的验证，且已取得客户A意向性合同，2022年-2025年公司将优先向其提供碳化硅衬底合计不低于23万片。
- **8寸SiC衬底预计23年下半年小批量供应：**2022年8月晶盛利用自主开发的设备成功研发8英寸SiC晶体，晶坯厚度25mm，直径214mm，是晶盛在大尺寸SiC晶体研发上取得的重大突破。2023年上半年公司衬底片材料仍处于技术迭代中，通过优化工艺降低成本，为批量化生产夯实基础，23年下半年8英寸衬底将小批量供应。
- **公司积极扩产：**晶盛本拟投资31.34亿元用于碳化硅衬底片生产项目，后定增方案调整选择自有资金布局，有望2023年迎来放量。达产后将形成40万片6英寸及以上尺寸的导电型和半绝缘型碳化硅衬底片的年产能。  
(风险提示：研发进展不及预期，下游扩产不及预期)

◆ 图：8英寸晶体完成扩径和迭代，实现小样生产

◆ 图：8英寸晶片加工工艺完成



- 迈为在2019年立项研磨机，2023年SEMICON展示了针对碳化硅的、经过主轴功率改造的碳化硅研磨设备，应用于4/6/8英寸碳化硅、蓝宝石等硬质材晶圆的减薄。同时展示半导体晶圆激光改质切割设备，应用于8/12英寸硅晶圆及碳化硅、氮化镓等第三代半导体内部改质切割。  
(风险提示：研发进展不及预期，下游扩产不及预期)

◆ 图：2023SEMICON迈为推出的碳化硅研磨设备、半导体晶圆激光改质切割设备



应用于4/6/8英寸碳化硅、蓝宝石等硬质材晶圆的减薄

- ✓ 可可视化操作管理，实时显示和监控关键加工信息
- ✓ 视觉检测和定位系统可识别晶圆正反面，自动定位补偿
- ✓ 物料信息扫描录入、防止晶圆斜插
- ✓ Fab晶圆级搬运手臂Z轴最小行程：120mm
- ✓ 双高刚性气浮主轴设计，搭配自主研制的高目数磨轮



应用于8/12英寸硅晶圆及碳化硅、氮化镓等第三代半导体内部改质切割

- ✓ 配备高功率红外激光器(极小的激光溅射)，兼容不同厚度晶圆产品切割需求
- ✓ 高精密直线电机，高速度X-Y运动平台
- ✓ 配备SLM激光调制技术，具有光斑整型及补偿功能
- ✓ 配备DFT动态追踪补偿系统，高精度的晶圆表面起伏追踪及补偿系统
- ✓ 配备双光束（2-Beam）同时加工作业

- 2022年底，高测股份升级推出GC-SCDW8300型碳化硅切片机。该产品是一款使用金刚线切割半导体碳化硅晶锭的专用加工设备，可加工晶锭直径兼容6寸、8寸，最大加工长度300mm，对比砂浆切割提升1倍以上产能，出片率较竞品提升5%以上，截至2023年7月，已在行业形成销售。
- GC-SCDW8300型碳化硅切片机可以提升切割效率及出片率。加工时间≤20h，对比砂浆切割提升1倍以上产能；最大线速可达3000m/min，处于行业领先水平；采用φ0.14mm及以下金刚线切割，出片率较竞品提升5%以上；进口全同步电气控制系统，响应时间可达0.4ms；全同步伺服系统配备更稳定可靠的断电保护方案，供电异常时设备停机不断线概率提升至95%以上。
- GC-SCDW8300型碳化硅切片机可以降低生产成本。采用碳化硅切片专用金刚线，单片线耗≤700m；使用水基切割液，绿色环保，综合切割成本降低30%以上。

◆ 图：2023中国半导体新材料发展（唐山）论坛  
高测新一代GC-SCDW8300型碳化硅切片机



◆ 图：GC-SCDW8300型碳化硅切片机设备参数

产品参数		
项目	单位	内容
最大工件尺寸	mm	6~8"×L300
进线方向	/	单向进线/双向进线
最大线速	m/min	3000
切割方式	/	下切割
快进、快退	mm/min	50~500
最大摇摆角度	°	±10
最大储线量	km	120
设备尺寸 (长x宽x高)	mm	约4880×2100×3100
设备重量	kg	约14000

- 在GC-SCDW8300型碳化硅切片机推出的同时，高测推出碳化硅专用金刚线、碳化硅倒角砂轮、碳化硅减薄砂轮等设备，提供一体化碳化硅解决方案。
- 公司碳化硅专用金刚线是碳化硅材料切片的专用线材，具有稳定性高、切割效率高、不易断线等优势。得益于特有的自动化控制系统，可做到更小的砂量波动，保证切割产品的一致性，砂量分布均匀，切割效率高；生产过程在高清监控设备下运行，可追溯；特殊处理工艺，金刚线韧性好，不易断线，耐磨性好。
- 公司碳化硅倒角砂轮主要用于碳化硅晶片的倒角磨削，根据需求设计沟槽形状及数量，形状保持型好，寿命长，加工工件无缺陷。

(风险提示：研发进展不及预期，下游扩产不及预期)

◆ 图：公司碳化硅专用金刚线产品及参数



◆ 图：碳化硅倒角砂轮



◆ 图：碳化硅减薄砂轮



产品参数

规格型号	成品线径(mm)	用途
0.16mm	Φ0.16	碳化硅切片
0.2mm	Φ0.2	碳化硅切片
0.23mm	Φ0.23	碳化硅切片

## 4.4. 德龙激光：下游封测段稳固SiC晶圆划片业务

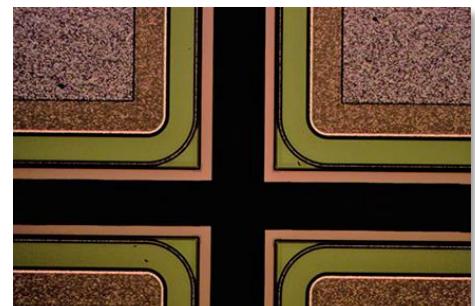
- 半导体领域进入门槛高、周期长，德龙激光向下游封测段稳固SiC晶圆划片业务。半导体领域设备调试、验证周期较长，至少需要6-12个月，且晶圆厂商通常在产能扩展时才考虑设备更新迭代，设备进入难度极高。德龙激光2018年开始进入SiC领域，公司研发的应力诱导切割方法擅长切割超硬和超脆材料，并顺利用该方法实现了SiC晶圆的高品质快速切割，切割截面均匀度较传统机械方法有明显的改善。
- 德龙激光研发的Inducer-5560型SiC晶圆划片设备具备多重工艺优势。针对主流6寸SiC晶圆，最大切割速度为500 mm/s，工艺成熟，可针对航天航空、电力电子等行业微波器件以及功率器件的SiC晶圆片进行切割。

(风险提示：研发进展不及预期，下游扩产不及预期)

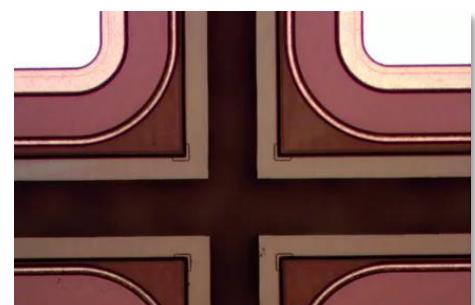
### ◆ 图：Inducer-5560型SiC晶圆划片设备具备多重工艺优势

关键参数	SiC晶圆划片设备
设备型号	Inducer-5560
适用产品	碳化硅电力电子器件晶圆 碳化硅基氮化镓射频芯片
适用尺寸	6寸（可升级至8寸）
最大切割速度	500 mm/s
最大切割厚度	1 mm
行程范围及精度	X轴：行程450mm，解析度0.1um Y轴：行程700mm，解析度0.1um Z轴：行程20mm，解析度0.1um
激光类型	红外皮秒脉冲激光器， $\geq 4$ W
冷却方式	风冷

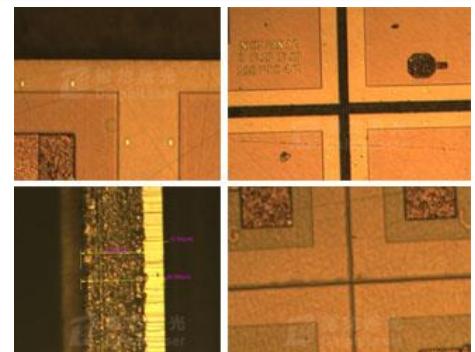
◆ 图：应力诱导方法下划片截面光滑



(a) 175 um厚SiC晶圆划片效果



(b) 350 um厚SiC晶圆划片效果



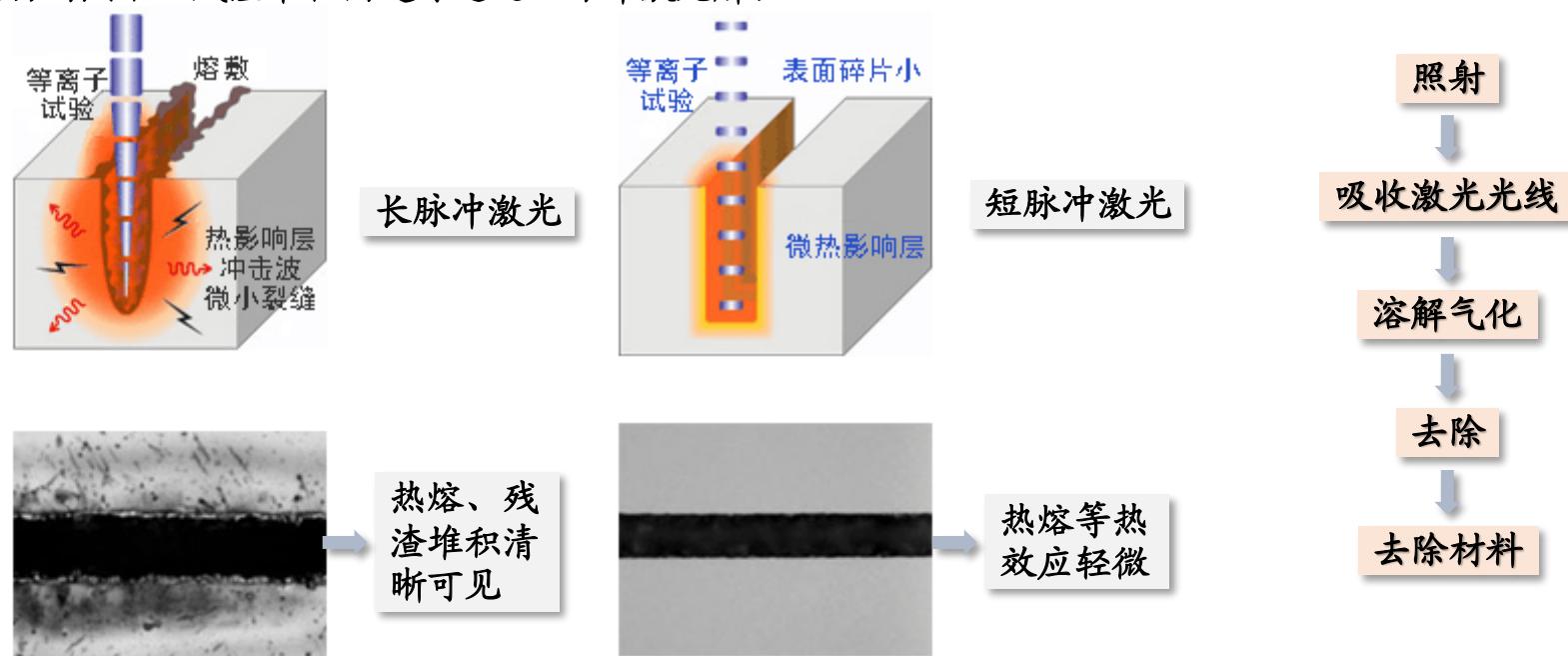
(c) 低倍率SiC晶圆划片SEM

## 4.4. 德龙激光：SiC晶锭激光切片设备完成研发测试并取得批量订单

- 德龙激光向上游拓展SiC晶锭切片业务，SiC晶锭切片设备已取得头部客户批量订单。2023年5月公司公告称，已完成SiC晶锭切片技术的工艺研发与测试验证，并取得了头部客户的批量订单，标志德龙激光正式领跑国内激光划片设备市场。
- 德龙激光利用短脉冲激光有效解决激光切割热熔、残渣堆积，无后续研磨抛问题，提升SiC晶锭利用率。SiC晶锭价值量较高，通过缩短相邻切片的间隙，将显著提升SiC晶锭利用效率，从而降低生产成本。德龙激光选用超短脉冲激光器，将激光聚焦到材料内部，从内部打断材料的分子键，穿透力强且有效避免热效应的影响，减少因热熔、残渣堆积带来的切割道口损失，且无需后续二次研磨加工，在确保良率的情况下显著提升单锭产出片数。

(风险提示：研发进展不及预期，下游扩产不及预期)

◆ 图：激光切割热熔、残渣堆积问题可通过短脉冲激光解决



## 4.5. 大族激光：率先推出SiC晶圆激光改质切割设备，引领国产替代

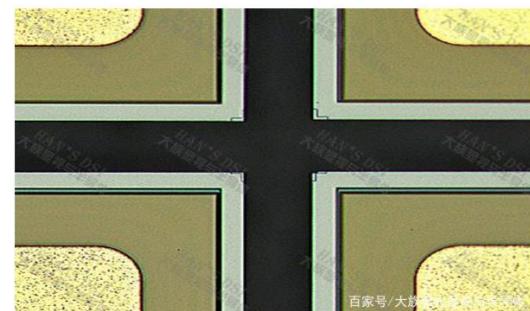
- 大族激光基础器件技术领先，持续强化并确立公司在激光市场 ◆ 图：晶圆切割无崩边、无碎屑、无可见蜿蜒的主导地位。公司生产销售的芯片封测类相关设备包括晶圆切割设备、焊线设备、IC打标设备以及检测、分选、编带设备等，行业装备深耕应用，并持续加大对基础器件以及专用设备业务的研发和投入，推动公司业务实现高质量增长。
- 大族激光自主研发并生产了国内首台第三代半导体SiC晶圆激光内部改质切割设备，率先打破国外技术垄断。自2015年开始，大族激光配合半导体行业客户需求，该技术已形成批量销售，填补了国内市场空白。

◆ 图：大族激光研发国内首台SiC晶圆激光内部改质切割设备

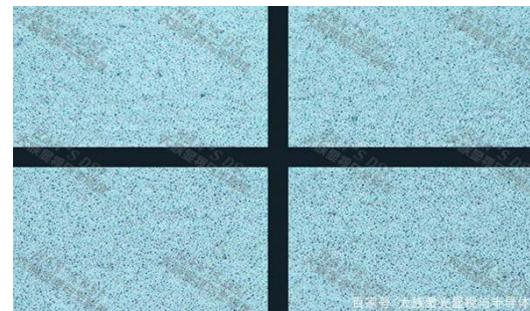
关键参数	SiC晶圆改质切割设备
设备型号	DSI-S-TC9310
加工尺寸	4寸/6寸晶圆
加工速度	400-1000 mm/s
加工精度	±1 um
平台参数	行程300 mm×300 mm 重复定位精度±0.001 mm θ轴重复定位精度±2 arcsec
激光器参数	红外
稼动率	98%以上
重大故障间隙时间	> 1000 h
良率	≥ 99.5%



(a) 碳化硅晶圆改质切割设备DSI-S-TC9310



(b) SiC产品切割效果正面图



(c) SiC产品切割效果背面图

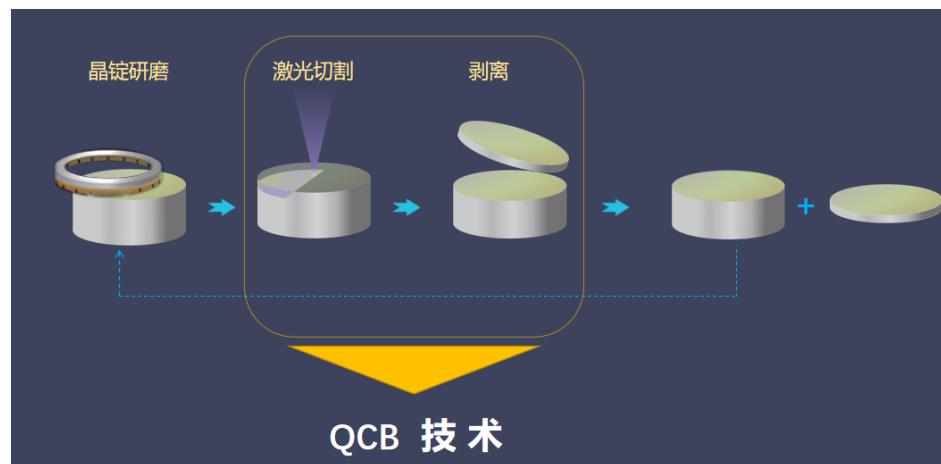
## 4.5. 大族激光：全新激光切片(QCB)技术指指数级提升SiC切割产能

- 大族激光采用全新激光切片 (QCB) 技术全方位提升SiC切割效果。QCB切片技术利用高能量密度的脉冲激光，在晶锭或晶圆一定深度的目标平面内，实现非线性吸收为主的无损精准扫描。通过精确的光学设计，扫描激光能够在目标平面引导出基面方向扩展的裂纹阵列；最后利用第三代半导体晶体学上的基面滑移机制来实现高精度、低损伤的晶圆剥离。
- 大族激光研发的SiC晶锭激光切片机正在客户处做量产验证。公司最新发布的两款设备SiC晶锭激光切片机 (HSET-S-LS6200)、SiC超薄晶圆激光切片机 (HSET-S-LS6210)，采用全新QCB技术，以切割2cm厚度的晶锭，分别产出最终厚度350um、175um和100um的晶圆为例，该技术可在原来传统线切割的基础上提升分别为40%，120%和270%的产能，预计将给业内带来革命性突破。

(风险提示：研发进展不及预期，下游扩产不及预期)

◆ 图：QCB技术最高可将SiC晶锭切片产能提升270%

◆ 图：新型SiC晶锭激光切片机已交付客户验证



项目	多线切割	QCB技术
单片切口损耗	160 um	0 um
单片研磨损耗	80-100 um	50 um
单片总损耗 (350 um晶圆)	240-260 um	50 um
最薄切割厚度	450 um	100 um



(a) SiC晶锭激光切片机



(b) SiC超薄晶圆激光切片机

- 北方华创作为国内半导体设备龙头，发挥技术积累优势在SiC设备领域多方位布局，有望充分受益产业协同效应。公司SiC设备产品涵盖PVT长晶炉、单/多硅片外延设备、高密度ICP刻蚀机以及超高温真空氧化/退火炉等多种设备机型，满足SiC芯片生产流程中晶锭生长和晶片处理两大环节的需求。
  - 北方华创入选SEMI化合物半导体&HB-LED标准技术委员会核心委员，有望参与制定行业标准，引领SiC设备市场发展。SEMI成立50多年来，一直致力于国际标准的制定，截至2023年7月，SEMI已在全球范围内成立了21个标准委员会及200个工作小组为推动全球产业标准的制定贡献力量。SEMI已经制定1064项、21大类的标准及安全相关准则，并广为全球IDM厂、晶圆厂、封装测试厂等应用。
- ◆ 图：北方华创SiC设备布局覆盖晶锭生长和晶片处理两大环节



- **SiC长晶炉：**一体化工艺降低客户生产成本，累计订单数超2000台。公司APS Plus系列产品基于行业内技术较成熟、应用较广泛的物理气相输运法（PVT法），为客户提供4/6英寸SiC晶体的“原料合成—晶体生长—晶体退火—晶体加工”全流程一体化的工艺解决方案，解决长期困扰SiC行业的高成本、低质量的两大问题。
- **高温氧化/退火炉：**立式炉领域长期沉淀，成功研发超高温真空炉技术打破国外垄断。公司自2007年即着手立式炉设备的研发，截至2023年7月，公司生产的12英寸立式炉已成为国内及东南亚12英寸主流生产线的量产主力设备，至2023年6月已累计出货500台。公司于2019年11月成功研发2500°C超高温真空炉技术，满足SiC功率器件制造的高温需求，打破日本及欧美厂商的垄断。公司的SiC-650系列高温炉用于SiC片在高温真空环境下的离子激活和退火工艺，该产品采用立式结构设计，工艺控制好，片间温度分布均匀，工艺气流均匀稳定，各项技术指标已达到行业领先水平。

◆ 图：北方华创SiC长晶炉集成一体化工艺，降低客户使用成本



## 4.6. 北方华创：提供SiC长晶、氧化退火、外延、刻蚀一站式解决方案

东吴证券  
SOSC SOOCHOW SECURITIES

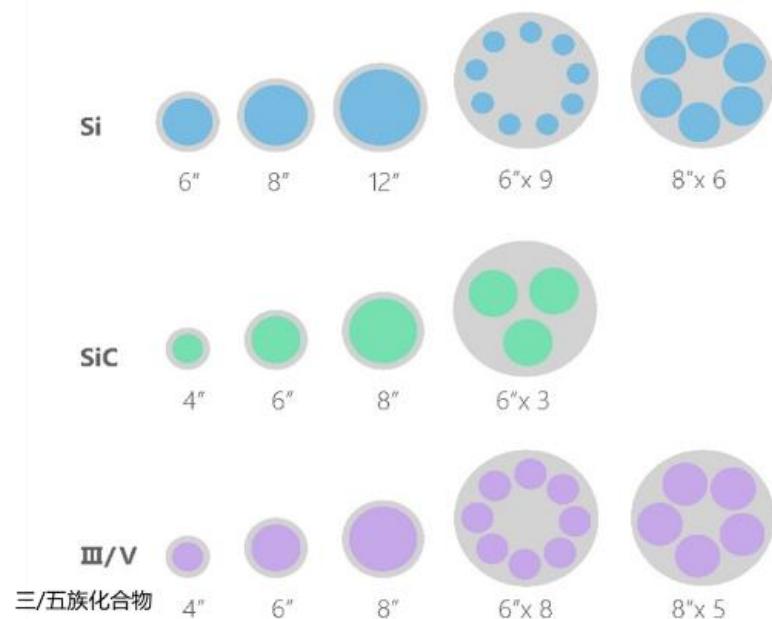
- **SiC外延设备：**截至2023年7月，已实现销售近200台，占据市场半壁江山。公司的MARS iCE115碳化硅外延设备采用水平热壁式技术路线，突破并优化了气流场、加热场、气路系统、温度控制、压力控制、运动系统等一系列关键技术，使得整个外延工艺过程中热场和气流场均匀稳定，工艺指标如厚度均匀性、掺杂浓度均匀性、缺陷密度等均达到了行业先进水平。截至2023年7月，公司批量机台已在各大主流外延厂实现稳定量产，前瞻性开发的6/8英寸兼容多片碳化硅外延设备也即将投入市场。
- **高密度ICP刻蚀机：**可用于碳化硅晶片高深宽比刻蚀。公司的GDE C200系列高密度单片ICP刻蚀机展现出优异的SiC背孔/SiC trench刻蚀的量产性能，具有刻蚀速率快、MTBC长、Pillar缺陷少、Wafer表面温度低、均匀性好、选择比高、工艺窗口宽等一系列优点，完美适用于GaN-on-SiC RF、SiC功率等器件的量产。同时，GDE C200系列刻蚀机也是SiC MOSFET栅槽刻蚀和SiC二极管小角度台面刻蚀的优质解决方案。

(风险提示：研发进展不及预期，下游扩产不及预期)

### ◆ 图：北方华创实现外延工艺的全覆盖

生长材料 应用领域	Si/Si	SiC/SiC	GaN	InP
集成电路	√			
功率器件	√	√	√	√
射频			√	√
半导体照明			√	√

### ◆ 图：北方华创外延设备有4-12英寸，单/多片等多种机型



## 4.7. 晶升股份：SiC单晶炉国内领军，8英寸碳化硅长晶设备进展顺利

- 公司为国内主要碳化硅单晶炉供应商之一，技术优势领先。公司于2018年开始布局碳化硅领域，公司碳化硅单晶炉包含PVT感应加热电阻加热单晶炉、TSSG单晶炉等类别产品，下游应用完整覆盖主流导电型半绝缘型碳化硅晶体生长及衬底制备。现公司已向多家客户交付8英寸碳化硅长晶设备，部分客户已经取得了一定的研发成果，并正在不断优化工艺制程。
- 国内市场占据领先的市场份额，与头部客户建立合作关系。公司现有国内市场占有率为27.47%-29.01%，截至2023年7月，碳化硅单晶炉绑定三安光电、东尼电子、浙江晶越等国内龙头衬底厂商，并持续推进天岳先进等十几家新客户的批量供货，未来有望快速成长。
- 2022年公司的碳化硅单晶炉实现销量227台，2022年主营业务收入中，碳化硅单晶炉占比约65.9%。由于碳化硅需求旺盛，因此公司预测2023年主营业务收入中，碳化硅单晶炉仍将占较大比例。  
(风险提示：研发进展不及预期，下游扩产不及预期)
- ◆ 图：2023SEMICON公司6-8英寸碳化硅单晶炉、大尺寸碳化硅原料合成炉等新产品参展
- ◆ 图：晶升股份8英寸碳化硅长晶设备持续供货



## 4.8. 纳设智能（未上市）：领先的SiC外延设备供应商

- 深圳市纳设智能装备有限公司2018年成立，致力于第三代半导体等先进材料领域的高端设备制造。拥有一支由多名剑桥大学博士和资深行业专家组成的研究、推广团队。在CVD（化学气相沉积）、MOCVD（金属有机化学气相沉积）、ETCH（刻蚀）等先进半导体制造设备领域具有丰富的经验。
- 公司从2019年下半年开始自主研发碳化硅外延设备，并于2021年3月完成了首台4、6英寸兼容的碳化硅外延设备研制。经过近半年的工艺研究，成功将6”碳化硅外延片的厚度和浓度不均匀性分别控制在1%和2.5%以内，且片间厚度和浓度不均匀性都控制在1%以内，同时缺陷指标也达到客户需求。8英寸碳化硅外延设备预计于2023年5月推出样机并送样。截至2023年7月，下游客户包括东莞天域、杭州海乾等。  
(风险提示：研发进展不及预期，下游扩产不及预期)

◆ 图：碳化硅化学气相沉积外延设备



◆ 图：碳化硅化学气相沉积外延设备参数

项目	设备
常用设备	热壁式水平外延设备
反应气体	三氯氢硅、乙烯
掺杂源	氮气
温度范围	1500-1650°C
生长速率	最大生长速率可达100微米/小时
生产能力	4/6英寸衬底

# 目录



1 SiC行业概况：第三代半导体材料性能优越，新能源车等场景带动SiC放量

2 SiC衬底：材料端良率提升是关键，设备端生长、切片、研磨抛光各环节国产化率逐步提升

3 SiC外延：国外设备商主导，未来2-3年有望快速实现国产替代

4 本土重点公司

5 投资建议

6 风险提示

## 5. 投资建议

- 重点推荐晶盛机电（SiC衬底片&外延炉）、迈为股份（SiC研磨机）、高测股份（SiC金刚线切片机）、德龙激光（SiC激光切片&划片机）、北方华创（SiC长晶炉&外延炉），建议关注晶升股份（SiC长晶炉）、大族激光（SiC激光切片&划片机）、纳设智能（未上市，SiC外延炉）等。

◆ 图：本土重点公司估值（截至2023.9.13收盘价）

SiC布局	股票代码	公司	市值	股价	归母净利润（亿元）				PE			
			(亿元)	(元)	2022A	2023E	2024E	2025E	2022A	2023E	2024E	2025E
SiC长晶炉&外延炉	002371.SZ	北方华创	1,375.89	259.65	23.53	35.43	47.59	61.71	58	39	29	23
SiC衬底片&外延炉	300316.SZ	晶盛机电	684.46	52.30	29.24	47.03	58.05	70.09	23	15	12	10
SiC研磨机	300751.SZ	迈为股份	346.42	124.39	8.62	13.09	19.40	29.41	40	26	18	12
SiC激光切片&划片机	002008.SZ	大族激光	238.74	22.69	12.10	16.30	20.78	25.48	20	15	11	9
SiC金刚线切片机	688556.SH	高测股份	154.08	45.44	7.89	13.50	17.81	21.58	20	11	9	7
SiC长晶炉	688478.SH	晶升股份	62.43	45.12	0.35	0.72	1.39	2.06	181	90	47	31
SiC激光切片&划片机	688170.SH	德龙激光	38.12	36.88	0.67	0.98	1.50	2.08	57	43	27	19
平均									57	34	22	16

注：北方华创、晶盛机电、迈为股份、高测股份、晶升股份、德龙激光盈利预测数据来源为东吴证券，大族激光为Wind一致预期

# 目录



1 SiC行业概况：第三代半导体材料性能优越，新能源车等场景带动SiC放量

2 SiC衬底：材料端良率提升是关键，设备端生长、切片、研磨抛光各环节国产化率逐步提升

3 SiC外延：国外设备商主导，未来2-3年有望快速实现国产替代

4 本土重点公司

5 投资建议

6 风险提示

## 6. 风险提示

1. **新能源车销量不及预期的风险。**作为SiC功率器件最大的应用市场，新能源汽车销量以及对于SiC的用量将成为支持SiC行业景气度的关键因素。若未来新能源车销量不及预期，行业或出现增速不及预期的情况。
2. **碳化硅渗透率提升不及预期的风险。**碳化硅衬底短期内依然面临制备难度大、成本高昂的挑战，截至2023年7月，碳化硅功率器件的价格仍数倍于硅基器件，下游应用领域仍需平衡碳化硅器件的高价格与因碳化硅器件的优越性能带来的综合成本下降之间的关系，成本制约因素可能导致碳化硅器件难以在下游市场快速实现行业应用的渗透和发展，导致整体行业发展不达预期。
3. **SiC设备国产化率提升不及预期。**SiC设备研发难度大，量产验证需要的周期长，下游厂商对设备商要求严格，若国产设备无法满足下游厂商较高的需求，存在不及预期的风险。
4. **各家厂商技术研发不及预期。**工艺成熟是一个多维度均达标的系统工程，取决于包括设备、耗材在内的多因素，由于技术创新受各种客观条件的制约，存在失败的风险。

# ● 免责声明



东吴证券股份有限公司经中国证券监督管理委员会批准，已具备证券投资咨询业务资格。

本研究报告仅供东吴证券股份有限公司（以下简称“本公司”）的客户使用。本公司不会因接收人收到本报告而视其为客户提供。在任何情况下，本报告中的信息或所表述的意见并不构成对任何人的投资建议，本公司及作者不对任何人因使用本报告中的内容所导致的任何后果负任何责任。任何形式的分享证券投资收益或者分担证券投资损失的书面或口头承诺均为无效。

在法律许可的情况下，东吴证券及其所属关联机构可能会持有报告中提到的公司所发行的证券并进行交易，还可能为这些公司提供投资银行服务或其他服务。

市场有风险，投资需谨慎。本报告是基于本公司分析师认为可靠且已公开的信息，本公司力求但不保证这些信息的准确性和完整性，也不保证文中观点或陈述不会发生任何变更，在不同时期，本公司可发出与本报告所载资料、意见及推测不一致的报告。

本报告的版权归本公司所有，未经书面许可，任何机构和个人不得以任何形式翻版、复制和发布。经授权刊载、转发本报告或者摘要的，应当注明出处为东吴证券研究所，并注明本报告发布人和发布日期，提示使用本报告的风险，且不得对本报告进行有悖原意的引用、删节和修改。未经授权或未按要求刊载、转发本报告的，应当承担相应的法律责任。本公司将保留向其追究法律责任的权利。

## 东吴证券投资评级标准

投资评级基于分析师对报告发布日后6至12个月内行业或公司回报潜力相对基准表现的预期（A股市场基准为沪深300指数，香港市场基准为恒生指数，美国市场基准为标普500指数，新三板基准指数为三板成指（针对协议转让标的）或三板做市指数（针对做市转让标的）），具体如下：

### 公司投资评级：

买入：预期未来6个月个股涨幅相对基准在15%以上；

增持：预期未来6个月个股涨幅相对基准介于5%与15%之间；

中性：预期未来6个月个股涨幅相对基准介于-5%与5%之间；

减持：预期未来6个月个股涨幅相对基准介于-15%与-5%之间；

卖出：预期未来6个月个股涨幅相对基准在-15%以下。

### 行业投资评级：

增持：预期未来6个月内，行业指数相对强于基准5%以上；

中性：预期未来6个月内，行业指数相对基准-5%与5%；

减持：预期未来6个月内，行业指数相对弱于基准5%以上。

东吴证券研究所  
苏州工业园区星阳街5号  
邮政编码：215021  
传真：(0512) 62938527  
公司网址：<http://www.dwzq.com.cn>

我们在此提醒您，不同证券研究机构采用不同的评级术语及评级标准。我们采用的是相对评级体系，表示投资的相对比重建议。投资者买入或者卖出证券的决定应当充分考虑自身特定状况，如具体投资目的、财务状况以及特定需求等，并完整理解和使用本报告内容，不应视本报告为做出投资决策的唯一因素。75

# 东吴证券财富家园