

## 东吴海外-碳化硅系列专家会议

2022.1.4 20:00-21:40

### 综述

第三代半导体有两种材料：SiC和GaN。SiC有两种产品：导电和半绝缘。半绝缘是SiC衬底外延GaN，做微波射频器件，用在5G基站上，最早是用在军方的相控阵雷达。导电是SiC衬底外延SiC，做电力电子器件，用在新能源汽车、光伏逆变器、数据中心、高铁、特高压输点等高压应用领域。导电这块和Si衬底外延GaN有竞争，但Si基电压很难做上去，可靠性也不好，所以Si基一般用在低压、低可靠性场景（消费电子），如快充。SiC未来是要取代Si基的二极管和三极管：SiC SBD取代Si FRD，SiC MOS取代Si IGBT。

### 空间

- 器件：
  - 单车价值：Si基500USD，SiC 1000USD，SiC MOS 800USD
  - 市场空间：几百亿美金
  - 测算方法：每年几千万辆车（全球1E量燃油车，将来全部转成电动，其中50%用SiC）， $5000W * 1000USD = 500W USD$ 。
  - 其他应用（光伏、风电、工业电源等）和车比有数量级的差距，至少1/10，充电桩1/5，轨交和特高压输电目前没渗透，但体量也不大，单看车就可以。
- 衬底：器件里衬底成本占了将近一半，未来可能会降到20%，未来SiC材料市场有百亿美金。
- 21年SiC市场7.5E美金，未来几十倍增长空间。

差距：缩小很困难，走相同的路（长晶都是PVT，器件工艺也大概相同）

- 衬底：和国外的差距在5-8年
  - 尺寸：国际主流是6寸，4寸不做了，Wolfspeed在2015年8寸研发成功，2022年商业化；国内4寸6寸共存，4寸多一些，能批量供应6寸导电的只有天科合达，国内2021年开始研发6寸，大批量出货预计5年之后
  - 指标：位错密度（会导致漏电），国际上1000个/cm<sup>2</sup>，国内5000-10000个/cm<sup>2</sup>
  - 良率：低于国外10%-15%
- 器件：和国外的差距在5-8年。国际上MOS产业化比SBD晚了9年，可靠性比较难。国内目前处于SBD阶段，MOS还处于送样验证阶段。
- 外延：和国外差距1年左右（门槛低一些，设备主导）。
- 切磨抛：差距不大，工艺路线基本一样。CREE的切割机性能是日本提供，性能好、转速快、效率高，但国内买不到。冷激光切割不成熟（激光穿透、聚焦、烧断），还在理论阶段（激光是否能穿透350um；烧断断面损伤大，要抛光处理，制程不连续），对效率提升不大。

### 价格

- 衬底：一片6500-7000 RMB/pcs，硅片100 RMB/pcs，目前成本以每年10%的速度下降。成本降低的途径有尺寸（4、6、8）和良率
- 器件：SiC器件的成本是Si基的5倍左右

## 产业链

- 国内：产业链基本形成
  - 衬底
    - 第一梯队：天科合达（技术来源：中科院物理所）、山东天岳（技术来源：山东大学）
    - 第二梯队：山西烁科、河北同光，和第一梯队的差距有3-4年
    - 其他：露笑、晶盛等还在研发，谈不上出产品
  - 外延
    - 瀚天天成：技术来源是美国赵建辉团队
    - 东莞天域：技术来源是中科院半导体所
  - 器件：泰科天润，湖南浏阳有条6寸线
- 国际：也是做Si的企业，Si基和SiC基器件的工艺共通性比较大
  - 衬底：Wolfspeed (CREE)、Rohm、II-VI
  - 外延：昭和电工
  - 器件：意法半导体 (Tesla一供)、英飞凌、安森美

## 技术路线：PVT有瓶颈，呼唤新的技术出现

- PVT：有瓶颈（还有10年的提升空间，但贡献不大，6寸能降到3000 RMB就是极限了），良率低、效率低、速度慢。长晶在黑匣子里（不透明的石墨坩埚），过程看不到。长晶速度每小时几百微米，一周2-3cm（Wolfspeed大概4cm），GaAs十几厘米，硅几米。一台PVT单晶炉一年出400片，一台Si的单晶炉一年几百万片。
- 新技术：解决了PVT长晶的不可持续性（更厚）。但没达到商业化条件
  - HDCVD：成本更高，长晶速度没增加，原材料成本高（高纯电子特气）。商业化要和PVT结合起来，HDCVD可以长优质的籽晶给PVT用。
  - 液相法：
    - 是单晶生长最好的方法（Si就是用的这个）。第三代半导体材料常压下加热直接汽化，需要加压融化（SiC要十万个大气压，工业化暂时不可操作）。
    - 日本选了新的技术，常压，用Si，熔点1400度，将C溶解到Si里，溶液中放籽晶来拉，整体溶液不到2000度，但C的溶解度只有千分之几，要增加长晶速度需要增加C的溶解度，要增加助融剂。
    - 目前日本信越化学、丰田汽车、住友金属等在做，溶液中碳硅比能达到接近1:1，长晶速度每小时1mm，是PVT的5倍。厚度、位错都有提升，但是助融剂混在溶液中污染片子。目前4寸、6寸有样品出来了。
    - 有独特的优点：能做P型导电（PVT法只能做N型导电，所以只能做SBD和MOSFET，做不了SiC IGBT）

## SiC细分场景的机会

- 汽车：最大的空间在车，特斯拉Model3和Model Y都是用的SiC（90W辆车，4个SiC一辆车，大约20Wpcs），21年全球销量几十万片，特斯拉占了将近一半。其他车型里，BYD汉也在用。
- 风电：需要的功率高，SiC MOS无法胜任。
- 光伏：逆变器21年渗透率15%（按装机量算，每瓦2分，功率器件占逆变器成本的10%-15%，光伏SiC器件成本是Si的2-2.5倍，但逆变器总成本接近），假设未来SiC 50%的渗透率，光伏SiC每年150E RMB。
- 电源：与光伏体量相当。
- 充电桩：21年渗透率10%，SiC体积小但不是硬需求（Si也能做，其实体积大一点无所谓）

## 车用800V SiC的情况

- 优势：800V比400V的优势在于器件管芯面积变小（功率不变，电压大了，电流小了，器件小了），良率上升，价格下降，器件成本和效率有优势。SiC越往高压走，优势越明显。
- 问题：目前汽车系统的生态是400V，如果升到800V整个生态都要变（没地方充电，也没有电池），800V是个趋势，但不会很快。不会普及到大众汽车（充电焦虑问题暂时解决不了），车里面的所有系统都要变。

## SiC国产化的节奏

- 器件上，先会做SBD才会做MOSFET；应用上，先工业级后消费级
- 想做车规器件，现在器件就要很强。国内大部分厂家只能做SBD，现在SBD强的将来也会更快的进入MOSFET车规。
- 目前SBD做的比较好的：泰科天润（专一深耕SiC）、华润微（Si基的技术积累和客户基础）。
  - 泰科：主要是二极管，已经比较成熟，下游客户分散。泰科从器件做到模块做到系统，类似于汽车的Tier 1。目前细分领域已有专业公司进入，泰科和充电桩、光伏、消费级电源（快充）的公司开始合作（SiC SBD挑战Si级GaN的FRD，功率可以从65W一下提升到100W-120W），MOSFET在送样验证。
  - 华润：Si MOSFET比较强，Si IGBT在中低压领域（MOS和IGBT单管）比较强，SiC MOS和Si IGBT的技术共通性较强。已经发布SiC单管和MOS产品，但没有大单，没做进汽车。原来华润微的客户都是工业领域，和车企的互动缺乏基础。器件水瓶和泰科有差距。目前营收里代工和产品各占一半。
  - 成功的经验在于产品出来的早。
- 时代电气：有一条SiC中试线，更多的是在后段系统上有优势（电驱），未必要用自己的器件。
- 三安光电：从光电领域切过来，基础不够。
- 士兰微：IDM，IGBT和IPM比较强，类似于华润微，基金好，后劲足。

## 22年和23年的有效产能

- 天科合达和山东天岳各有7Wpcs，天科80%导电+20%半绝缘，天岳20%导电+80%半绝缘。
- 天科在北京和深圳扩产，北京12Wpcs 6寸导电，设备开始进厂，22年6月开始试产，年底7Wpcs产能释放，一共15Wpcs产能。在深圳还有20Wpcs的产能在建，释放出来要2年后。
- 山东天岳的扩产进度会慢一些（临港IPO），导电产能明年年底释放8-10Wpcs

## 天科合达的成功之处

- 技术上：专注衬底，核心团队稳定，中科院不断输出人才，从16年开始股改，给团队持股
- 投入上：高投入（多数据积累，研发效率低，投入多设备同时试验），积累了将近10年

## SiC仔晶的来源，仔晶的固定

- 来源：仔晶就是品质好的衬底，每炉都需要一个。仔晶厚度500um，最终晶片厚度350um，生产出来2cm，常规切出来20几片，每片都检测，挑出来最好的做仔晶。
- 固定：都是粘接的，SiC的Si面（SiC是一半C面，一半Si面）用胶（C基有机物）粘在石墨托上，C面露出来继续生长。仔晶倒挂在石墨托上，温度将近2000度。夹持的可靠性有问题（石墨托和SiC中间不能有缝隙，SiC表面平整度不一定好，胶可以融化填满气孔，但夹持不一定）。

## 其他

- IGBT和MOSFET对比优势：电流和电压都能提升，电子和空穴都导电（双极型，两种载流子），能在更大的功率的场景使用。
- SiC IGBT在3300V以上有优势，如高铁（3300V-6500V）、高压输电网（10kV-100kV）、海上风电（上万伏）。目前没有SiC IGBT是因为没有材料。
- PVT是工艺经验主导型技术，设备不复杂（没有Si的单晶炉复杂）。
- 半导体行业不是一个资本密集型行业，能跑出来的是有一定技术积累的企业，资本的力量不是主要的，技术团队是核心。如果走相同的技术路线，要赶超国外很困难。
- 露笑团队是中科院硅所的人（但硅所的核心在士兰微），做的比较早，但技术实力在中科院物理所里排名靠后，也没有成功的产业化经验。
- SiC在光伏目前是Si IGBT + SiC二极管的混合模块居多，未来会不会被SiC MOS替代，主要是成本考量，换了SiC MOS成本会上升（材料成本，可靠性带来的封装成本），但效率也会提高，要看效益能否覆盖成本。未来SiC MOS价格降低后，替换动力会更大。
- 光伏混合模块的转化效率是98%（不确定），替换成SiC MOS的收益不大（提升1%-1.5%）。