

堪比“钻石上雕花”！

甬企这项技术，让新能源车续航提升10%

能源转型和数字化浪潮奔涌向前，碳化硅(SiC)芯片已从材料革新、芯片迭代演进至封测技术革命。眼下，这一“第三代半导体皇冠上的明珠”材料正从实验室走向量产——日前，派恩杰半导体全国首发碳化硅铜互连封装工艺，为新能源汽车、AI算力、储能等高端应用打开功率密度与可靠性的全新“天花板”。

派恩杰创始人黄兴博士接受记者专访时表示，创新的本质，应是打破刻板印象，回归底层物理规律去攻坚。



派恩杰嵌入式PCB模块和3.2μm新一代芯片与车规级功率模块对比。

1 『在钻石上雕花』

派恩杰成立于2018年，总部位于宁波前湾新区。作为国内碳化硅功率器件的先行者，该公司已发布了100余款功率器件，其中SiC MOSFET芯片已大规模导入国产新能源整车厂和Tier-1，产品广泛用于大数据中心、超级计算与区块链、5G通信基站、储能/充电桩等领域。

“加工碳化硅，好比在钻石上雕花。”黄兴介绍，碳化硅莫氏硬度高达9.5，仅次于满分10分的钻石，其切割、研磨、光刻等全流程加工难度远高于传统硅基材料，极易引发晶圆翘曲、缺陷密度超标等问题，直接制约良率提升。

而派恩杰的碳化硅研究之路，早在近20年前便已铺就。

黄兴本科就读于成都电子科技大学。彼时，该校在功率器件科研方面已经有了深厚积累。其中，陈星弼院士领衔的电子薄膜与集成器件国家重点实验室就归属于成都电子科技大学微电子与固体电子学院。

2009年，黄兴前往ETO晶闸管发明人、美国北卡州立大学Dr.Alex Q.Huang教授处深造。求学期间，他深度对接CREE、ABB等海外头部碳化硅企业，清晰预判碳化硅将成为能源转型的核心载体。同时，他也意识到高成本将成为国内规模化普及的一大“路障”。

基于此，落户宁波成为派恩杰实现先进封装的关键决策。

步入派恩杰100%自动化产线，记者看到纤尘不染的洁净产区内，碳化硅芯片在框架下料、热贴芯片、离子清洗等工序间有条不紊地流转；焊片机正以3秒的速度完成4个至5个元器件的贴焊；封塑机平均5分钟内便能完成96个基板从上料到固化的全流程……目前，派恩杰碳化硅器件量产良率稳定在95%以上。

不仅如此，“从‘飘洋过海’到‘对门供应’，在宁波，派恩杰实现了产业链的高度协同与联动。”黄兴说，碳化硅赛道已全面进入封测技术革命期，宁波完备的电子制造产业链，为公司铜互连工艺配套量产提供了沃土。

2 重构碳化硅性能上限

走进派恩杰产品展厅，一整面明星产品墙无声诉说着公司技术迭代轨迹——

从公司成立到首款4.8μm碳化硅场效应管量产(2019年)，派恩杰仅用了一年，该产品是国内首款5μm以下量产碳化硅功率器件；

搭载全新铜互连封装工艺的3.2μm新一代芯片与车规级功率模块，也是本次全国首发技术的核心载体；

而嵌入式PCB模块体积仅前述产品的三分之一，该产品是派恩杰锁定的下一代核心技术路线载体。

“铜互连工艺，正是实现嵌入式封装的必备基础。”黄兴分析，未来，芯片封装将走向“无封装”形态，碳化硅芯片可直接嵌入多层PCB电路板内部，摒弃传统陶瓷基板、引线框架与封装外壳，实现功率器件的高密度集成。

长期以来，国内碳化硅封装普遍采用传统铝互连方案，铝金属层开裂、键合根部疲劳失效、大电流工况下电迁移严重等成为制约器件性能释放的行业共性“瓶颈”。

派恩杰首创8英寸晶圆后道顶部厚铜工艺，从底层重构覆盖芯片正面、背面、散热系统的互连架构，从而解决铝互连痛点。

该工艺在8英寸碳化硅晶圆制造后道工艺阶段直接形成厚铜金属化层，替代传统多步异质金属化流程，将材料热膨胀系数差异缩小30%，工序由3步简化为1步，并带来多重性能跃升——

电流密度大幅提升。传统铝互连电流密度仅400A/cm²，铜互连方案突破600A/cm²，提升幅度达50%，同等芯片面积承载更大功率，有效缩小模块体积；

散热与可靠性全面升级。铜导热、导电性能远优于铝，芯片表面热量均匀扩散，消除局部热点，功率循环寿命显著延长；

高频损耗大幅降低。依托同质铜-铜连接结构，器件寄生电感可控制在2nH以内，开关损耗相较传统方案下降40%。

据介绍，嵌入式PCB模块需大幅缩短电气路径，缩小整机体积、降低电容电感配套成本等，顶部厚铜工艺实现芯片全铜表层，与电路板铜线路同质互连，将“扫清”嵌入式封装产业化障碍。

目前，派恩杰已同步配套自研BGBM背面金属化工艺，完成晶圆背面减薄与金属镀层制备，与顶部厚铜工艺形成“上下呼应”，叠加顶部双面散热模块，构建完整热管理闭环，相关产品已大规模导入新能源乘用车及头部Tier-1动力平台。



派恩杰产线一隅。

3 预计销售额超百倍增长

“应用端的选择对推动一项新兴技术产业化至关重要。”黄兴说。

在展厅终端应用展示区，新能源车800V车载快充模块、AI数据中心高压电源、光伏储能变流器样机整齐陈列，直观展现碳化硅芯片广阔应用场景。

黄兴认为，碳化硅正逐步替代绝大多数硅基IGBT市场份额，储能、工业、AI算力将成为继汽车之后的第二增长曲线。

以数据中心场景为例，大型数据中心年耗电量可达30亿千瓦时至60亿千瓦时，全链路搭载派恩杰碳化硅芯片后，整体能效可提升2%，每年可节省海量用电成本；落地新能源汽车领域，碳化硅器件可使整车续航提升5%至10%。在800V高压平台普及浪潮中，碳化硅已是车企刚需配置。

“今年派恩杰产品交付规模可达数亿元。”他透露，公司预计至2027年应用于AI终端的产品销售额将百倍增长，达3亿元至4亿元。

值得一提的是，风口赛道的形成往往伴随“聪明钱”的热投。企查查显示，截至目前，派恩杰已完成6轮融资，投资方包括宁波通商基金、宁波城投、南京创新投资集团、浦东科投、东风资管等。该公司最新一轮融资为A+轮，融资规模约5亿元。

“热钱的进入固然能抬高行业热度，却也对正常发展带来影响，比如出现扶持低端产能、导致价格战、扰乱用户判断等。另外，热钱的涌入也会导致人才流动的混乱，往往造成‘新树不开花，老树不结果’情况。”黄兴强调，派恩杰在与资方的双向选择方面，始终坚持以扩大规模和持续进行技术迭新为先。“突破良率爬坡瓶颈，真正将器件成本降下来，实现弯道超车并不是一句空话。”

据了解，功率器件的产品迭代周期为4年至5年，派恩杰自成立以来研发投入占总营收的比例保持在30%至50%。目前，该公司员工总数已从两年前的30人扩张至约300人，研发人员占比超四成。

黄兴表示，目前，该公司在铜互连工艺和顶部厚铜金属化阶段已取得实质性进展，为后续铜键合工艺的开发和先进封装模块的量产奠定了坚实基础。派恩杰将持续推动上游晶圆代工、下游模块封装和应用端的产业链协同发展，提升国产碳化硅器件从芯片到系统的整体竞争力。

记者 张恒

投资有风险，入市须谨慎。本文中所有观点仅供参考，不构成任何投资建议。