哈尔滨工业大学田艳红教授团队——先进电子封装用亚微米三角形银浆的低温烧结机理和键合性能 MDPI Materials

作者：writer 来源：科学网

本文原地址：https://www.iikx.com/news/progress/41989.html

本文仅供学习交流之用，版权归原作者所有，请勿用于商业用途！

哈尔滨工业大学田艳红教授团队——先进电子封装用亚微米三角形银浆的低温烧结机理和键合性能 MDPI Materials。论文标题：Low-Temperature Sintering Mechanism and Bonding Performance of Submicron Triangular Silver Paste for Advanced Electronic Packaging

论文链接：https://doi.org/10.3390/ma19112182

期刊名：Materials

期刊主页：https://www.mdpi.com/journal/materials

文章导读

第三代宽禁带半导体（如碳化硅SiC、氮化镓GaN）凭借宽禁带、高击穿电压、优异热稳定性和高载流子迁移率，成为功率器件芯片的理想材料。然而，功率芯片长期服役温度普遍高于100°C，对封装材料的散热与高温可靠性提出严苛挑战。针对这一难题，哈尔滨工业大学田艳红教授团队联合北京微电子技术研究所与清华大学，在国际期刊 Materials 发表题为Low-Temperature Sintering Mechanism and Bonding Performance of Submicron Triangular Silver Paste for Advanced Electronic Packaging的论文。论文对亚微米三角形银片银浆料的烧结机理与烧结性能进行研究。在250°C无压烧结下，焊点实现了35.2 MPa的高键合强度与相对较高的导热系数（134.9 W/(m · K)），这种优异的性能归因于亚微米银片独特的两段烧结机制。这些发现证明了亚微米三角形银片浆料相较于传统的微纳米混合银浆料，是一种高强度、高导热性、低温连接的先进电子封装材料。

研究过程与结果

亚微米银片形貌表征：

研究首先通过透射电子显微镜（TEM）明确亚微米三角形银片（以下简称银片）的微观形貌与表面缺陷分布。图1展示了银片的整体形貌及边缘微观结构。银片边长约500纳米，尺寸与形貌较为均匀，尖角处边缘平滑。从（111）晶面减小的晶面间距及界面处的原子错位可推断，侧边边

缘呈现出显著的缺陷富集现象。银片上下晶体层间存在两处平行的堆垛层错，边缘位置亦可观察到部分堆垛层错边界。高分辨与电子衍射分析表明，银片边缘存在应力集中区域，多个堆垛层错沿银片上下边缘分布。这一发现揭示了银片边缘与尖角处存在大量的活性位点，更易发生元素扩散。

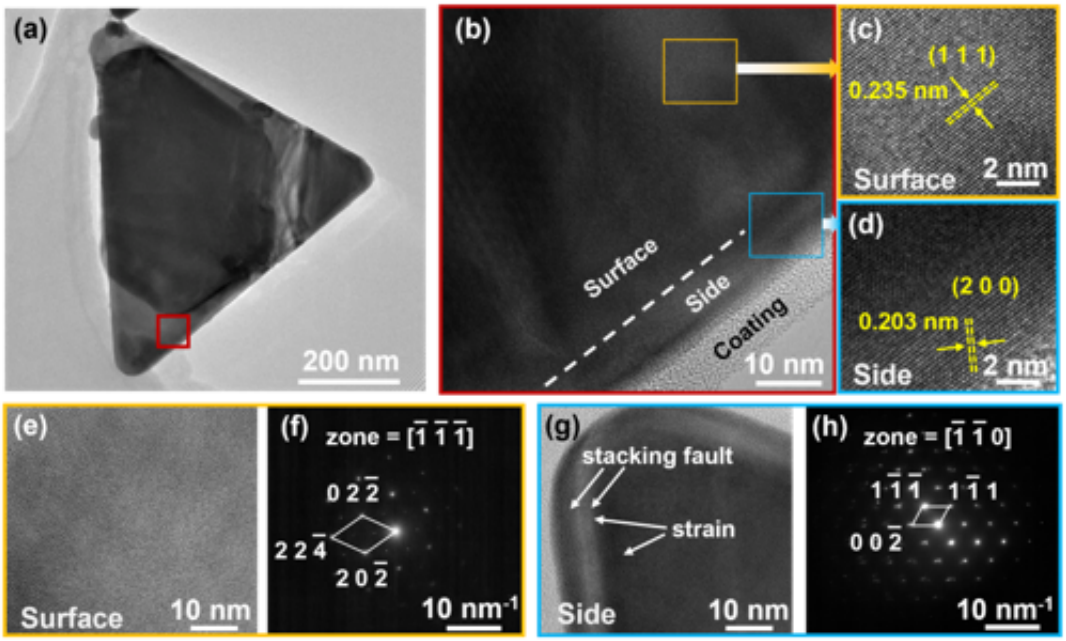


图1 亚微米银片的微观结构

亚微米银片烧结机理：

结合银片烧结微观形貌与DSC曲线可发现，银片在200℃左右开始烧结，DSC曲线说明这一过程能量大量释放，但是银片的形态几乎没有变化。当温度升至215℃，大部分银片边缘明显熔化，形成了边到边和边到角等形式的烧结颈。DSC曲线中观察到的第一个放热阶段对应了以上描述的同层银片的烧结。在230℃下，观察到同一层亚微米银片之间的连接。薄片层之间的边界开始闭合，烧结结构转变为更连续的结构。这表明DSC曲线中观察到的第二个放热峰对应于不同层的银片烧结。当温度升高到250℃时，亚微米银片的明显形态消失，成为紧密的烧结网络。同时，烧结过程与温度密切相关，而时间的影响很小。DSC曲线在连续加热下稳定，表明银片在230℃至250℃之间完成了两阶段烧结。作者随后基于准原位烧结实验进一步排除了烧结时间的影响，并通过理论推导论述了同层烧结与层间烧结机制的合理性。

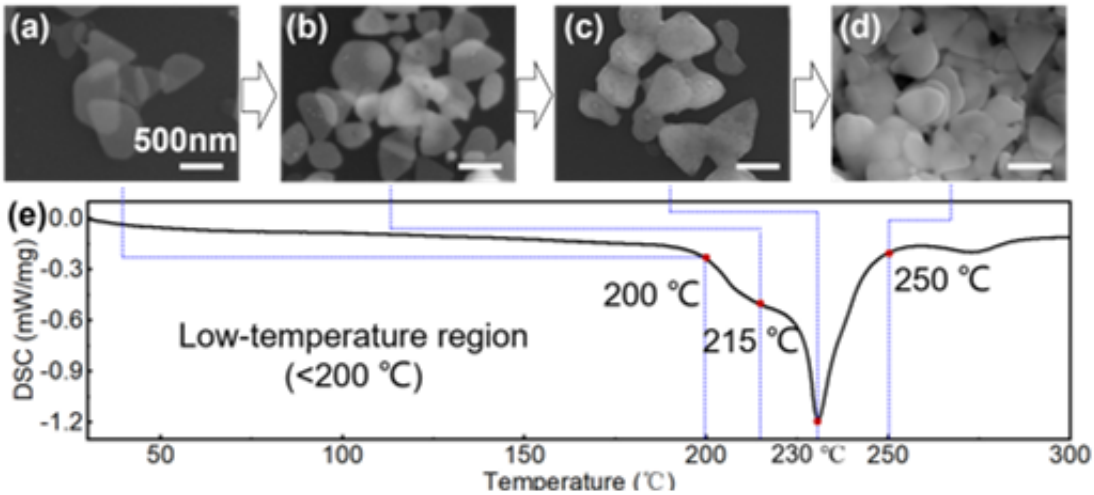


图2 亚微米银片的DSC曲线与烧结形貌

亚微米银片浆料焊点性能分析：

作者进行了一系列焊点烧结试验以分析焊点形貌与性能。烧结前印刷的银浆层的厚度约为100 μm。发现无压烧结焊点的平均厚度随着峰值烧结温度的升高而逐渐减小，最终稳定在60 μm左右。这可归因于随着温度的进一步升高，薄片之间的烧结逐渐完成。增强的原子扩散导致接头内的内部孔隙和薄片内的空位密度大幅减少，从而导致厚度减小。300°C时焊点几乎完全烧结，平均厚度基本保持稳定。焊点厚度的变化也会影响焊点的强度和烧结体的孔隙率。在较低的烧结温度（200°C）下，焊点的烧结质量较差，并且观察到大量未烧结的亚微米薄片。当温度升至225°C时，焊点内部的孔隙率逐渐降低，从初始值21.5%降至10%。这是因为较高的温度促进了同一层薄片烧结成一层烧结网络。随着烧结温度升高到250°C以上，由于不规则孔的较高表面能，孔逐渐从之前的不规则形状演变为圆形，从而吸引了原子扩散。在300°C时，随着烧结温度的升高，由于银原子的扩散，界面接触面积增加，孔隙率稳步下降至3.13%。随后定量分析了焊点孔隙率与剪切强度的关系，采用多孔结构的幂指数定律拟合后决定系数达到了0.95。最后评估了焊点热导率。随着烧结温度的升高，烧结体的导热系数逐渐增加，在250°C时达到134.9 W/(m · K)。这种优异的传热性能确保了其适用于第三代半导体封装。

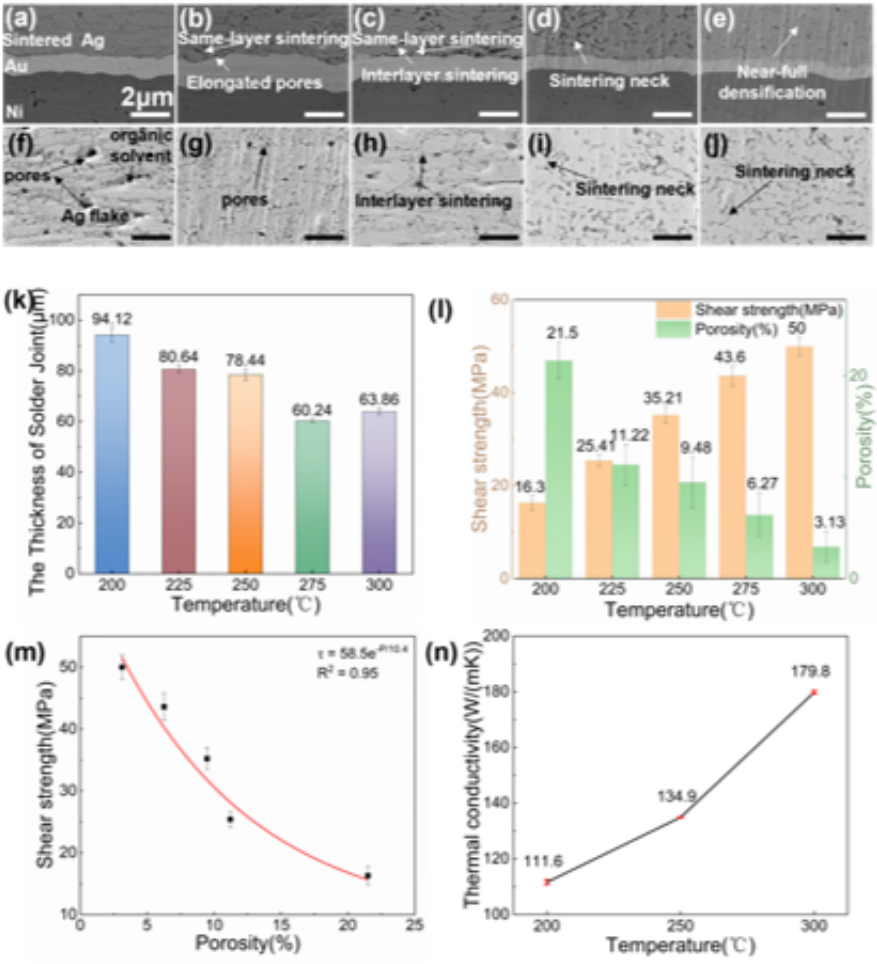


图3 亚微米银片浆料焊点形貌、强度、孔隙率与热导率

研究总结

综上所述，本文通过对亚微米银片浆料的微观结构表征与准原位烧结，系统分析了亚微米银片的烧结性能和机理。我们首次发现银片的边缘和角落具有高密度的高能缺陷，并发现了银片的烧结过程分为两阶段。第一阶段为215°C下的银片边角烧结，而第二阶段为215°C下的银片层间烧结。由于这种独特的烧结机制，亚微米银片浆料在250°C下的强度达到35.2 MPa，导热系数为134.9 W/(m · K)，孔隙率为9.48%。这些结果为功率芯片的先进封装提供了新解决方案。

Materials 期刊介绍

主编：Maryam Tabrizian, McGill University, Canada; Prof. Dr. Yuguang Ma, South China University of Technology, China

主要关注材料科学与工程研究相关各个领域的最新研究成果，包括但不限于高分子、纳米材料、能源材料、复合材料、碳材料、多孔材料、生物材料、建筑材料、陶瓷、金属等，以及材料物理化学、催化、腐蚀、光电应用、结构分析和表征、建模等。

2025 Impact Factor 3.7 (JCR Q2*) 2025 CiteScore 7.0 (Scopus Q1*) Time to First Decision 14.4 Days

Acceptance to Publication 3.6 Days

*JCR Q2 at Materials Science, Multidisciplinary and METALLURGY METALLURGICAL ENGINEERING Categories

*Scopus Q1 at Condensed Matter Physics Category

来源：Materials

更多 科学进展 请访问 https://www.iikx.com/news/progress/

本文版权归原作者所有，请勿用于商业用途，爱科学iikx.com转发