

闪光法测量高导热 (4H-SiC、6H-SiC) 碳化硅圆晶中存在的问题

Problems in Measurement of High Thermal Conductivity Silicon Carbide (4H-SiC, 6H-SiC) Wafer by Flash Method

摘要：对于高导热碳化硅 (4H-SiC、6H-SiC) 圆晶的导热系数测试，目前普遍都采用闪光法，但都存在测试结果偏低的现象。本文基于这种高导热碳化硅特性和闪光法，解释了这种测试误差较大的原因，并通过相关文献报道的测试数据展示了这种误差存在是必然结果，因此不建议采用闪光法测试这种高导热且透明的碳化硅圆晶。

一、问题的提出

高导热碳化硅圆晶，如4H-SiC和6H-SiC，其显著特征之一是具有类似纯铜的高导热系数，因此导热系数测试是评价这种材料的关键性能指标之一。

对于高导热碳化硅这类固体材料导热系数的测试，目前国内外普遍采用闪光法进行测量，但测试结果普遍存在偏低现象。在文献[1]中，报道了对N型和V掺杂SI的两种4H-SiC的测试，测试方向为C轴，测试温度范围为室温~600°C，测试结果如图1所示。文献[1]中报道了室温下的导热系数测试结果分别为280和342W/mK，作者也明确注明了导热系数结果偏低。

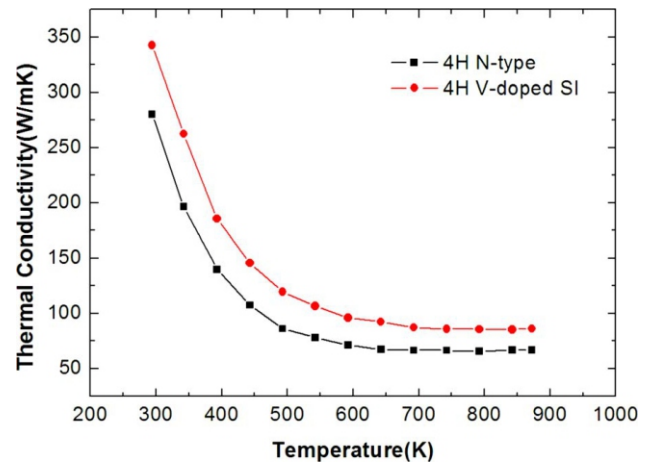


图1 4H-SiC单晶不同温度下的热导率测试结果[1]

本文将针对这种高导热碳化硅闪光法测试中的较大偏差，从样品材料和测试方法两个方面进行分析，并解释这种测试误差较大的主要原因。

二、测量误差分析

4H-SiC圆晶是一种透光率较高的晶片。为避免闪光法测试中脉冲光穿透被测样品无法有效加热样品以及红外探测器无法准确测量样品背面温升，需要对样品的前后表面进行处理，一般是喷涂热解石墨层或沉积金属层，以起到遮光和吸热作用。对于高导热材料的闪光法测量，测试误差的一个主要来源就是样品表面涂层。

考核高导热系数闪光法测试的准确性，一般都会采用纯铜样品，并在样品表面进行处理。

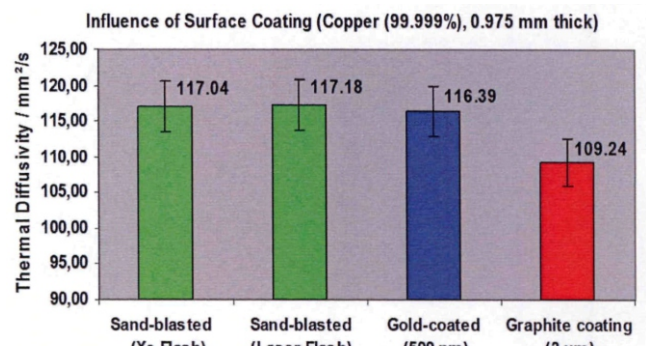


图2 纯铜表面状态对闪光法测试结果的影响[2]

德国耐驰公司为考核自有品牌的闪光法测试设备，对不同涂层技术处理的0.975mm厚的纯铜样品进行了测试并在文献[2]中进行了报道。报道显示喷砂或镀金样品的结果比较合理，而由于石墨层 (约3~5μm厚) 的额外热阻，石墨涂层铜样品测量结果会偏低约7%，如图2所示。

图2结果是假设涂层热阻可忽略不计，但对于高导热薄片样品，样品自身的热阻很小，这时石墨涂层的热阻则会相比较较大而无法忽略，自然会对高导热系数测试会带来严重影响。

为更深入了解石墨涂层在闪光法高导热材料测试中的影响，文献[3]研究了不同石墨层厚度对测试结果的影响。通过气溶胶喷涂将石墨层沉积在1mm厚的纯铜样品上，暴露于激光闪光的一侧厚度约7 μm ，而面向红外探测器一侧则覆盖了不同厚度的石墨层，厚度范围为7~150 μm ，测试结果如图3所示。从图3结果可以看出，测试结果随着涂层厚度的增加基本呈线性减小。

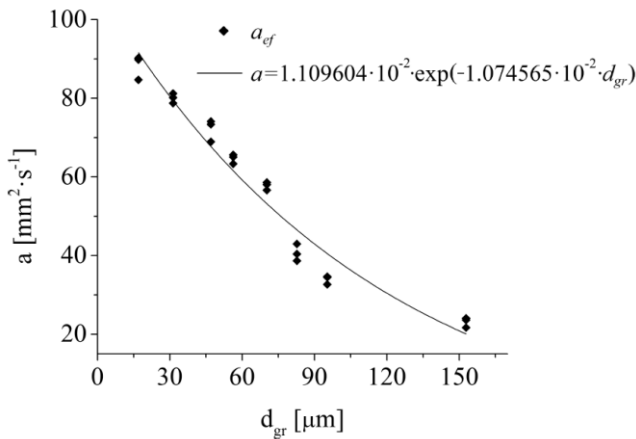


图3 纯铜样品不同石墨涂层厚度测试结果[3]

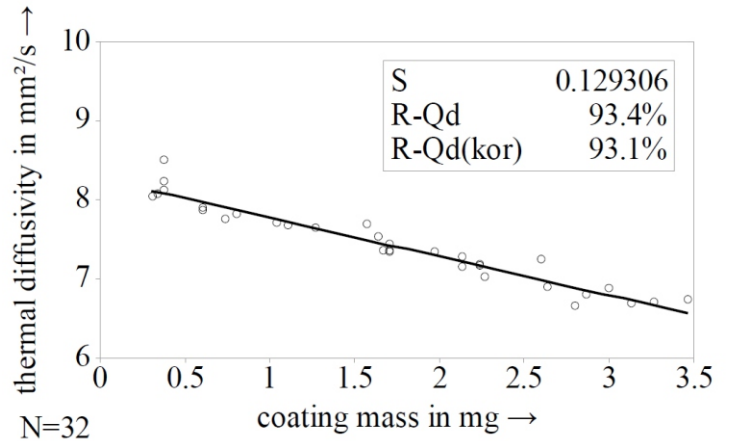


图4 涂覆不同厚度石墨涂层的氧化铝测试结果[4]

闪光法中被测样品上的涂层厚度较难准确测量，为此文献[4]以涂层质量来表征涂层的厚度变化，并对0.38mm厚的三氧化二铝薄片样品进行了测试，测试结果如图4所示，测试结果同样证明了随着厚度的增加测试结果基本呈线性递减。

三、结论

根据上述文献报道，对于高导热材料闪光法测试中石墨涂层的影响，可得出以下结论：

(1) 样品表面石墨涂层会降低闪光法测试结果，降低的幅度基本与厚度成线性关系，厚度越大降低的幅度越大。

(2) 对于高导热材料，石墨涂层对闪光法测试结果影响比较严重，导热系数越高，涂层的影响越严重。因此，在必须进行涂层处理的测试中，如透光材料和表面光滑热辐射系数较低材料，要采用尽可能薄的涂层，最好采用更薄和导热系数更高的金属涂层。

(3) 在透光且高导热的材料中，尽管可以采用更薄的石墨或金属涂层，但涂层太薄同样会带来透光效应，这就带来了涂层厚度和测量精度的矛盾。

(4) 对于高导热碳化硅 (4H-SiC)，采用闪光法测试是一种无奈之举，如必须要测试高温导热系数。在温度不高的条件下，闪光法并不适合准确测量4H-SiC的导热系数。

参考文献

[1] Wei R, Song S, Yang K, et al. Thermal conductivity of 4H-SiC single crystals[J]. Journal of Applied Physics, 2013, 113(5): 053503.

[2] Lindemann A, Blumm J, Brunner M. Current limitations of commercial laser flash techniques for highly conducting materials and thin films[J]. High Temperatures--High Pressures, 2014, 43.

[3] Stryczniewicz W, Panas A J. Numerical data processing from a laser flash experiment on thin graphite layer[J]. Computer Assisted Methods in Engineering and Science, 2017, 22(3): 279-287.

[4] Hensel A, Lê T A, Sauermann A, et al. Thermal Diffusivity Investigations on Alumina Substrates using Laser Flash Analysis[C]//2018 41st International Spring Seminar on Electronics Technology (ISSE). IEEE, 2018: 1-6.