

## 蓝宝石 (Sapphire)

蓝宝石 (Sapphire, 又称白宝石, 分子式为  $Al_2O_3$ ) 单晶是一种优秀的多功能材料。它耐高温, 导热好, 硬度高, 透红外, 化学稳定性好, 可以应用在 LED 制造、LD 激光器、激光窗口和红外光学元件、微电子集成电路和高端光学等。广泛用于工业、国防和科研的多个领域。

$Al_2O_3$  在磁性薄膜外延生长中的关键作用

优异的晶格匹配与热稳定性:

$Al_2O_3$  (尤其是蓝宝石  $\alpha-Al_2O_3$ ) 具有较高的熔点、良好的热稳定性和化学惰性, 适合作为高温外延生长的衬底。虽然其与多数磁性氧化物 (如铁氧体、尖晶石结构薄膜) 存在晶格失配, 但通过斜切衬底或取向控制可改善外延质量。

电绝缘特性:

$Al_2O_3$  是优良的电绝缘体 (带隙约 8.8 eV), 可有效抑制寄生电流, 在磁电耦合器件、自旋电子学器件中减少信号干扰。

表面平整度与缺陷密度低:

高质量单晶  $Al_2O_3$  衬底 (如 R 面或 C 面蓝宝石) 可提供原子级平整的表面, 有利于磁性薄膜实现外延取向生长, 减少界面缺陷。

与多种磁性氧化物兼容:

在  $Al_2O_3$  上外延生长  $VO_2$ 、 $Ga_2O_3$  等氧化物, 磁性氧化物如  $CoFe_2O_4$ 、 $NiFe_2O_4$ 、 $Mn_3O_4$  等也常在  $Al_2O_3$  衬底上通过脉冲激光沉积 (PLD) 或分子束外延 (MBE) 实现外延生长。

作为缓冲层或势垒层:

在多层磁性异质结构中,  $Al_2O_3$  可作为非磁性间隔层或隧穿势垒, 用于构建磁性隧道结 (MTJ), 尽管此时通常采用非晶  $Al_2O_3$  而非外延单晶。

主要性能参数			
晶系	六方晶系		
晶胞常数	a=4.76Å c=12.99Å		
密度	3.98 (g/cm <sup>3</sup> )		
熔点	2040°C		
生长方法	提拉法, 泡生法		
莫氏硬度	9		
维氏硬度	// C, 1940 ⊥ C, 2200		
折射率	300K 时, // C, 1.762 @630nm ⊥ C, 1.770 @630nm		
热膨胀系数	5.8x10 <sup>-6</sup> /K		
导热系数	32 W/Mk (@258°C)		
热导率 (卡/度 厘米 秒)		⊥ c	// c
	23°C	0.055	26°C 0.060
	77°C	0.040	70°C 0.041
损耗角正切	1×10 <sup>-4</sup> (1MHz)		

293K 时		
介电常数 *10 <sup>3</sup> —10 <sup>9</sup> Hz @25°C	// C, 11.5 ⊥ C, 9.3	
透过率	≥85% @ 400~4000nm	
抗拉强度	60, 000 psi	
抗压强度	300, 000 psi	
模量指数	杨氏模量 (E) : 335GPa 剪切模量 (G) : 148.1GPa 体积模量 (K) : 240GPa	
松泊比	0.25	
晶向	A-plane	<11-20>
	R-plane	<1-102>
	M-plane	<10-10>
	C-plane	<0001>
晶向公差	±0.5° 或±0.3°	
常规尺寸及公差	5x5, 10x10, 20x20, Ø2", Ø3", Ø4"等	
常规厚度及公差	0.5mm, 1.0mm	
抛光	单面或双面	
表面粗糙度	Ra<5Å (5x5μm)	
包装	100 级洁净袋, 1000 级超净室	