

文章编号: 1000-324X(2003)03-0520-07

非氧化物透明陶瓷的研究进展

苏新禄¹, 陈卫武¹, 王佩玲¹, 程一兵²

(1. 中科院上海硅酸盐研究所高性能陶瓷和超微结构国家重点实验室, 上海 200050; 2. 澳大利亚 Monash 大学材料工程系)

摘要: 从光在陶瓷体中的传播出发, 分析了影响陶瓷透光性的主要因素、制备透明陶瓷的工艺要求及应当满足的条件等. 在此基础上, 对 AlN、AlON、Sialon 等几种典型的非氧化物基陶瓷透光性的研究现状进行了归纳.

关键词: 非氧化物; 多晶陶瓷; 透明性

中图分类号: TQ174 **文献标识码:** A

1 引言

自从 1962 年 R. L. Coble 制备出半透明烧结氧化铝以来^[1], 打破了陶瓷不透明的传统概念, 也开辟了陶瓷新的应用领域. 经过几十年的研究发展, 已经制备出 MgO、Al₂O₃、MgAl₂O₄、Y₃Al₅O₁₂(YAG) 等从可见到红外高透光率的氧化物陶瓷, 并在红外激光窗口、高温窗口、红外制导导弹球罩以及高温或强辐射下工作的照相镜头等领域得以应用. 通过这些研究, 对影响多晶陶瓷透光性的因素也有了较系统的理解.

随着照明技术、光学、特种仪器制造、无线电子学、高温技术以及军事工业的发展, 对作为外罩及窗口材料的透明陶瓷提出了更为苛刻的使用要求, 除了要求在一定波长范围具有较高透过率外, 还要求材料具有其他方面的优良性能. 与氧化物相比, 大多非氧化物不仅室温强度较高, 而且在高温时 also 具有很好的力学性能; 它们还具有优良的抗热冲击性能. 此外它们的许多其他方面的性能也是氧化物材料难以比拟的, 如 AlN 的高热导性, 低电导率、介电常数和介电损耗等, AlON 的高强和高硬度及从紫外到红外的宽透过范围, Sialon 具有很好的耐摩擦性. 考虑到许多非氧化物具有和一般氧化物不同的优良性能, 人们对研究非氧化物陶瓷透光性表现出浓厚的兴趣, 先后报道过 AlN、AlON 透明陶瓷的研究结果并取得了相应的应用.

众所周知, 人们从上世纪八十年代以来就对 Sialon 这一优异的结构陶瓷材料进行了广泛深入的研究. 近来, 人们正进行各种有关 Sialon 陶瓷的功能化研究探索, 透光性 Sialon 陶瓷就是其中的一个重要领域.

鉴于氧化物透明陶瓷的研究时间较长, 制备工艺也相对较成熟. 而对非氧化物透明陶瓷的研究则是从上世纪八十年代才开始. 目前, 许多工作特别是国内在这方面的研究还处

收稿日期: 2002-04-09, 收到修改稿日期: 2002-06-06

基金项目: 基金委两基地项目 (50140120423); 科学院海外杰出学者项目

作者简介: 苏新禄 (1974-), 男, 博士研究生. E-mail: lukeyou0476@sina.com

于探索阶段, 因此, 总结 AlN、AlON 及 Sialon 等非氧化物陶瓷的透光性研究现状很有必要. 本文并对进一步改善非氧化物陶瓷的透光性能的途径提出了看法.

2 影响陶瓷透光性的因素

光在陶瓷体中传播时, 出射光强度较之入射光是逐渐衰减的. 光的透过强度 I 与陶瓷厚度 t 的关系可用 Lambert-Beer 定律来表示^[2]:

$$I = \frac{(1-R)^2}{1-R^2 \exp(-2\beta t)} \cdot I_0 \exp(-\beta t)$$

$$\beta = \alpha + S_{im} + S_{op}$$

其中 R 为反射率. I_0 为入射强度. β 为材料的有效吸收系数. α 为线吸收系数, 它与组成陶瓷的原子、杂质以及晶体结构引起的光吸收有关, 故为物质固有的吸收系数, 取决于材料本身. S_{im} 为由析出物、残余气孔、晶界等晶体结构的不完整性和组成的不均匀性引起的光散射系数, 也直接和粉末的纯度、粒度以及成品的工艺条件有关. S_{op} 是由光学各向异性造成的散射系数^[3].

根据 Lambert-Beer 定律以及制备氧化物透明陶瓷材料的研究结果^[4~7], 对陶瓷材料透光性产生重要影响的主要因素表现为: (1) 多相性. 对于多相结构陶瓷, 不同相的光学折射率不同. 入射光并非垂直于相界面而是以任意角入射. 故在相界面有光散射. 材料的相组成越复杂, 其透光率就越低. 如在 Al_2O_3 透明陶瓷中, MgO 含量高于 0.5wt% 时会生成镁铝尖晶石第二相, 并导致透光率显著降低^[8]. (2) 各向异性. 多晶陶瓷材料中各晶粒的取向是任意的. 而折射率的改变取决于晶体结晶轴方向. 因此, 对于对称性越高的材料, 它在整个波谱范围内可能具有越高的透光性. 如 MgO 、 MgAl_2O_4 和 Y_2O_3 等具有光学各向同性的晶体可以制得高透明光学材料. Al_2O_3 透明瓷由六方晶格的晶体组成. 其双折射率为 0.008, 因此材料在可见光区的透光率很低, 不过 50%^[9]. (3) 晶粒尺寸. 当入射光波长和晶粒直径数值相近时, 会产生最大的光吸收. 因此, 要提高陶瓷的透光率, 材料的晶粒尺寸应处于透光波长范围的极限之外. 如 Al_2O_3 陶瓷中掺杂 MgO 的含量由 0.007wt% 增加到 0.03wt% 时, Al_2O_3 晶粒尺寸从 $15\mu\text{m}$ 变为 $60\mu\text{m}$, 透光率由 70% 增加到 80%^[10]. (4) 气孔率. 气相的折射率很低 (约为 1), 所以气孔的存在大大降低材料的透明度. 如当陶瓷封闭气孔率由 0.25% 变为 0.85% 时, 透光率降低 33%^[11]. (5) 表面光洁度. 表面越光洁, 光的散射等造成的损失就越少, 材料的透光率就越高. 当然, 将会引起光散射等的空位、位错等晶体结构的不完整性也是影响材料透明性的重要因素.

针对以上因素, 为获得尽可能大的透光率, 制备透明陶瓷的工艺条件和最终所得产品应满足相关要求^[12].

3 几种典型的非氧化物透明陶瓷

3.1 AlN 透明陶瓷

高纯、致密的 AlN 陶瓷具有优良的热传导, 低电导率、介电常数和介电损失, 及很好的透光性等特点. 但相对氧化物透明陶瓷而言, AlN 像其它非氧化物透明陶瓷一样, 烧结性能较差, 原料中的夹杂含量一般都较高. 为了得到致密化的 AlN 陶瓷, 约 2% 的 O 含量

对高温下的致密化是很必要的,但也有以 O 含量较低(约 1.0wt%)的高纯 Al_2O_3 和 C 为原料,制得了 AlN 透明陶瓷^[13].

从制备方法上看,制备 AlN 透明陶瓷主要是采用在 1800~2000°C 温度范围进行热压、无压烧结.加入 0.5wt% CaO(以 $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ 形式引入)和适量 Y_2O_3 等烧结助剂有助于气孔消失,提高烧结 AlN 的透光性.含添加剂的 AlN 的烧结属典型的液相烧结^[14,15]. CaO 在烧结过程中能形成铝酸钙并逐渐挥发,使烧结体致密且能有效抑制 O^{2-} 扩散进入 AlN 晶粒中,还有助于提高材料的导热系数.原料必须尽量利用高纯的 AlN 粉料,粉体粒度和粒径分布并不是 AlN 透明度的决定因素^[16].杂质特别是 Ti, Fe, Nb 等会对透光性造成严重损害^[15].晶格缺陷包括晶粒内杂质第二相、位错、和转相畴界、晶界形态.晶界第二相的种类及分布等是影响透明度的主要原因^[16].

用以上不同方法能制得从紫外到红外具有一定透过率的 AlN 陶瓷.材料的透过率取决于试样的厚度.图 1 为 200kg/cm² 的压力和 2000°C×3h 温度条件下热压烧结的试样在磨薄抛光至 0.5mm 厚时的透光率.

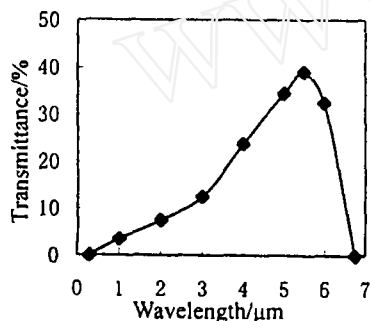


图 1 AlN 陶瓷的透光率(试样厚 0.5mm)^[14]

Fig. 1 Transmittance of AlN ceramic specimens(0.5mm thickness) vs wavelength^[14]

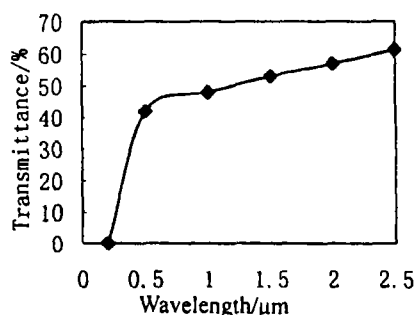


图 2 AlON 试样在 1800°C×1h 微波烧结后的透光率(试样厚 0.6mm)

Fig. 2 Transmittance of AlON samples made by microwave sintering at 1800°C for 1h (Sample thickness=0.6mm)

3.2 AlON透明陶瓷

氧化铝的诸多特点决定了它是制备透明陶瓷难得的材料.它为立方尖晶石晶体结构,空间群为 $Fd\bar{3}m$,点群为 $m\bar{3}m$,即 AlON 具有各向同性的光学性能; AlON 具有很高的强度(380MPa)和硬度(1950kg/mm²);它的透光范围宽,从紫外区的 0.2μm 一直到红外区的 6.0μm 处;此外,作为多晶陶瓷,它比单晶蓝宝石更容易制得大尺寸部件,而且用传统的陶瓷制备技术就可以制得形状复杂的透明部件^[17],这大大降低了成本.因此 AlON 在透明装甲和许多光学领域是非常有用的材料^[18].大炮弹膛的窗口要承受激光能, AlON 也可用在大口径大炮的点火装置^[19].

对 AlON 而言,内部晶粒本身和晶界是光散射点.光散射主要来源于:(1)随着组成和应力变化而引起折射率的变化.(2)晶粒内部的结构缺陷,如位错和孪晶等.(3)不同晶粒之间的晶界.(4)非立方 AlON 相、AlN 晶体等内含物和气孔率.除此之外,表面散射等也影响总的散射^[20].

最初制备 AlON 透明陶瓷时都必须先得到高纯均匀的 AlON 粉体.这种 AlON 粉体一般以含有 30~37mol% 的 AlN 和 70~63mol% 的 Al_2O_3 的混合物原料制备.得到高纯均匀 AlON

粉体后, 在其中加入含 B 和 Y 的少量添加剂, 成型之后在高于 1900°C 的 N_2 气氛中无压烧结, 烧结时间至少为 20h. 这样制得的多晶立方 AlON 的密度大于理论密度的 98%, 当试样加工到 1.90mm 厚时在 $0.3\sim 5.0\mu\text{m}$ 波段内对电磁辐射有至少 $>20\%$ 的垂直直线透过率^[21]. 也有人以不超过 0.5wt% 的 B_2O_3 和 Y_2O_3 为添加剂, 在高于 1900°C 低于 2140°C 的温度条件下烧结 24~48h, 制得密度大于理论密度的 99%、厚为 1.45mm 时在 $300\sim 5000\text{nm}$ 波段内垂直直线透过率不低于 50% 的透明 AlON 陶瓷^[22].

用以上所述的两步法(即利用预先合成的 AlON 粉, 在高温烧结和长时间保温的条件下进行制备)制备 AlON 透明陶瓷过程繁琐, 成本较高. 后来有人试图以 Al_2O_3 和 AlN 的混合物用一步法在约 0.3MPa 的 N_2 气氛中 1850°C 保温 1h 来制备多晶透明 AlON 陶瓷, 结果只能得到半透明的材料^[23].

微波烧结作为一种新的烧结过程, 能使样品在较低温度和极短的保温时间内烧结. JIPING CHENG, 等^[24] 用高纯 $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$ 和 AlN 粉, 按照 66.5mol% 的 Al_2O_3 和 33.5mol% 的 AlN 组成进行配料, 利用微波烧结在 1800°C 保温 60min 烧结得到完全致密和高透明的 AlON 陶瓷样品. 原料中同样加有约 0.5wt% 的 Y_2O_3 作为烧结助剂促进微波烧结过程中的致密化和提高透明性. 得到 0.6mm 厚的样品在 $0.5\sim 2.5\mu\text{m}$ 波段内的透过率为 40%~60%. 所得试样的透光率如图 2 所示.

3.3 Sialon 透明陶瓷

Sialon 是 Si_3N_4 中的 Si 和 N 分别被 Al 和 O 取代后形成的固溶体. Si_3N_4 有 α 和 β 两种形态, 因此也就相应得到组成表达式为 $M_x\text{Si}_{12-(m+n)}\text{Al}_{m+n}\text{O}_n\text{N}_{16-n}$ (M 为掺杂原子) 的 $\alpha\text{-Sialon}$ 和组成表达式为 $\text{Si}_{6-z}\text{Al}_z\text{O}_z\text{N}_{8-z}$ ($0 < z < 4.2$) 的 $\beta\text{-Sialon}$. 形成 $\beta\text{-Sialon}$ 时不需要另外掺杂其它离子, 但合成 $\alpha\text{-Sialon}$ 时则需要掺杂其它起稳定作用的离子来保持电价平衡.

最早关于 Sialon 透光性的报道是在上世纪八十年代, 即 Mitomo^[25] 用热压烧结制得了 $z = 2\sim 4$ 的半透明 $\beta\text{-Sialon}$. 样品为 0.65mm 厚时在 $4.5\mu\text{m}$ 波段的透光率最大为 40%(如图 3 所示). 但热压温度高于 1750°C 时反而会降低试样的透光率. 其原因可能是象制备 ZnO 一样形成缺陷造成的. 从那以后, 一直没有关于透明 Sialon 陶瓷的报道, 直到最近几年, 才开始出现关于 $\alpha\text{-Sialon}$ 呈现不同颜色和能透光的报道. 因为人们发现 $\alpha\text{-Sialon}$ 可能比 $\beta\text{-Sialon}$ 更适合作为透明陶瓷.

与 $\beta\text{-Sialon}$ 相比, 合成 $\alpha\text{-Sialon}$ 时加入的掺杂离子能够进入每个 $\alpha\text{-Sialon}$ 单胞的两个间隙位置, 这有利于净化晶界, 提高材料的透明性. 此外, 与已经存在的透明陶瓷相比, $\alpha\text{-Sialon}$ 具有如下优良性能^[31]: (1) 比已知氧化物基的透明材料具有更高的热震稳定性. (2) 比已知非氧化物基透明材料具有更好的抗氧化性. (3) 比已知非氧化物基透明材料具有更宽的颜色范围. (4) 形状选择的灵活性, 利用非包裹烧结器 (capsul free sinter)/ 热等静压很容易烧结. 从这些角度来看, 可能 $\alpha\text{-Sialon}$ 具有更广的包括光学在内的应用潜在价值. 目前, 人们已经就烧结气氛和工艺、掺杂的不同稀土元素等对 $\alpha\text{-Sialon}$ 的颜色和透光的影响等进行了一定的研究.

烧结气氛和工艺对 Sialon 陶瓷最终产品有显著的影响. 以前关于 $\alpha\text{-Sialon}$ 的研究都认为, 稀土稳定离子都以单一的三价态存在. 而实际上 Yb^{3+} 、 Sm^{3+} 、 Eu^{3+} 等稀土离子在许多材料中会发生三价到二价的转变且二价是稳定的^[26~28]. 三价离子的 $4f^N \rightarrow 4f^{N-1}5d$ 能量转变发生在紫外光谱区; 而二价离子的 $4f^N \rightarrow 4f^{N-1}5d$ 转变在可见光谱区^[29]. 因此, 在烧结 Sialon 陶瓷时, 烧结气氛和工艺会影响产品的性能. 如按 75% 的 $\alpha' - (m=1.5, n=0.75)$ 和

25% 的 β' - 进行配料并以 Yb_2O_3 为稳定剂, 将制成的试样分别在 1750°C 热压和无压烧结后发现, 无压烧结形成黄色 Sialon; 热压烧结则形成典型的黑 / 灰色 Sialon 陶瓷. 黄色陶瓷具有相对较高的光学透明性; 而黑色陶瓷不透明, 为典型的传统 Si_3N_4 基陶瓷. 热压烧结过程中石墨模的存在导致 CO 的形成, 烧结过程中试样内有还原反应. 还原反应引入的残余玻璃相和杂质影响试样的透明性. 这些转变产生了陶瓷新的光学性能^[30]. 在前面的基础上, 利用不密封、热等静压烧结制得了具有更宽颜色和透光率范围的 α -Sialon 陶瓷. 烧后热处理 ($1450^\circ\text{C} \times 168\text{h}$) 能进一步提高透明性且材料的透光特性能保持到 1200°C 的温度^[31].

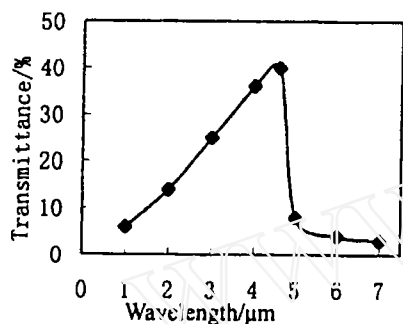


图 3 β -Sialon 试样透过率和波长的关系

Fig. 3 Relationship between transmittance and wavelength for β -Sialon

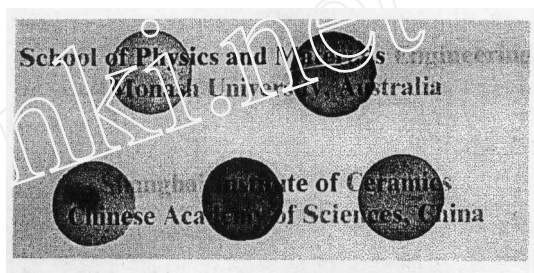


图 4 稀土稳定的透明 α -Sialon 试样

Fig. 4 Rare-earth stabilized apparent α -Sialon samples

α -Sialon 陶瓷的颜色还因掺杂不同的稀土元素而变化. Yb- , Er- , Sm- 和 Nd- 掺杂的 α -Sialon 试样分别为黄色, 粉红色, 黄绿色和紫色. 但 Dy- , Tb- 和 Y- 掺杂的 α -Sialon 试样和纯 β -Sialon 不呈现任何颜色. 同时, 不同稀土元素稳定的 α -Sialon 试样的吸收光谱也有显著不同的特点, 即: (1) Nd- 或 Er- 掺杂的 α -Sialon 材料的紫外 - 可见吸收光谱有多个吸收峰. 吸收峰使试样具有颜色. 这些吸收峰可以归因于三价 Nd^{3+} 和 Er^{3+} 不同 $4f$ 电子跃迁. (2) Tb- , Dy- 和 Y- 掺杂的 α -Sialon 试样没有吸收峰或在可见光波区域内很弱. 虽然 Tb 和 Dy 在试样中也呈现三价, 但 α -Sialon 仍为无色. (3) Yb- 和 Sm- 掺杂的 α -Sialon 试样在靠近紫外区约 425nm 波长处都具有吸收带. 产生这一峰的原因为 Yb^{3+} 和 Sm^{3+} 的 $4f^{14} \rightarrow 4f^{13}5d^1$ 和 $4f^6 \rightarrow 4f^55d^1$ 的电子跃迁. 诸多试样在 $280\sim 340\text{nm}$ 波长的紫外区都有一吸收边缘. 这可能是因为 Si(Al)-N(O) 网络内的电荷传递造成^[32].

我们选择 Y- , Dy- , Er- , Nd- , Sm- 等不同稀土元素作为 α -Sialon 的稳定离子, 利用热压工艺制备了透光性较好的透明 α -Sialon 陶瓷. 当样品被磨薄到一定厚度时, 用眼睛观察, 部分样品会表现出明显的透明性. 图 4 给出部分样品被磨薄至 0.3mm 时的表观透明性^[33].

利用光谱仪检测了上述样品在紫外到近红外波段透光率, 样品在可见光波段具有 $30\%\sim 60\%$ 的透过率; 所有样品在 $4.5\sim 4.6\mu\text{m}$ 处的透过率达到最大 (接近 100%), 截止频率位于 $6.0\mu\text{m}$ 处. 这说明该类材料可能是很好的透红外材料. 从整个实验来看, α -Sialon 的组分、稀土元素以及在工艺中影响密度的因素都会影响 α -Sialon 的透明度, 气孔的影响可能非常主要.

诚然, 关于 Sialon 陶瓷透光性的研究还处于起步阶段. 如何选用 α -Sialon 的组分对透光性更有利, 何种稀土离子更适合透光性 α -Sialon 的掺杂, 如何才能尽可能减小气孔、晶界和

第二相的含量等. 这些工作都有待于进一步深入.

4 结束语

从上世纪六十年代开始的氧化物基透明陶瓷的大量研究使人们对透明陶瓷的有关理论基础有了较系统的了解和认识. 这对后来进一步的研究具有重要的参考价值和指导意义. 也使透明陶瓷在越来越多的领域被成功应用, 促进了科技和军事等的进一步发展. 总的来看, 要使陶瓷体具有优异的透光性能, 就必须以光在多晶陶瓷体中传播为出发点, 采取各种措施消除或尽可能减小引起光在陶瓷体内散射和吸收的因素, 从而使光的透过率得以提高. 目前, 主要的控制因素有气孔、晶粒尺寸、第二相、晶粒内部的各种缺陷及表面光洁度等. 从工艺上看, 主要以利用高纯原料为起点, 通过提高烧结温度、控制烧结气氛、延长保温时间、加入烧结助剂、使用热压烧结等手段.

非氧化物透明陶瓷在具有透光性能的同时还具有优良的热学和力学性能, 因此具有很大的应用潜力. 但目前非氧化物透明陶瓷的制备工艺尚需逐渐成熟化, 产品的各项性能特别是透光性需进一步提高, 透明陶瓷的品种也有待增加. 因此, 我们认为今后有必要进一步加强 AlN、AlON、Sialon 及其它一些非氧化物陶瓷透光性的研究, 并可以考虑以 Sialon 等优良的结构陶瓷为重点. 在提高烧结温度、延长保温时间、使用热压烧结等工艺的同时, 应当注重烧结助剂的选择、使用合适的单一或复合的掺杂、晶粒的定向排布或趋于无晶界等影响因素. 此外, 还应探索新的制备工艺和从机理上分析各种非氧化物陶瓷的透明性, 是否可能制备非氧化物与氧化物或其它材料复合的透明陶瓷也是值得考虑的.

参考文献

- [1] Coble R L. Transparent Alumina and Method of Preparation, U.S. Pat. No. 3026210, Mar. 10, 1962.
- [2] Kingery W D, Bowen H K, Uhlmann D R. Introduction to ceramics, 2nd edn, New York, John Wiley & Sons Inc., 1976. 634.
- [3] 黄存新, 彭载学, 王雁鹏, 等. 人工晶体学报, 1996, 25 (2): 108-112.
- [4] Устужанина НН, Попильский РЯ. Получение и Характеристика спека емостикорунковоикерамикина основ е окиси алюминия особ ой чистоты, Труды МХТИ. Силикаты, 1969, вып. IX, с. 137-141.
- [5] Попильский РЯ, Панкратов ІФ, Койфман НМ. О формировании беспористой структуры поликристаллического корунда, Доклады АН СССР, 1964, 155(2): 326-329.
- [6] Гегуэин ЯЕ, Парипкая ЛН. Одиффузионный коалесценд и порв кристаллических телах с сеткой гранид, Порошковая металлургия, 1962, 5 (11): 20-28.
- [7] Рубинисапфир / Подред МЕ. Классен - Неклюдовой, М.: Наука, 1974. 236.
- [8] Дегтярева ЭВ. Кинетика удаления закрытых пор при спекании глинозема и получение прозрачной корундовой керамики, Известия АН СССР. Неорганические материалы, 1965, 1(2): 281-284.

- [9] Noboru Jehinose, Hiroyuki Loshida. *Ceram. Ind.*, 1975, **10** (5): 319-326.
- [10] Grimm N, Scott G E, Sibold I D. *Am. Ceram. Soc. Bull.*, 1971, **50** (12): 962-965.
- [11] Creskovich C, Woods K N. *Am. Ceram. Soc. Bull.*, 1973, **52** (5): 473-478.
- [12] T. A. 维德利克, 等著, 陈婉华译. 透明陶瓷. 第一版, 北京, 轻工业出版社 1987. 21-23.
- [13] Kuramoto N, Taniguchi H. *J. Mater. Sci. Lett.*, 1984, **3**: 471-474.
- [14] Kuramoto N, Taniguchi H, Aso I. *Ceram. Bull.*, 1989, **68**: 883-887.
- [15] Kuramoto N, Taniguchi H, Numata Y, et al. *Yogyo-Kyokai-Shi*, 1985, **93** (9): 517-522.
- [16] 周艳平. 博士论文. 上海: 中科院上海硅酸盐研究所, 1999.
- [17] Parimal J Patel, Gary A Gilde, Peter G Dehmer, et al, *Proc. SPIE*, 2000, **4162**: 1-14.
- [18] Hartnett T M, Bernstein S D, Maguire E A, et al, *Proc. SPIE*, 1997, **3060**: 284-295.
- [19] Richard A Beyer, Henry Kerwien. *Proc. SPIE*, 1999, **3705**: 113-118.
- [20] Duncan D D, Lange C H. *Proc. SPIE*, 1990, **1226**: 71.
- [21] Richard L Gentilman, et al. Transparent Aluminum Oxynitride and Method of Manufacture, U.S. Pat. No. 4520116, May. 29, 1985.
- [22] Edward A Maguire, et al. Method of Producing Aluminum Oxynitride Having Improved Optical Characteristics, U. S. Pat. No. 4686070, August 11, 1987.
- [23] Willems H X, Flendrix M M R M, De With G, et al. *Euro-Ceramics II Vol. 3*. edited by G. Ziegler and H. Hausner, 1991, 2443-2444.
- [24] Jiping CHENG, Agrawal D, Yunjin ZHANG, et al, *J. Mater. Sci. Lett.*, 2001, **20**: 77-79.
- [25] Mitomo M, Moriyoshi Y, Sakai T, et al. *J. Mater. Sci. Lett.*, 1982, **1**: 25-26.
- [26] Mejeha I M. *Ph.D. Thesis*. University of Warwick, 1988.
- [27] Lizzo S, Meijerink A, Blasse G. *J. Lumin.*, 1994, **59**: 185.
- [28] Qz das E, Kortan A R, Kopylov N, et al. *Nature (London)*, 1995, **375**: 126.
- [29] Freiser M J, Nethfese S, Hotzberg F. *J. Appl. Phys.*, 1968, **39**: 900.
- [30] Karunaratne B S B, Lumby R J, Lewis M H. *J. Mater. Res.*, 1996, **11** (11): 2790-2794.
- [31] Hasan Mandal. *J. Eur. Ceram. Soc.*, 1999, **19**: 2349-2357.
- [32] SHEN Zhijian, Nygren M, Halenius U, et al. *J. Mater. Sci. Lett.*, 1997, **16**: 263-266.
- [33] Cheng W W, Wang P L, Cheng Y B, et al. in Preparation

Progress of Research on Non-oxide Transparent Ceramics

SU Xin-Lu¹, CHEN Wei-Wu¹, WANG Pei-Ling¹, CHENG Yi-Bing²

(1. State Key Lab of High Performance Ceramics and Superfine Microstructure, Shanghai Institute of Ceramics, CAS, Shanghai 200050, China; 2. Department of Materials Engineering, Monash University, Clayton, Victoria, 3168, Australia)

Abstract: From the transporting course of light in polycrystalline ceramics, this paper analyzed many factors that affect the transparence of ceramics, art requirements of making transparent ceramics and the fundamental characteristics of transparent ceramics products. On the theory basis, progress of research on several typical non-oxide transparent ceramics such as AlN, AlON and Sialon were introduced.

Key words polycrystalline ceramics; non-oxide; transparence