

石髓的光学性质分析

李 艺 苏希玉 李呈祥 李继仲

(曲阜师范大学物理系, 曲阜 273165)

邵宗书

(山东大学晶体所, 济南 250100)

刘廷礼 艾子萍

(山东大学实验中心, 济南 250100)

提 要

对石髓样品进行了化学成份、物理结构、透射光谱及散射退偏振能力等方面的分析, 结论是: 此材料有极强的散射退偏振能力; 又由于它本身为固体材料, 硬度高, 不易被损伤, 非常适合于制作紫外, 可见及近红外探测器的退偏振窗口。

关键词: 石髓, 散射退偏, 窗口。

一、引 言

由于科研及生产的需要, 寻找光学性能及实用性能均为良好的, 用于对偏振光进行退偏的散射退偏振介质, 一直是人们感兴趣的工作。Renau 等^[1]及 Blau 等人^[2]的工作, 可认为是这方面的阶段总结性的代表。然而, 自此以后, 始终未见报道有化学及物理性质稳定, 且在透射谱、透过率、退偏比、小角度($<90^\circ$)散射等等方面均能令人满意的介质。李艺等人报道的一种矿物材料——石髓^[3], 显示出了它在退偏振能力方面的优越性。本文旨在对石髓的光学性能进行综合考察, 并给出评定。

二、成份及结构

1. 一般性能介绍

石髓为一种固体矿物, 莫氏硬度为 7。从矿物学知识中得知, 石髓的主要成份为以多晶形式存在的 SiO_2 。它属于隐晶质的胶体矿物类^[4], 具有良好的可加工性及稳定性。一般的石髓矿常呈脉状或结块状, 有各种颜色如红、灰、褐、黑等等。颜色的存在是由于矿物中分别含有不同的金属氧化物及某些混入物造成的。这些杂质的存在, 会影响材料的透光性能。故一般应选用无色的, 结构比较均匀的矿物结块。这种结块的断面, 宏观上看起来, 为凝胶状半透明匀质体, 加工成小于 0.5mm 厚的薄片时, 接近完全透明。

图 1 (a) 为我们用 D/max-r B 机做的石髓样品的 X 射线衍射图。此图又一次说明, 样品的主要成份为 α -石英。图 1 (b) 为样品与石英晶体粉的 1.619 线的对比图。石英晶体粉粒线度约 $1\sim 5\mu\text{m}$ 。样品的 1.619 峰较宽, 是由于样品内的多晶晶粒的线度大大地小于石英晶体粉粉粒的线度。对峰宽的分析结果给出, 样品多晶晶粒的平均线度为 31nm 。

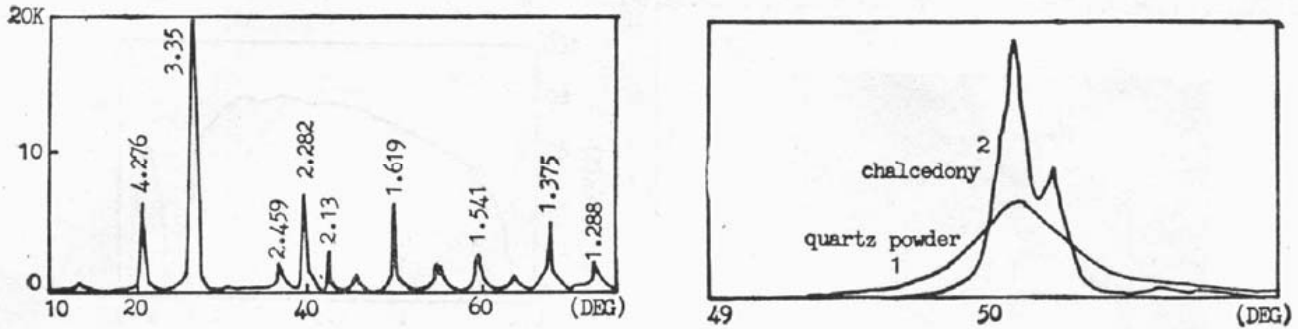


Fig. 1

(a) X-ray defraction curve of chalcedony.

(b) X-ray defraction curves of chalcedony and crystalline quartz powder

2. 折射率跃变

由于矿物学对石髓的有关光学性质的结构特点没有详细的介绍, 需重新对其进行考察。样品的透射电镜的结果如图 2, 宏观上看去均匀的样品实际上为许多团状颗粒的集合体, 如图中的 1、2、3 各区。这些团状颗粒的大小统计结果为 $1\mu\text{m}$ 。颗粒间有结合缝源, 通常为空气所填充。缝隙宽度的上限为 $0.3\mu\text{m}$, 一般在 $0.2\sim 0.01\mu\text{m}$ 。李国华等人曾证明^[5], 这样大小的空气隙在一次透射的光学计算中可以忽略。但是, 具体到石髓样品, 多次透射及反射的综合效果是不能忽略的, 这正是产生无规散射的重要原因。正是由于空气隙的存在, 使得分界面上产生足够有效的折射率跃变 ($\Delta n \approx 0.5$), 形成有效散射。由于空气隙的存在, 石髓的比重略低于石英, 为 $2.57\sim 2.64$ ^[4]。据此推算, 空气隙的占空比约为 2%, 比表面积大约在 $50\text{m}^2/\text{g}$ 。

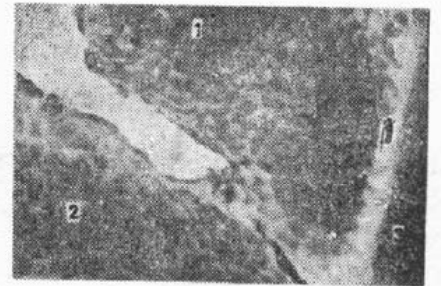


Fig. 2 EM photograph of chalcedony (200000x)

图 2 还清楚地显示了团状颗粒内部的具体形貌。可看出为密集的 SiO_2 小晶粒。此即为 X 射线衍射仪所注意到的内容, 这些小晶粒紧密排列, 晶形无规、晶轴取向无规。依此图为据, 对晶粒大小进行统计, 结果为 15nm , 与 X 射线衍射仪得出的结论之数量级相同。这种小晶粒也可认为是散射元, 但由于晶粒之间界面上的折射率跃变极小, 其上限仅为 SiO_2 晶体的双折射率, 一般为 $\Delta n = 0.01$ 。故发生的光的反射及折射作用极其轻微, 对总散射退偏能力的贡献很小。已知某些常用的多晶材料及部分人工微晶玻璃不能产生显著的退偏散射效果, 也正是由于它们内部各晶粒之间缺乏有效的折射率跃变^[6]。因此, 看一种材料能否有较强的散射能力, 决定因素为其内部是否有以某种方式存在的折射率跃变。

三、透 射 谱

石髓取作光学材料,其透射谱是需要关心的问题之一。已知它的化学成份是 SiO_2 ,但由于其结构特殊,尚需专门讨论。观察电镜照片图 3, 1 区的微晶晶粒显然要小于 2 区的微晶晶粒,这说明各团块形成时的物理经历不完全相同,其内部的结构形式也不完全相同。从照片上无法得知其内非晶 SiO_2 的存在与否及比例的高低。

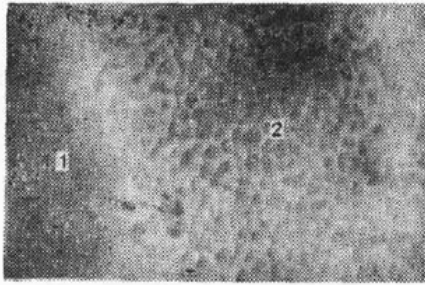


Fig.3 EM photograph of chalcedony, shows the average crystal size difference in different area

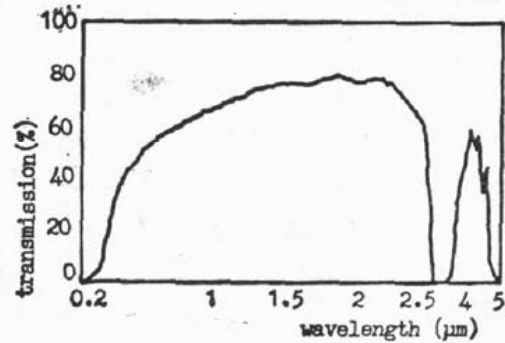


Fig.4 Transmission curve of chalcedony

图 4 即为分光光度计给出的石髓样品的透射谱。可以看出:石髓的主要透射区间为 $0.3 \sim 2.9 \mu\text{m}$, $3.8 \sim 5 \mu\text{m}$ 。本样品在 $1.4 \mu\text{m}$ 及 $1.9 \mu\text{m}$ 位置上的轻微吸收是由于杂质的存在造成的。在不同的样品中,杂质的含量及成份的不同,因而吸收的程度和位置不同。在实际的应用中,可根据要求的不同而选择不同的样品。

四、退 偏 实 验

样品加工成圆柱形,置入图 5 所示光路中。632.8 nm He-Ne 激光器为光源,入射光经偏光镜变成线偏振光,入射至样品上。探测器以样品圆柱的轴为其转轴,以某值为半径绕样品旋转扫描,测量光的散射分布。一般来讲,样品取圆柱形是为了使散射光线与出射表面垂直。

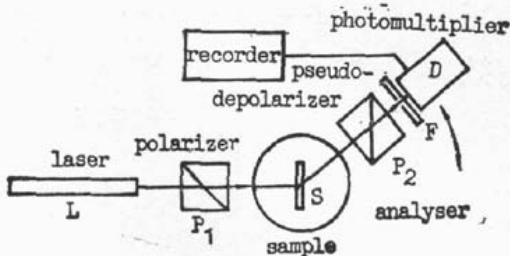


Fig.5 Optical orientations of scattered light detection

具体到本实验,当样品在透光方向上较薄时,散射能量主要集中在很小的角度范围内。故当样品通光方向上的线度小于 2mm 时,直接做成片状。这样,对测量结果无太大影响,且给样品加工带来方便。

图 6(a) 给出样品取不同厚度时散射光能量的角分布,实际只给出了样品厚度分别为 1mm、3mm 的曲线。因我们主要注意其透射光,对大于 90° 的散射光,不曾给出。从图可知,当片厚较小时,比如片厚 1mm,

透射光中除一散射分布的散射成份外还有一保持原入射光方向的成份。文献 [3] 将此成份称为主透射成份。前面给出的透射谱,仅仅计入了主透射成份,散射成份无法计入。逐渐增加片厚至 3mm 时,主透射成份完全被散射成份掩盖。图 6(a) 对应片厚 3mm 的光能分布曲线,显示了这种情况。

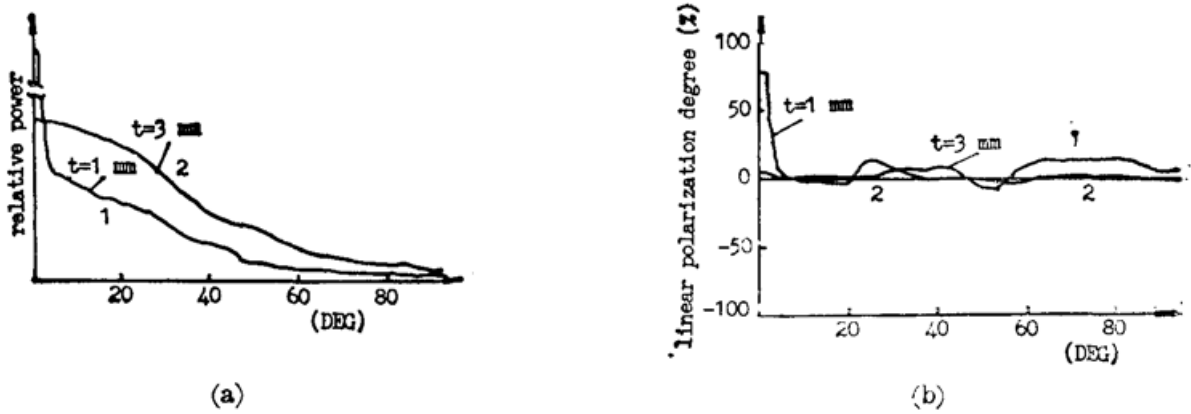


Fig. 6

- (a) Light scattering distribution by sample in different thickness.
 (b) Depolarization by samples of different thickness

在探测器前置入检偏镜 P_2 , 检查透过光的偏振情况。 P_2 与探测器之间使用一膜退偏振器以消除探测器的偏振效应, 提高测量精度。探测器为光电倍增管, 其偏振误差为 15%, 膜退偏振器的剩余偏振误差为 4%, 因此, 探测中的总偏振误差为 0.6%, 完全满足测量精度的要求。

一般看来, 主透射成份的退偏比应该不同于散射成份的退偏比, 事实果然如此。图 6(b) 给出样品厚 1 mm 及 3 mm 时全部透射光的偏振状况。可明显看出, 主透射成份的退偏效果是较差的。原因在于, 样品对主透射成份的作用, 与对散射成份的作用有着本质的差异。主透射成份完全不能用一般散射理论来描述。从实用角度讲, 需要采用适当的片厚将其去除。例如采取大于 3 mm 的片厚, 即可作为紫外、可见及近红外探测器的退偏振窗口。较之以往的各种形式的退偏振器, 它能真正消除入射光的偏振, 并同时使入射光较均匀地分布于探头表面, 保护探头以免损坏。上述实验是以 632.8 nm He-Ne 激光器为光源的, 对整个透射谱内的其它波长来说, 比如对紫外端, 结果应该基本相同。原因是, 按一般的散射理论, 散射性质区段的划分是以散射元线度小于、相当于或大于光波波长为标准的^[7,8]。已知石髓的散射元为团状胶粒, 线度为 $1 \mu\text{m}$, 整个透光区间之光波波长与其相比, 均在同一数量级, 故可以认为散射退偏振效果相似, 不再一一讨论。图 7 给出将样品后 ($\pm 90^\circ$ 以内) 所有光线都收集到探测器内时测得的总透射率 T 与样品厚度 t 的关系及线偏振度与样品厚度 t 的关系。此时, $T-t$ 曲线可用数学式简单表达为 $T = (0.83)^t$, 而 $P-t$ 曲线则稍复杂, 不能简单表出。图 7 给出的结论是: 当线偏振光穿过 3~3.5 mm 厚的石髓片时, 可达到良好的退偏, 并仍可有大于 50% 的总透过率, 这在很多场合是满足要求的。

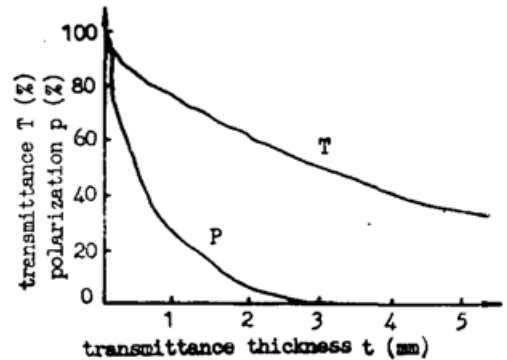


Fig.7 Total transmittance and its degree of linear-polarization

五、结 论

石髓被介绍到光学领域, 是由于其特殊的光学性能。首先是它的应用价值, 在紫外, 可

见及近红外这样较长的波段上有良好的透过率及出色的退偏振能力。当它作为探测器窗口被使用时, 它的散射作用还可使入射光斑变为在较大面积上分布的散射光, 避免了实际工作中经常出现的功率计探头烧斑的现象。这一散射事实, 又为散射理论的研究提供了一个与偏振有关的新模型。因此, 具有实用价值的固体散射退偏振材料的发现, 标志着退偏研究工作的一个进步, 为进一步寻找性能更佳, 应用范围更广的退偏介质提供了一个良好的开端。

参 考 文 献

- [1] J. Renau *et al.*; *J. Opt. Soc. Am.*, 1967, **57**, No. 4 (Apr), 459~466.
- [2] H. H. Blau *et al.*; *Appl. Opt.*, 1967, **6**, No. 11 (Nov), 1899~1904.
- [3] Li Yi *et al.*; *Chinese Phys. Lett.*, 1990, **7**, No. 12, 544~547.
- [4] 南京大学地质学系岩矿教研室; 结晶学与矿物学, (地质出版社, 北京, 1978), 342~343.
- [5] 李国华等; 中国激光, 待发。
- [6] McMillan; P. W.: *Glass-ceramics*, Academic Press, London/New York, 1964.
- [7] Mie, G.; *Ann. der Physik*, 1908, **25**, No. 3, 377~445.
- [8] Gumprecht, R. O. *et al.*; *J. Phys. Chem.*, 1953, **57**, No. 1, 90~95.

Optical properties of chalcedony

LI YI, SU XIYU, LI CHENGXI ANG AND LI JIZHONG
(*Phys. Dept. Qufu Normal University, Qufu 273165*)

SHAO ZONGSHU

(*Institute of Crystal Materials, Shandong University, Jinan 250100*)

LIU TINGLI AND AI ZIPING

(*Experiment Centre, Shandong University, Jinan 250100*)

(Received 22 April 1991; revised 3 July 1991)

Abstract

The analysis of the composition, construction, spectrum of transmittance and depolarization ability are made on a chalcedony sample. It reaches a conclusion that the material in a very good choice for depolarization windows of the detectors used in ultra-violet, visible and near-infrared spectra regions.

Key words: chalcedony, scattering depolarization, windows.