

## CsI(Tl) 晶体发光均匀性的研究\*

邓 群 沈定中 殷之文  
(中国科学院上海硅酸盐研究所 上海 200050)

### 摘 要

本文对 Tl 分布、几何形状以及表面条件对大尺寸锥形 CsI(Tl) 晶体的闪烁发光均匀性的影响进行了研究, 提出了改善大尺寸锥形 CsI(Tl) 晶体的发光均匀性的措施。

**关 键 词** CsI(Tl) 晶体, 发光均匀性

### 1 引言

除 NaI(Tl) 晶体以外, 过去几十年来最杰出的闪烁晶体当属 CsI(Tl) 晶体, 与 NaI(Tl) 晶体相比, CsI(Tl) 晶体具有更大的原子序数、更大辐射吸收系数, 而且比 NaI(Tl) 晶体不易潮解, 其光产额达到 NaI(Tl) 晶体的 80%。过去几十年来, CsI(Tl) 晶体一直被用于离子化辐射的探测, 但是由于 CsI(Tl) 闪烁体的发射光谱与光电倍增管的波长敏感区域不相匹配, 限制了 CsI(Tl) 晶体更广泛的应用。但是近十年来, 随着低电容、大面积的硅光二极管的发展, 其在 CsI(Tl) 晶体的发光波段具备了大的量子效率, 有力地促进了 CsI(Tl) 晶体在大型探测器中的应用。这种探测器的最大优点是它的简单性、相对价廉而且对磁场的不敏感性。更主要的是, 由于 CsI(Tl) 晶体的发光衰减时间与吸收粒子的离子化密度成函数关系, 这使得通过利用脉冲形状分辨技术来辨别带电粒子成为可能。因此高能物理领域纷纷把 CsI(Tl) 晶体列为大型电磁量能器的候选晶体。由于探测器设计方面的要求, CsI(Tl) 晶体往往需要加工成锥形, CsI(Tl) 晶体的发光均匀性因此受到了一定的影响, 锥形的 CsI(Tl) 晶体如何获得较好的发光均匀性是 CsI(Tl) 晶体投入实用所面临的一个重要课题。本文对 Tl 分布、几何形状以及表面条件对 CsI(Tl) 晶体发光均匀性影响进行了研究。

### 2 实验

使用长方形坩埚存放原料, 采用非真空坩埚下降法生长晶体, 通过对炉形结构的选择, 建立合适的温场, 选用适当的工艺条件可控制晶体的杂质分凝。生长出的晶体毛坯尺寸已达到  $70 \times 70 \times 370 \text{ mm}$ 。分别生长获得熔体中 Tl 含量为 100、200、300、400 ppm 的 CsI(Tl) 晶体, 毛坯切片后沿晶体的轴向进行采样, 用 X 荧光方法测得晶体轴向 Tl 含量的分布。将毛坯加工成  $55^2 \times 65^2 \times 300 \text{ mm}$  的锥形晶体 (其中以先结晶生长的部分为小端面), 六面抛光, 进行光产额及均匀性的测量。其中 400 ppm 的晶体先加工成  $65^2 \times 65^2 \times 300 \text{ mm}$  的长方体形, 进行均匀性测量后再加工成锥形, 然后对其在四面抛光、另一对侧面细磨和六面抛光的条件下进行均匀性的测量。

对晶体进行光产额及均匀性测量, 设备如图 1 所示。使用 R1847s 型光电倍增管接收晶体发光。通过 Canberra 2011 型放大器对光电倍增管的电信号进行放大, 最后在微机多道分

\* 1995 年 12 月 1 日收到初稿。1996 年 1 月 17 日收到修改稿

析仪上显示能谱. 测量时, CsI(Tl) 晶体包裹一层厚度为  $200\mu\text{m}$  的 Teflon, 仅留出大端面与光电倍增管耦合.

晶体均匀性的测试需对图 1 中所示的九个点进行测试, 取九个点的光产额的平均值为其光产额, 其中的最大值减去最小值再除以平均值为均匀性.

### 3 结果与讨论

#### 3.1 Tl 分布与大尺寸 CsI(Tl) 晶体发光均匀性的关系

对于 CsI(Tl) 晶体来说, 晶体的发光是由于激活剂  $\text{Tl}^+$  的存在, 因此 Tl 在晶体中的分布对大尺寸 CsI(Tl) 晶体的发光均匀性影响很大. 在下降法生长中, 由于 Tl 在晶体中的分凝系数仅为  $0.1\sim 0.2$ , 所以晶体轴向 Tl 分布的不均匀性是无法避免的. 图 2 显示不同掺 Tl 量的 CsI(Tl) 晶体中沿轴向 Tl 分布的情况. 由图 2 可见, Tl 在晶体中的含量是随着晶体的生长逐渐增加的, 其分布规律随晶体生长长度的增加呈指数分布. 图 3 为不同掺 Tl 量的晶体发光均匀性的测量结果.

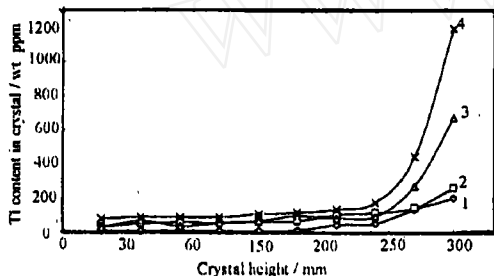


图 2 CsI(Tl) 晶体中 Tl 含量随晶体高度的分布  
Fig.2 Tl content along different height of CsI(Tl) crystals with different amount of original dopant in melt

1. 100ppm; 2. 200ppm; 3. 300ppm; 4. 400ppm

由图 3 可见, 随着掺 Tl 量的提高, 除了晶体的光产额相应提高外, 大尺寸晶体的发光均匀性也得到改善. 这可以很容易地从晶体中的 Tl 分布来进行解释. 掺 Tl 量提高, 使起始生长的晶体中的 Tl 含量提高, 使整根晶体的 Tl 分布落在光产额变化不大的区域, 进而改善晶体发光的均匀性. 从目前得到的实验结果看, 400ppm 的掺 Tl 量较易获得较好的均匀性.

#### 3.2 几何形状对均匀性的影响

图 4 为 400ppm 掺 Tl 量的 CsI(Tl) 晶体的长方体形与锥形的发光均匀性的测量结果. 从图 4 可以看到, 长方体形的晶体中各点的光传输条件相同, 由于晶体开始生长阶段 (右边的点) 的 Tl 含量较低, 光产额也较低. 如果将 Tl 含量较低的部分, 即光产额较低的部分加工成小端, 则可以利用锥形的几何聚光作用<sup>[1]</sup>来弥补晶体本身光产额的不足, 即以提高光电

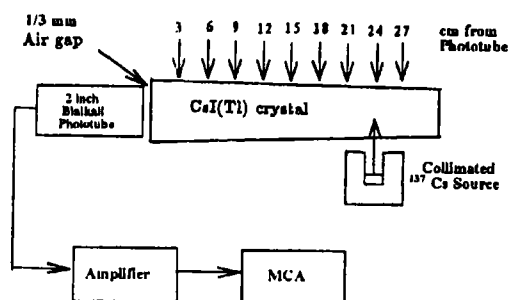


图 1 大尺寸 CsI(Tl) 晶体的光产额与均匀性的测量装置图

Fig.1 Schematic diagram for measuring the light yield and uniformity of full-size CsI(Tl) crystals

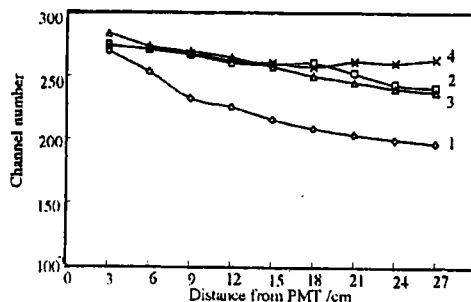


图 3 不同掺 Tl 量的 CsI(Tl) 晶体的均匀性曲线

Fig.3 Uniformity curves of CsI(Tl) crystals with different amount of Tl dopant

1. 100ppm; 2. 200ppm; 3. 300ppm; 4. 400ppm

倍增管对晶体小端发光的接收效率来改善大尺寸 CsI(Tl) 晶体的均匀性. 从测量结果可以看出, CsI(Tl) 晶体的均匀性从长方体形的 15.1% 改善到金字塔形的 3.7%, 可见几何形状对大尺寸晶体均匀性的影响是显著的.

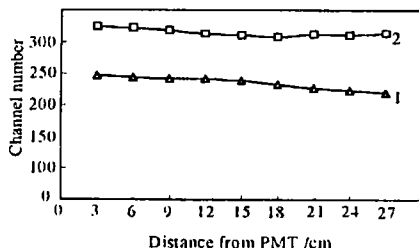


图 4 几何形状对晶体均匀性的影响

Fig.4 Influence of geometric shape on the uniformity of crystals

1. Rectangular, uniformity=15.1%; 2. Taper, uniformity=3.7%

### 3.3 晶体表面条件对均匀性的影响

对大尺寸 CsI(Tl) 晶体来讲, 表面状况的好坏, 在相当大的程度上影响了晶体光产额与均匀性的优劣. 如何优化晶体的表面条件, 使大尺寸 CsI(Tl) 晶体达到理想的光产额与均匀性, 是晶体测试过程中所急待解决的问题. 本文就表面条件对大尺寸 CsI(Tl) 晶体均匀性的影响进行了实验.

图 5 为不同表面条件下晶体发光均匀性的测量结果. 由图可见, 大尺寸晶体的表面抛光对改善均匀性有重要作用. 因为对于大尺寸晶体来说, 距离光电倍增管较远的部位的发光, 在晶体内部的传输路径相当长, 在晶体内表面的反射次数也较多, 晶体表面对发光的反射效率越高, 光电倍增管的接收效率越高, 而表面越光洁自然, 越能提高反射率, 减少光损失<sup>[1]</sup>.

## 4 结论

1. 提高晶体生长时的掺 Tl 量到一定程度, 可以改善大尺寸 CsI(Tl) 晶体的光产额和均匀性.
2. 利用锥形的几何聚光原理可以弥补 Tl 分布不均匀所造成的发光不均匀性.
3. 表面抛光可以改善大尺寸 CsI(Tl) 晶体的发光均匀性.

## 参 考 文 献

- 1 沈定中等. 无机材料学报, 1988, 3 (2): 187.

### Study on the Uniformity of CsI(Tl) Crystals

DENG Qun SHEN Dingzhong YIN Zhiwen

(Shanghai Institute of Ceramics, Chinese Academy of Sciences Shanghai 200050 China)

### Abstract

The effects of Tl distribution, geometric shape and surface condition of the crystal on the uniformity of CsI(Tl) crystals were investigated. Measures for improving the uniformity of large size taped CsI(Tl) crystals were proposed.

**Key words** CsI(Tl) crystals, uniformity

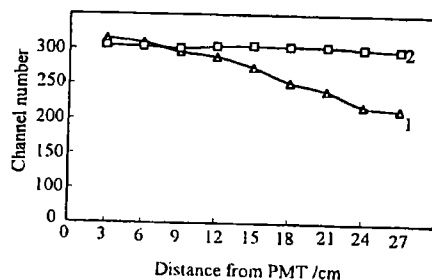


图 5 表面抛光对 CsI(Tl) 晶体均匀性的影响

Fig.5 The effect of surface condition on the uniformity of CsI(Tl) crystals

1. Four faces polished, uniformity=44%; 2. Six faces polished, uniformity=3.7%