

锗酸铋晶体光电导性质的研究*

冯锡淇 程朝阳 胡关钦 黄效仙 殷之文

(中国科学院上海硅酸盐研究所)

摘 要

生长了六种掺杂锗酸铋(简称BGO)晶体(分别掺Fe、Cr、Mn、W、Pb和Ce)。在合适的测试条件下,测量了它们的光吸收系数、光电导参数和暗电导率,并与未掺杂样品进行了比较。计算出了样品的特征参量 $\mu\phi\tau$,为上述材料光折变性质的研究提供了必不可少的数据。在此基础上,对BGO:Cr、BGO:Fe和BGO:Mn晶体的光折变机制进行了简略的讨论,认为BGO:Cr中的光折变中心可能是:Cr³⁺作为施主,Cr⁴⁺作为电子陷阱;或Cr⁴⁺作为受主,Cr³⁺为空穴陷阱。

关键词:掺杂锗酸铋晶体;光电导;光折变中心

一、引 言

锗酸铋(BGO)是人工合成晶体,属于立方晶系,43m点群。自Weber提出它可用作闪烁材料以来^[1],它已广泛地用于高能粒子或射线的探测。由于已能进行工业生产^[2],近年来,更重视其电光、磁光、非线性光学及激光基质方面的研究。

不久前,Moya等发现在442 nm光束照射下,掺Cr的BGO晶体中能形成光折变光栅,而未掺杂的则不能^[3]。这一发现对开辟BGO新的应用无疑很有意义。因为以前只是在Bi₁₂GeO₂₀和Bi₁₂SiO₂₀中观察到光折变效应。应进一步确定材料产生光折变的载流子/陷阱系统,了解各类杂质特别是过渡金属离子在晶体中的行为及其对光折变效应的作用。比如LiNbO₃和LiTaO₃中的Fe²⁺/Fe³⁺,未掺杂LiNbO₃的Nb⁴⁺小极化子和被陷空穴以及未掺杂GaAs中的EL₂和EL²⁺缺陷等等^[4]。都与材料光折变性质有直接关系。为此,我们生长了掺过渡金属Fe、Cr、Mn、W以及掺Pb、Ce的六种晶体,系统测量其光电导,测量中发现测试结果对测试条件如光束波长与强度,退色处理及紫外辐照等有很强的依赖性。根据我们确定的合理的测量条件,得到了较可靠的光吸收、暗电导及调制频率在125 Hz时的光电导参数,并计算了特征参数 $\mu\phi\tau$ 值。

二、晶体生长和实验方法

将纯度5N的Bi₂O₃和6N的GeO₂粉料按2:3摩尔比混和,熔化制成BGO多晶体,以此作为生长BGO单晶体的原料。对于掺杂晶体则以相应氧化物作掺杂剂,按表1的掺杂浓度混入多晶体,生长出的晶体中实际掺杂浓度比该值低。采用Bridgeman—Stockbarger方法生长晶体。晶体沿(001)方向长成,尺寸约为1.5×1.5×15 cm,除籽晶及杂质富

* 1990年8月27日收到初稿,12月3日收到修改稿

国家自然科学基金资助课题

† 上海交通大学应用物理系九〇届毕业生。

集的底部,晶体中部未发现气泡、组分过冷等宏观缺陷。个别分凝系数较低的掺杂离子,在晶体底部出现包裹物,使晶体易开裂。对于那些有着色作用的晶体如Cr, Fe和Ce等,颜色分布基本均匀。表1列出本文中各掺杂BGO晶体的掺杂剂、掺杂量和晶体颜色。样品中实际掺杂离子浓度未测量。

表1 本文中所用的各种掺杂BGO晶体
Table 1. Doped BGO crystals in the present study

Sample	Dopant	Dopant Content(wt. %)	Crystal colour
No. 1.	Fe ₂ O ₃	0.02	yellowish
No. 2.	Cr ₂ O ₃	0.02	green
No. 3	MnO	0.02	no
No. 4	WO ₃	0.02	no
No. 5	PbO	0.02	no
No. 6	Ce ₂ O ₃	0.1	yellowish
No. 7	undoped	—	no

垂直于晶体生长轴切出的晶片,抛光成厚度2~3 mm的样品用以测量光吸收谱及几个波长的光吸收系数。室温光吸收谱在Shimadzu UV-265分光光度计上测量。光电导测试用的样品尺寸为4×2×2 mm,其中4×2 mm抛光面作受光面,它垂直于(001)方向。采用烧银电极,电极间距2 mm。图1为用于光电导测量的设备框图。光源为250 W 卤钨灯,光束经斩波后(斩波频率 $f=125$ Hz)

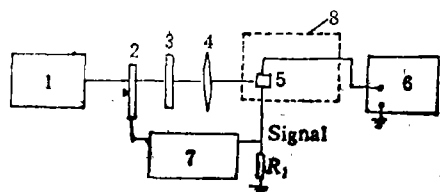


图1 光电流测试系统示意图

Fig. 1. Block-diagram of measuring photo-current using a lock-in amplifier

1. tungsten-bromine lamp; 2. chopper;
3. filter; 4. lens; 5. sample; 6. high voltage DC source; 7. lock-in amplifier; 8. shield box.

光源为250 W 卤钨灯,光束经斩波后(斩波频率 $f=125$ Hz)投射到样品上。光斑截面大于样品,以避免不均匀光照引起的空间限制光电流。负载电阻 R_s 与样品串联并与LI-574 A锁相放大器连接以检测光电流。由光电流对光强和外加电场的线性关系表明样品中不存在空间电荷限制电流。尚未进行光电流光谱响应的测量。对几个选定波长的光电流测量是以带通滤光片进行的,对于它们的中心波长、半宽度和透过率分别以分光光度计和无光谱选择性的光功率计进行标定。用于暗电导率测量的样品与光电导测量为同一样品。测量是在AZI 2-1型振动电容静电计上完成的。

此外,一只500 W 高压汞灯作为紫外辐照源以研究紫外辐照对BGO晶体光电流、暗电导率的影响,其所含谱线波长约为368, 334, 312, 302, 297, 289和254 nm等。

三、实验结果

1. 光吸收系数

图2为各种掺杂和未掺杂BGO晶体在 >350 nm波段的光吸收谱。BGO晶体的光吸收

边约为 4.15 eV (~300 nm)。BGO:Cr 晶体在长波区有三个特征吸收峰: 1.53, 1.67 和 1.82 eV。掺 Fe, Ce 和 Mn 的样品光吸收边有不同程度的“红移”, 它可能意味着在短波区存在相应的光吸收峰。BGO:W 和 BGO:Pb 的光吸收边基本上与未掺杂 BGO 重合。

考虑反射, 样品光吸收系数为

$$\alpha = (1/l) \cdot \ln \{ [(1-r)^2 + \sqrt{(1-r)^4 + 4r^2\tau^2}] \cdot (1/2\tau) \} \quad (1)$$

其中 l 为样品厚度, r 为界面反射率, τ 是透射与入射光强比。BGO 晶体折射率 n 已由 Borfeld 等测得, 并可求出 r 值:

$$n^2 - 1 = S_0 \lambda_0^2 / [1 - (\lambda_0/\lambda)^2] \quad (2)$$

$S_0 = 9.508 \times 10^{13} / \text{m}^2$, $\lambda_0 = 181.1 \text{ nm}^{[5]}$, λ 是光波长。我们忽略了掺杂对折射率的影响。

测量中发现, 即使在短波区, 未掺杂 BGO、BGO:W 和 BGO:Pb 的 α 值极低, 即使使用 $l > 30 \text{ mm}$ 的长晶体, 精确测定仍较困难, 这也直接影响到进一步测定材料特征参数 $\sqrt{\mu\phi\tau}$ 。表 2 列出 $\lambda = 440 \text{ nm}$ 时的光吸收系数, 相对误差 $< 30\%$, 所有样品在测试前, 都曾在 300°C , 空气中进行了至少 2 h 热处理以清除色心影响。

表 2 掺杂 BGO 晶体在 $\lambda = 440 \text{ nm}$ 处的光吸收系数
Table 2. Optical absorption coefficient α of BGO crystals at 440 nm

Sample	BGO:Fe	BGO:Cr	BGO:Mn	BGO:Ce	BGO:Pb	BGO:W	undoped BGO
$\alpha(\text{cm}^{-1})$	0.61	1.7	0.14	0.22	0.14	0.13	0.03

2. 光电导

在外电场 E_0 作用下, 材料受光照产生光电流。光电流密度与材料性质有关:

$$j_p = e(\alpha P_0 / h\nu \cdot S) \cdot \phi \mu \tau \cdot E_0 \quad (3)$$

式中 $\mu\phi\tau$ 是一个仅与材料本身性质有关的参量, ϕ 是产生光生载流子的量子效率, μ 是迁移率, τ 是载流子平均寿命。式中其它量可以通过光电导测量确定。 e 是电子电荷, α 是材料吸收系数, P_0 为入射光功率, $h\nu$ 是单光子能量, S 为光束截面积。

实验中发现, 由于 BGO 晶体特别是过渡金属掺杂的 BGO 对紫外辐照相当敏感, 因此为消除色心的影响, 测试样品在测试前均需 300°C 以上空气中进行 2 h 以上的热处理, 对此将在下文详细讨论。此外, 测试用光波长不宜选用紫外光。我们选取了 440 nm 滤光片, 半宽度 90 nm , 除抑制色心考虑外, 在该波长区, 各掺杂晶体显示较大差异。

图 3 为表 1 中所列各样品光电流与外加电场的关系。入射光波长 $440 \pm 45 \text{ nm}$ 。它们是一组过原点的直线, 光电导率可由其斜率算出。同一组样品未作热处理的值有很大偶然性, 未列出。

表 3 列出了波长 $\lambda = 440 \text{ nm}$ 光照下, 外加偏压 1 kV 、光功率密度 10.3 mW/cm^2 条件下测得的光电流密度 j_p 。按(3)式及光吸收系数值推算出了各样品的 $\mu\phi\tau$ 值。

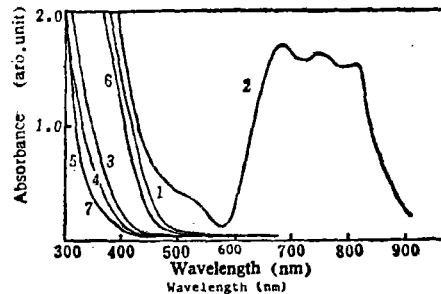


图 2 掺杂 BGO 晶体室温光吸收谱
Fig 2. Room-temperature optical absorption spectra of BGO:Fe (1) BGO:Cr (2), BGO:Mn(3), BGO:W(4), BGO:Pb(5), BGO:Ce(6) and undoped BGO(7) crystals.

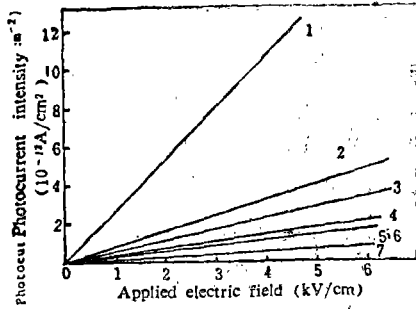


图 3 BGO 晶体光电流密度与外加电场的关系

Fig. 3. Dependence of the room-temperature photocurrent density j versus the applied electric field E_0 for a light density of 10.3 mW/cm^2 at 440 nm , modulating frequency $f_0 = 125 \text{ Hz}$.

- (1) BGO:Cr, (2) BGO:Pb, (3) BGO:Fe, (4) undoped BGO, (5) BGO:Ce, (6) BGO:Mn and (7) BGO:W.

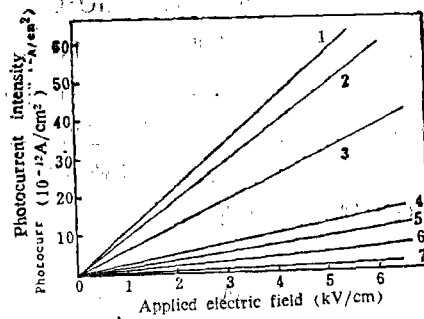


图 4 紫外辐照后 BGO 晶体光电流与外加电场的关系

Fig. 4. Dependence of the photocurrent density j versus the applied electric field in the doped BGO crystals after UV-irradiated, light density 10.3 mW/cm^2 , $\lambda = 440 \text{ nm}$, $f_0 = 125 \text{ Hz}$.

- (1) BGO:Pb, (2) BGO:W, (3) undoped BGO, (4) BGO:Cr, (5) BGO:Fe, (6) BGO:Ce and (7) BGO:Mn.

表 3 BGO 晶体的光电流密度及特性参数 $\phi\mu\tau$ 值
Table 3. Characteristic parameters of BGO crystal

Sample	BGO:Fe	BGO:Cr	BGO:Mn	BGO:Ce	BGO:Pb	BGO:W	BGO
α (cm^{-1} , 440 nm)	0.61	1.7	0.14	0.22	0.14	0.13	0.03
J_p^* (10^{-12} A/cm^2)	2.8	13.4	1.4	1.4	4.0	0.64	1.67
$\phi\mu\tau$ ($10^{-13} \text{ cm}^2/\text{V}$)	2.5	4.0	5.0	2.5	14.7	2.0	32
J_p^{**} (10^{-12} A/cm^2)	9.2	12.5	1.5	4.5	57	49	32

* Photocurrent density. $\lambda = 440 \text{ nm}$, $E_0 = 5 \text{ kV/cm}$, light density 10.3 mW/cm^2 .

** Photocurrent density after UV-irradiated. Other conditions are the same.

紫外辐照对 BGO 有强烈着色作用, 并对光电导产生影响。表 3 中也列出了该组样品经高压汞灯辐照后放置 1 h 测得的光电流密度 j_p' 。不同样品中光电流增加的幅度有很大差异。图 4 显示该组样品经紫外辐照后的光电流密度与外加电场的关系, 它们仍保持为一组通过原点的直线, 但各样品光电导率变化各异。

BGO 晶体的色心是不稳定的。紫外辐照后, 色心将自然褪色, 也表现为光电导率的衰减。其衰减速率因样品而异。未掺杂的 BGO 晶体衰减最快, 依次为 BGO、BGO:Pb、BGO:W 和 BGO:Fe、BGO:Mn。BGO:Cr 和 BGO:Ce 经紫外辐照后光电流略有变化, 但几乎不随时间衰减。

3. 暗电导率

纯 BGO 晶体的暗电导率极低, 它们的精确测量是相当困难的。我们使用光电导测量的同一样品, 予以仔细的清洁处理, 并置于带有干燥剂的样品盒内, 同时注意电屏蔽。测得的一组 BGO 晶体室温暗电导率列于表 4 中。其中未掺杂 BGO 晶体的暗电导率最低, 而且与 Kavas 等测得的值 $\sigma_d = 9.5 \times 10^{-14} (\Omega \cdot \text{cm})^{-1}$ 是一致的^[6]。值得注意的是, BGO:Fe 和

BGO:Mn 的暗电导率比其它晶体高出两个数量级。原因尚不清楚。表 4 中同时列出该组样品在以高压汞灯辐照 5 min, 放置 1 h 后测得的暗电导率值。暗电导率略有增加, 但不明显。

表 4 BGO 晶体的室温暗电导率
Table 4. Room-temperature dark conductivity of BGO crystals

Sample	BGO:Fe	BGO:Cr	BGO:Mn	BGO:Pb	BGO:W	BGO
$\sigma_d \times 10^{-15} (\Omega \cdot \text{cm})^{-1}$	300	3.4	120	3.7	1.8	1.0
$\sigma_d' * \times 10^{-15} (\Omega \cdot \text{cm})^{-1}$	320	4.0	200	5.6	4.0	1.1

* Dark conductivity after UV-irradiated

四、讨 论

从上述实验结果看出: BGO 晶体的色心(或称辐照损伤)对光电导测量有很大的影响。BGO 晶体的辐照损伤可由多种辐照源引起。以往大量研究集中于由 ^{60}Co 或 ^{137}Cs 辐射的 γ 射线或由 X 射线引起的严重损伤^[7,9]。其实, 低能紫外线也足以引起 BGO 晶体损伤。Esser 等观察了汞灯中所含各种谱线(254, 313, 365, 436, 546, 579 nm)对 BGO 晶体的着色作用。他发现 $\lambda = 313$ nm 紫外线可使晶体深度着色, 而 $\lambda = 365$ nm 的紫外线所引起的损伤明显降低。对 $\lambda \geq 436$ nm 的光线, 未观察到光损伤^[9]。另外, Lavirus 等的研究表明, 当能量密度为 50 mJ/cm^2 的绿色激光束(514 nm)和红光(660 nm)照射 BGO 晶体, 不产生可以检测的损伤, 而 $\lambda = 337$ nm 的 N_2 激光束则能引起严重的损伤^[7,10]。综合以前的各项研究, 似乎可以说, 对未掺杂的 BGO 晶体, 产生辐照损伤的阈值波长介于 2.84 eV (436 nm)和 4.0 eV (365 nm)之间。值得注意的是它低于 BGO 晶体的光学禁带宽度(4.15 eV)。

紫外辐照感生光损伤的存在使我们必须仔细选择 BGO 晶体光电导测试用的光源和光强。 $< 400 \text{ nm}$ 波段的光束及来自卤钨灯的白光(包含大量紫外线), 常常导致过高的光电导值, 而且光电流随光照时间的增加而持续上升。这正是我们选取 $\lambda = 442 \text{ nm}$ 作为 BGO 晶体光电导测试波长的原因之一。

在室温条件下长期放置的 BGO 晶体, 由于受存在于环境中的各种辐照的影响, 晶体中常常会积累起一定浓度的色心。它直接干扰光吸收、电阻率和光电导的测量结果。因此, 上述各项测试前的预处理是必不可少的。根据我们对一组掺杂 BGO 晶体的热释光研究表明, BGO 晶体中大致存在四种不同温度的热释光峰, 其中最高的热释光峰在 BGO:Mn 等晶体中, $T_{\text{T.L.}} = 230^\circ\text{C}$ 。据此, 我们选取 300°C 作为 BGO 晶体的预退火温度, 它足以清除 BGO 晶体中的色心。关于热释光研究的详情, 将另文介绍。

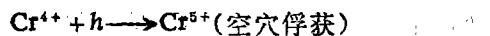
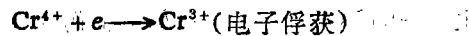
Moya 发表的 BGO 和 BGO:Cr 的光电流密度的波长关系表明, 未掺杂 BGO 晶体的光电流密度远高于 BGO:Cr, 它在 $\lambda = 355 \text{ nm}$ 处的 $\phi\mu\tau$ 值几乎是 BGO:Cr 的 200 倍。但值得注意的是, 从归一化光电流密度光谱分布曲线看出, 当 $\lambda > 365 \text{ nm}$ 时, 未掺杂 BGO 的光电流密度迅速降至 BGO:Cr 之下, 这与上面讨论的使 BGO 晶体产生辐照损伤的阈值波长是吻合的。也就是说, 辐照损伤是导致较大的 BGO 光电流的原因。当我们用卤钨灯的白光实验时, 得到未掺杂 BGO 光电流密度是 BGO:Cr 的 3.4 倍。同样的样品经过 300°C ,

2 h 热处理后, 以 $\lambda = 442 \text{ nm}$ 光束测试, 结果如图 4 所示, 未掺杂 BGO 的光电流密度减少到 BGO:Cr 的四分之一左右。这可能是我们的 BGO 和 BGO:Cr 光电导数据相对值有异于文献[3]的原因。此外, 我们实测的 BGO:Cr 的 $\phi\mu\tau$ 值低于文献[3]的数值也可能与测试方法有关, 文献[3]报道的是直流光电导, 而我们则是用频率 $f = 125 \text{ Hz}$ 的调制光束得到的交流光电导。

电光晶体中的光折变过程包括光生载流子的激发 \rightarrow 载流子迁移(漂移、扩散、跳跃 hopping 等) \rightarrow 载流子在新的位置上被陷, 形成新的空间电荷分布。但是每一种材料中光折变中心(包括载流子提供者和陷阱)的确认是十分困难的。即使同一种晶体, 不同掺杂种类、晶体组分、还原情况以及激发光波长等条件下, 光折变中心可以不同。如 $\text{Bi}_{12}\text{GeO}_{20}$ 和 $\text{Bi}_{12}\text{SiO}_{20}$ 中的光折变中心随激发光波长的不同, 由电子变成空穴^[11,12]。实际上该材料光折变中心的性质迄今仍不清楚^[13]。至于本文中掺杂 BGO 光折变效应的研究刚刚起步, 很多问题尚未深入研究。

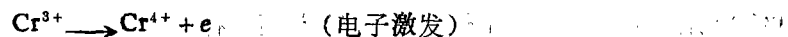
从我们的测量结果看, 具有光折变效应的 BGO:Cr, 其 $\phi\mu\tau$ 值与其它掺杂样品并不存在特别的差异。所有掺杂样品 $\phi\mu\tau$ 值比未掺杂的要小。这可以解释为掺杂导致复合中心增加, 从而载流子平均寿命 τ 减小的结果。值得一提的是, BGO:Cr 具有较大的光吸收系数, 是未掺杂 BGO 的 50 多倍, 而且比其它掺杂样品都大。但是还不清楚, 其它具有较大吸收系数或具有一些特征吸收峰的掺杂样品, 如掺 Pr 的 BGO, 是否较容易观测到光折变效应。

BGO:Cr 在长波区的三个吸收峰分别为 1.53、1.67 和 1.82 eV, 它们对应于 Cr^{4+} 的特征跃迁^[14,15]。相似的吸收带存在于 $\text{Bi}_{12}\text{GeO}_{20}$ 和玻璃中。Moya 据此提出 Cr^{4+} 作为陷阱中心^[3], 则下列过程可能发生:

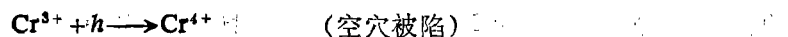
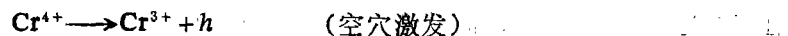


此外, Kavas 等最近使用 Ar^+ 激光已在 BGO:Fe 和 BGO:Mn 中观察到光折变效应, 并认为 Fe^{3+} 在 BGO 中的作用相当于施主中心^[6]。下面, 我们将按照杂质离子在 BGO 晶体中的置换性质来讨论它对光折变过程的影响。

杂质离子在晶体中所处的位置取决于四个因素: 电荷数、离子半径、电负性和配位情况。魏宗英等对掺杂 BGO 晶体的 ESR 谱研究表明: 铬和铁主要以 Cr^{3+} 和 Fe^{3+} 的形式取代 Ge^{4+} 而处于氧四面体中; 而锰则以 Mn^{2+} 的形式存在, 估计进入 $\text{Bi}-\text{O}$ 八面体^[10]。按照这一结果, BGO 中的 Cr、Fe 和 Mn 均为低价取代, 亦即 Ge 位铬, Ge 位铁, 和 Bi 位 Mn 均为局部负电中心: $(\text{Cr}_{\text{Ge}})^{\ominus}$, $(\text{Fe}_{\text{Ge}})^{\ominus}$ 和 $(\text{Mn}_{\text{Bi}})^{\ominus}$ 。首先, 以 BGO:Cr 为例, 考虑到光吸收谱已显示 Cr^{4+} 的存在, 因此, 我们认为 BGO:Cr 的光折变过程可能是

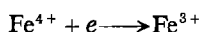
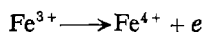


当然, 也可能存在与此相应的空穴过程

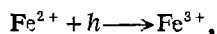
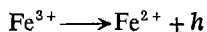


也就是说, $\text{Cr}^{3+}/\text{Cr}^{4+}$ 作为施主/电子陷阱或空穴陷阱/受主, 构成 BGO:Cr 晶体的光折变中心。光生载流子迁移过程示于图 5, 其情况与掺 Cr 铌酸锂晶体的光折变过程十分相

似^[17]。相应地, 类似过程可能也存在于 BGO:Fe 和 BGO:Mn 晶体中, 亦即 Fe^{3+} (或 Mn^{3+}) 作为施主



这与掺 Fe 铋酸锂中 Fe^{2+} 作为施主, Fe^{3+} 作为电子陷阱是不同的。不过, 在非短波长光照时, 下列空穴过程也许较普遍:



重要的是要得到 BGO 晶体中存在或不存在 Fe^{4+} 和 Mn^{3+} 的证据。就铁杂质而言, 至少在 SrTiO_3 晶体中观察到 Fe^{4+} 和 Fe^{3+} 间的光致可逆电荷转移^[18]。

关于 BGO:Pb 和 BGO:W 尚未见有光折变效应的测试结果, Pb 作为杂质对 BGO 晶体辐照损伤的影响是十分突出的, 除某些过渡金属外, 它是能导致 BGO 晶体严重损伤的杂质之一^[19]。我们的研究也发现, BGO:Pb 和 BGO:W 极易因紫外辐照而着色, 且着色晶体的消褪过程十分缓慢, 这意味着含 Pb 和 W 杂质的 BGO 晶体色心相当稳定。另外, 从表 3 和图 4 可看出, BGO:Pb 的 $\phi_{\mu\tau}$ 值大一些, 而且紫外辐照后 BGO:Pb 和 BGO:W 光电流密度有十多倍乃至数十倍的增加, 这也许与 Pb 特别是 W 离子多重离化有关。作为比较的 BGO:Fe, BGO:Cr 和 BGO:Mn 对紫外辐照不敏感。或许可以认为, 在紫外辐照 BGO:W 和 BGO:Pb 晶体中可能存在着另一种类型不同于 Cr, Fe 和 Mn 的光折变中心, 这有待于进一步实验, 特别是光折变效应的测试结果。

至于 BGO:Ce, Ce^{3+} 离子在某些基质晶体中是十分有效的光折变敏化剂, 如掺 Ce 的 $\text{Ba}_x\text{Sr}_{1-x}\text{Nb}_2\text{O}_6$ 晶体^[20]。它对于 BGO 晶体是否有效? 对此我们也寄以期望。

参 考 文 献

- [1] Weber, M. J. and Monchamp, R. R.; J. Appl. Phys., 44, 1973:5495.
- [2] 何崇藩: 中国科学院院刊, (2) 1986:154.
- [3] Moya, E. Contreras, L. and Zaldo, C.; J. Opt. Soc. Am., B5, 1988:1737.
- [4] Brody, P. S. et al.: Appl Optics., 26, 1987:220.
- [5] Bortfeld, D. P. and Meier, H.: J. Appl. Phys. 43, 1972:5110.
- [6] Kovas, L. et al.: «Symp. on Phys. of Opt. Cryst.», Budapest, Hungary, Oct. 10~12, 1989.
- [7] Laviran, C. and Lecoq P.: Nucl. Instr. and Meth. in Phys. Res., 227, 1984:45.
- [8] Bieler Ch. et al.: Nucl. Inst. and Meth. in Phys. Res., A 234, 1985:435.
- [9] Esser, B. et al: CERN Meeting, Geneva, Switzerland (1985).
- [10] Laviron, C. and Lecoq P.: BGO Electromagnetic Detector, CERN Meeting, Geneva, Switzerland (1984).
- [11] Hou S. L. et al.: J. Appl. Phys., 44, 1973:2652.
- [12] Pencheva, T. G. Stepanov, S. J.: Sov. Phys-Solid State 24, 1982:687.
- [13] Kratzig, E. and Schirmer. O. F.: «Topics in Applied Physics», 61:P. 13.
- [14] Wardhynski, W. et al.: J. Phys. Chem. Solids., 43, 1982:767.
- [15] Lunkin, S. P. Galimov, D. G. and Yudin, D. M.: Opt. Spectrosc. (USSR), 25, 1969: 323.

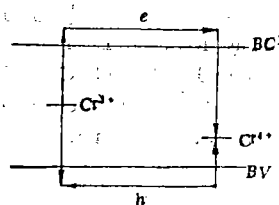


图 5 掺铬 BGO 晶体中可能的光生电荷传输过程。

P: 电子, h: 空穴, BC: 导带, BV: 价带。

Fig 5. Possible optically induced charge transport in Cr doped BGO crystal

- [16] 魏宗英等: 无机材料学报, 5, 1990:139
[17] Ye. Ming, Kratzig, E. and Orlowski, R.: Phys. Sta. Sol., A 92, 1985:221,
[18] Faughman B. W and Kiss. Z. J.: Phys. Rev. Lett., 21, (1968) 1331
[19] Zhou, T. Q. et al.: Nucl. Instr. and Meth. in Phys. Res., A 258, 1987:58
[20] Huignard, J. P. Micheran, F.: Appl. Phys. Lett., 29, 1976:591

Study of Photoconduction Properties of $\text{Bi}_4\text{Ge}_3\text{O}_{12}$ Crystals

Feng Xiqi Cheng Chaoyang Hu Quanzin

Wang Xiaoxian and Yin Zhiwen

(Shanghai Institute of Ceramics, Academia Sinica)

Abstract

Six kinds of doped- $\text{Bi}_4\text{Ge}_3\text{O}_{12}$ (BGO) crystals, including Fe, Cr, Mn, W, Pb and Ce as dopants respectively, have been grown by the Bridgeman technique. The optical absorption coefficients, dark conductivities and photoconduction parameters of these doped BGO crystals were measured and compared with undoped BGO. It was found that the experimental conditions such as wavelength and intensity of incident light beam used for photocurrent measurement and pretreatment of the investigated samples have great influence on the experimental results. On the basis of the fact, we have fixed the suitable experimental conditions which reduce the disturbance from oneself to the minimum. Thus the experimental data of the optical absorption coefficients, dark conductivities and photoconduction parameters obtained in the present study would be independent on the experimental conditions. Based on these data, the mechanism of photorefractive effect in Cr-doped BGO, Fe-doped BGO and Mn-doped BGO crystals are briefly discussed. It is considered that photorefractive centers in the Cr-doped BGO may be either Cr^{3+} as donor and Cr^{4+} as electron trap, or Cr^{4+} as acceptor and Cr^{3+} as hole trap.

Keywords: Doped- $\text{Bi}_4\text{Ge}_3\text{O}_{12}$ crystals, Photoconduction, Photorefractive centers.