

文章编号: 0258-7025(2004)11-1378-03

脉冲激光作用下碘掺杂的 AgBr-T 颗粒中 光电子衰减特性

杨少鹏, 傅广生, 刘荣娟, 代秀红, 李晓伟

(河北大学物理科学与技术学院, 河北 保定 071002)

摘要 利用微弱信号的微波吸收相敏检测技术,在短脉冲激光作用下,测量了在不同碘化物掺杂方式和掺杂量下的 AgBr-T 颗粒中自由光电子和浅束缚光电子随时间的衰减曲线,根据测得的衰减曲线得到了不同条件下的自由光电子寿命(FLT)、自由光电子衰减时间(FDT)及浅束缚光电子衰减时间(SDT)值,通过比较这些值分析了碘化物在 AgBr-T 颗粒中的作用和碘化物对 AgBr-T 颗粒的感光性能的影响。详细分析了碘含量小于、大于以及等于 3% 的吸收信号和色散信号曲线,讨论了曲线上各个区的影响因素。

关键词 光电子学;短脉冲激光;光电子寿命;微波吸收;碘掺杂;电子陷阱

中图分类号 TQ 59 **文献标识码** A

Photoelectron Decay Characteristics in Iodide-Doped AgBr-T Grains Excited by a Pulse Laser

YANG Shao-peng, FU Guang-sheng, LIU Rong-juan, DAI Xiu-hong, LI Xiao-wei

(College of Physics Science & Technology, Hebei University, Baoding, Hebei 071002, China)

Abstract The curves of free photoelectron and shallow-trapped photoelectron decaying with time in different doping method and doping amount of iodide are measured under the action of short-pulsed laser by using microwave absorption phase sensitive technique, which is used to measure faint signal. According to the curve, the lifetime values and the decay time values of free photoelectron and shallow-trapped photoelectron under different condition are obtained. By comparing these values, the work of iodide in AgBr-T grain and its influence on the photographic property of AgBr-T are analyzed. In addition, the absorbed and dispersive signals with the iodide amount less than, more than, and equal 3% are analyzed in detail, and the influencing factors on every section are discussed.

Key words optoelectronics; short-pulsed laser; photoelectron lifetime; microwave absorption; iodide doping; electron trap

1 引 言

卤化银感光材料是一种光信息材料,具有快速记录和长久保存光信息的功能。它无需经过光电转换过程即可实现光信息的记录与存储,对现代信息科学与技术的发展具有非常重要的推动作用。人们采用 X 射线衍射技术来研究乳剂层中卤化银颗粒

的晶格结构^[1];采用光谱技术来研究卤化银和增感剂的光谱吸收特性^[1,2];采用微波光电导技术来研究光生载流子的特性以及感光与成像过程的规律^[3,4]。这些研究工作对提高卤化银感光材料的性能起到了非常重要的作用。微波吸收技术是一种介电谱检测技术^[5,6],其突出优点在于它的高时间分辨检测技术,时间分辨率达到 1 ns 左右,能精确地

收稿日期:2003-08-18;收到修改稿日期:2004-03-22

基金项目:国家自然科学基金(10354001)、教育部科学技术研究重点项目(01011)、河北省高校博士基金(B2003119)和河北大学博士基金(2003B01)资助课题。

作者简介:杨少鹏(1964—),男,河北省保定市人,河北大学物理科学与技术学院副教授,博士,主要研究方向为光与物质相互作用。E-mail:spyang@mail.hbu.edu.cn

测量载流子的时间特性,反映感光过程的细微变化;根据相敏检测原理,巧妙地将自由电子信号与浅俘获电子信号分开,从而可以全面反映光电子的行为规律,这一点是采用其他技术无法实现的。光电子的时间衰减特性可以反映卤化银中空穴复合中心、电子陷阱、空穴陷阱、填隙银离子的性质和影响。本工作通过采用微波吸收技术测量了碘的不同掺杂方式下 AgBr-T 颗粒中的光电子衰减时间谱,分析了碘对溴化银中光电子的时间衰减特性的影响,及其在溴化银中的作用和对感光性能的影响。

2 原理及实验方法

实验装置见文献[6],样品放在微波谐振腔中,当受到激光脉冲的激发时,样品内部产生大量的光电子,光电子的产生引起材料介电函数 $\epsilon(\epsilon = \epsilon' + i\epsilon'')$ 的变化^[7]。卤化银材料中存在大量的电子陷阱,落入深电子陷阱的光电子无法逃出势阱,对材料的介电函数没有影响。落入浅电子陷阱的光电子,由于热振动,能很快地从浅电子陷阱中逃逸出来而成为自由光电子,浅束缚电子对材料介电函数的实部有贡献。自由光电子与材料介电函数的虚部有关。如果材料中自由光电子的浓度为 n_f ,浅束缚电子的浓度为 n_s ,则 $\epsilon' \propto n_s$ 而 $\epsilon'' \propto n_f$ 。样品介电性质的变化引起微波场性质的变化,进一步造成谐振腔响应信号—反射波电压 U 的变化^[6,7], U 的实部和虚部分别与自由光电子和浅束缚光电子的数量相联系,利用相敏检测系统可以实现 U 的实部与虚部的分离,得到分别与自由光电子和浅束缚光电子相关联的测量结果,利用示波器可同时记录下自由光电子和浅束缚光电子信号。

主要仪器设备:35 ps Quantal-YG901 型超快 YAG 激光器,波长 355 nm。Tektronix-TDS3052 型 500 MHz 数字荧光示波器。微波吸收装置,工作频率 35.4 GHz,扫频范围 ± 500 MHz。

样品制备:卤化银晶体利用 pAg(类似于溶液

的 pH 值,定义为银离子活度倒数的常用对数)控制双注入沉淀得到。

颗粒形状:T 颗粒;大小:1.1 μm ;结构:双层结构。

3 碘掺杂对 AgBr-T 颗粒乳剂光电子衰减过程的影响

表 1 给出了碘的不同掺杂量下的自由光电子寿命 (FLT),自由光电子衰减时间 (FDT) 以及浅束缚光电子的衰减时间 (SDT) (这些数据是从测得的光电子衰减时间谱得来的)。由表 1 可以看出,碘含量的增加可引起自由光电子寿命、自由光电子衰减时间、浅束缚光电子衰减时间的增加;而当碘含量达到一定的值 (3%:内掺 2%,外掺 1%) 时,三个量均达到最大值;继续增加将引起 FLT, FDT, SDT 的减小。加入的碘离子比溴离子大,使颗粒产生位错。位错在卤化银的感光过程中具有重要的作用,它可以释放填隙银离子,产生陷阱,陷阱极大地影响着潜影的形成,影响着晶体的感光性能。由于深的陷阱永久性地俘获光电子,复合中心中光电子与空穴复合消耗光电子,这两个中心都会引起 FLT, FDT, SDT 的减小,而一定量碘离子的加入,引起 FLT, FDT, SDT 的增加,说明加入碘离子产生的位错起到浅电子陷阱的作用,浅电子陷阱可以暂时地存储光电子,使这些电子不会因立即与光空穴复合而消耗掉,其深度也不足以将光电子永久性捕获,电子在适当的时候可以迁徙到潜影中心,使潜影形成并长大,这就延长了光电子的衰减时间,提高了潜影形成效率,并提高感光性能。而当碘含量过高时,引起的位错在增多的基础上加剧,产生了深电子陷阱,从而使得 FLT, FDT, SDT 均减小。

图 1(I) 显示当碘含量小于或大于 3% 时,在吸收信号曲线上可以看到两个典型的时区 B 和 C,其中刚开始的衰减区 B 和深、浅电子陷阱的填充有关,较缓衰减过程是由于被占据的浅电子陷阱的热

表 1 AgBr 乳剂中碘掺杂量与光电子衰减特性的关系

Table 1 Relation between the decay characteristic of photoelectrons and the doping amount of iodine in AgBr emulsion

Inside / %	4	3	2	2	2	2	2	2	2
Output / %	1	0.9	1	1		0.9	0.8		0.7
			2.7	2.2	2.7			2.2	
FLT / ns	23	28	39	29	22.5	22	21.5	21	19
FDT / ns	50	65	92	66	52	50	50	43	42
SDT / ns	51	54	95	55	52	52	61	43	50

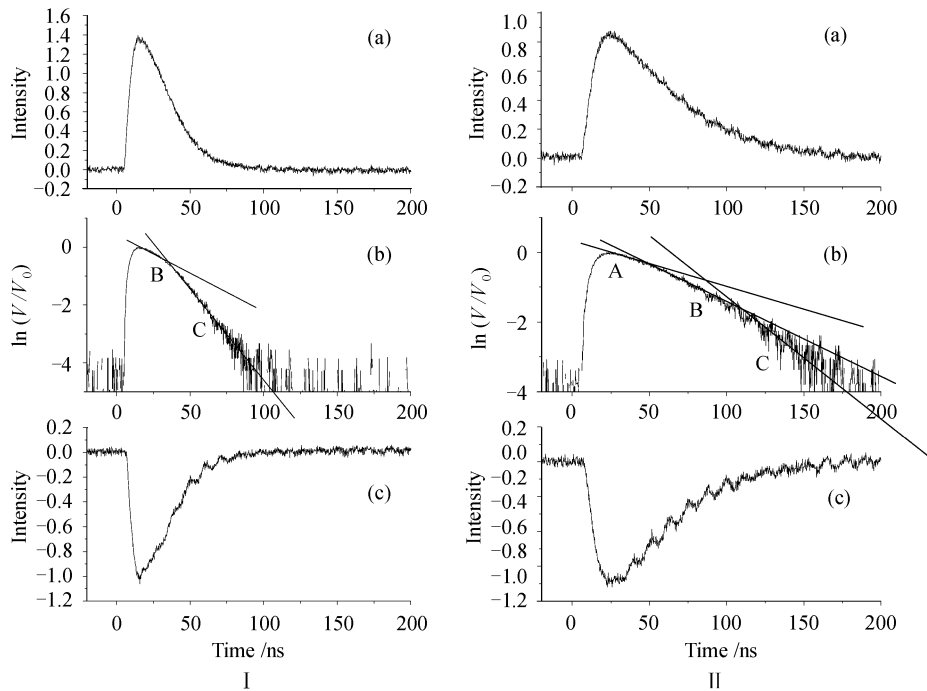


图 1 (I) 碘含量大于或小于 3% 时 AgBr-T 颗粒乳剂光电子衰减曲线; (II) 碘含量为 3% 时的光电子衰减曲线
(I) 和 (II) 中: (a) 自由电子信号; (b) 自由电子信号的半对数曲线; (c) 浅俘获电子信号

Fig. 1 (I) Photoelectron decay curve of AgBr-T emulsion when doping amount is more than or less than 3%;
(II) Photoelectron decay curve of AgBr-T emulsion when doping amount is equal to 3%

In (I) and (II): (a) the signal of free photoelectrons; (b) the semilogarithm curve of the free photoelectron signal;
(c) the signal of shallow-trapped photoelectrons

反俘获所致。激光脉冲几个纳秒后色散曲线强度很大,意味着有非常浅的陷阱存在,这些陷阱的快速俘获和反俘获过程使自由电子和被极浅陷阱俘获的电子之间达到平衡,使得色散曲线和相应的吸收曲线的形状几乎相同。图 1(II) 显示当碘含量为 3% 时,吸收信号有三个时间区 A, B, C, 这个新观察到的寿命很长的 A 区和极浅陷阱有关,可以看出吸收曲线偏离一级衰减是由于表面的浅陷阱引起的,偏离一直延续到 B 区和 C 区。对于观察到的最初衰减过程(A 区),色散信号晚于吸收信号几个纳秒达到最大,意味着有大量极浅陷阱存在,这些极浅陷阱由不稳定的银簇和碘化物耦合而成。碘化物对光电子寿命增大的影响是由于碘化物离子可以作为缺陷电子陷阱,这就使得银簇上的反应减小,当碘化物大于 3% 时,这一效应由于碘化物团簇的形成而消失。

4 结 论

利用微弱信号的相敏检测技术,在超短脉冲激光诱导作用下,测量了乳剂的光电子衰减曲线,得到了不同掺杂剂对卤化银光作用过程时间特性的影响

关系,确定了适量的碘化物在 AgBr-T 颗粒乳剂中起浅电子陷阱的作用,也是各区吸收信号和衰减信号的影响因素。

参 考 文 献

- 1 M. R. V. Sahyun, D. K. Sharma, N. Serpone. Mechanisms of spectral sensitization of silver halides; role of sensitizing dye complexation [J]. *J. Imag. Sci. Technol.*, 1995, **39**(5):377~385
 - 2 T. Tani. Characterization of sensitization centers and fog centers formed during digestion for sulfur sensitization [J]. *J. Imag. Sci. Technol.*, 1995, **39**(5):386~392
 - 3 Th. Musing. Principles of microwave absorption technique applied to AgX microcrystals [J]. *J. Imag. Sci. Technol.*, 1997, **41**(2):118~127
 - 4 M. Van Den Eeden, F. Callens, F. Cardon *et al.*. Transient microwave photoconductivity and computer simulation study of Ir^{3+} - and Rh^{3+} -doped AgCl microcrystals [J]. *J. Imag. Sci. Technol.*, 1995, **39**(5):393~401
 - 5 Yang Shaopeng, Fu Guangsheng, Dong Guoyi *et al.*. Investigation of the photoelectron decay of silver halide microcrystal [J]. *Chin. Phys.*, 2003, **12**(12):1435~1439
 - 6 Yang Shaopeng, Li Xiaowei, Han Li *et al.*. Characteristics of photoelectron decay of silver halide microcrystal illuminated by a short pulse laser [J]. *Chin. Phys. Lett.*, 2002, **19**(3):429~431
 - 7 Yang Shaopeng, Fu Guangsheng, Cao Ning *et al.*. Photoelectrons decay kinetics investigation of dye sensitized AgBr emulsion [J]. *Photographic Science and Photochemistry*, 2003, **21**(5):321~327
- 杨少鹏,傅广生,曹宁等.染料增感 AgBr 乳剂的光电子衰减动力学研究[J].感光科学与光化学,2003,21(5):321~327