

文章编号: 0258-7025(2004)Supplement-0201-03

# 半导体纳米粒子 $\text{Bi}_2\text{S}_3$ 和 $\text{NiS}$ 的光限幅特性研究

掌蕴东<sup>1</sup>, 朱俊杰<sup>2</sup>, 张云军<sup>1</sup>, 袁萍<sup>1</sup>

(<sup>1</sup>哈尔滨工业大学光电子技术研究所, 可调谐气体激光国家级重点实验室, 黑龙江 哈尔滨 150001;

<sup>2</sup>南京大学化学与化工学院, 江苏 南京 210093)

**摘要** 研究了  $\text{Bi}_2\text{S}_3$  和  $\text{NiS}$  半导体纳米粒子的光限幅特性, 测得了  $\text{Bi}_2\text{S}_3$  非线性阈值为  $0.11 \text{ J/cm}^2$ ,  $\text{NiS}$  的非线性阈值为  $0.21 \text{ J/cm}^2$ 。对两种样品进行了开孔 Z-scan 的实验, 计算可知  $\text{Bi}_2\text{S}_3$  非线性吸收系数  $\beta \approx 9 \text{ cm/GW}$ ,  $\text{NiS}$  的非线性吸收系数  $\beta \approx 8 \text{ cm/GW}$ 。在  $\text{NiS}$  半导体纳米粒子的乙醇溶液进行闭孔 Z-scan 时, 发现样品有自聚焦的特性, 也就是说样品的非线性折射率系数  $n_2 > 0$ , 计算得  $\gamma \approx 2.66 \times 10^{-4} \text{ cm}^2/\text{GW}$ 。

**关键词** 非线性光学; 纳米粒子; Z扫描; 光限幅

中图分类号 O437

文献标识码 A

## Optical Limiting Characteristic of Semiconductor Nano-Particles $\text{Bi}_2\text{S}_3$ and $\text{NiS}$

ZHANG Yun-dong<sup>1</sup>, ZHU Jun-jie<sup>2</sup>, ZHANG Yun-jun<sup>1</sup>, YUAN Ping<sup>1</sup>

(<sup>1</sup>Harbin Institute of Technology, Institute of Opto-Electronics, State Key Laboratory of Tunable

Laser Technology, Harbin Heilongjian 150001, China;

<sup>2</sup>Nanjing University, College of Chemistry and Chemical Engineering, Nanjing Jiangsu 210093, China)

**Abstract** The optical limiting characteristic of semiconductor nano-particles  $\text{Bi}_2\text{S}_3$  and  $\text{NiS}$  were investigated in experiment. Their nonlinear limiting thresholds are  $0.11 \text{ J/cm}^2$  and  $0.21 \text{ J/cm}^2$ , respectively. From the result of the open Z-scan for the samples, the nonlinear absorption coefficients of  $\text{Bi}_2\text{S}_3$  and  $\text{NiS}$  are  $\beta \approx 8 \text{ cm/GW}$  and  $\beta \approx 9 \text{ cm/GW}$ , respectively. It was found that the measured result of the closed Z-scan of  $\text{NiS}$  in alcohol solution indicates the self-focusing effect in it. That is, the nonlinear refractive index of  $\text{NiS}$  solution  $n_2 > 0$ , corresponding  $\gamma \approx 2.66 \times 10^{-4} \text{ cm}^2/\text{GW}$ .

**Key words** nonlinear optics; nano-particles; Z-scan; optical limiting

## 1 引言

随着电子、光子在三维尺度性质方面研究的进展, 可以对半导体粒子进行三个尺度区域的划分。首先是指纯的分子或小的分子簇, 具有分子结构, 但不具有现实的尺度个体, 例如:  $\text{In}_3\text{P}_3$ , 而且电子谱可以在高于禁带或低于禁带处发生。第二种是混合分子的固态状态, 具有现实的尺度个体和三维的尺度限域, 如果量子限域半径  $R \leq \alpha_B$ , 那么电子和空穴都是被限制住的, 但其相互作用非常弱, 没有类氢激子形成, 例如在  $\text{CdSe}$  纳米晶体中,  $R$  为  $1.6 \text{ nm}$ , 而  $\alpha_B$  为  $3 \text{ nm}$ , 具有很强的尺度限域效应; 在弱的尺度限域限制情况下,  $R$  通常是  $\alpha_B$  的 2~4 倍, 有类氢的激子形成, 而且中心载流子的移动展现出量化和离散的状态, 例如  $\text{CuCl}$  纳米晶体的量子限域效应就非常弱, 它的  $\alpha_B$  为  $0.7 \text{ nm}$ 。第三种是尺寸更大的块体, 随

着粒子尺寸的增大电磁场极化效应增强, 量子限域效应作用由弱逐渐增强, 电子与空穴的相互作用必须引入一个非局域的介电常数。

## 2 实验研究

半导体纳米粒子的光限幅特性<sup>[1]</sup>主要是与三阶非线性光学效应有关, 由于半导体纳米粒子介于宏观物体与微观粒子之间, 表现出量子限域效应, 又使它的三阶非线性光学效应有着不同的特性, 在半导体纳米粒子的光限幅机理中既有单光子吸收, 但主要起作用的是双光子吸收<sup>[2,3]</sup>。

在此研究的是  $\text{Bi}_2\text{S}_3$  和  $\text{NiS}$  半导体纳米粒子, 分别溶于乙醇中, 样品摩尔浓度分别为  $2 \times 10^{-6} \text{ mol/mL}$  和  $5 \times 10^{-6} \text{ mol/mL}$ , 光限幅特性主要是用  $\text{Nd:YAG}$  激光器在波长  $532 \text{ nm}$  处测量的, 激光的脉宽为  $5 \text{ ns}$ ,

**作者简介:** 掌蕴东(1957-), 男, 哈尔滨工业大学光电子信息科学与技术系教授、博士生导师, 主要从事激光光谱, 超窄带光学滤波技术; 金属有机聚合物和纳米材料的非线性光学响应; 量子光学和非线性光学中的若干问题的研究。E-mail: ydzhang@hit.edu.cn

重复频率为 10 Hz，样品放在厚度为 1 mm 的石英样品池中。样品的线性吸收和透射用 SHIMADZU 公司的 3101PC 型分光光度计测量，它们的线性吸收如图 1 所示。

由图 1 可以看出两种半导体纳米粒子在线性

区呈现高透低吸收的特性，而且在它们的强吸收峰附近有一个弱的吸收峰，这与双光子吸收的物质特点相吻合。而且从图中还可看出  $\text{Bi}_2\text{S}_3$  的吸收峰要高于 NiS 的吸收峰，说明前者存在更大的双光子吸收系数。

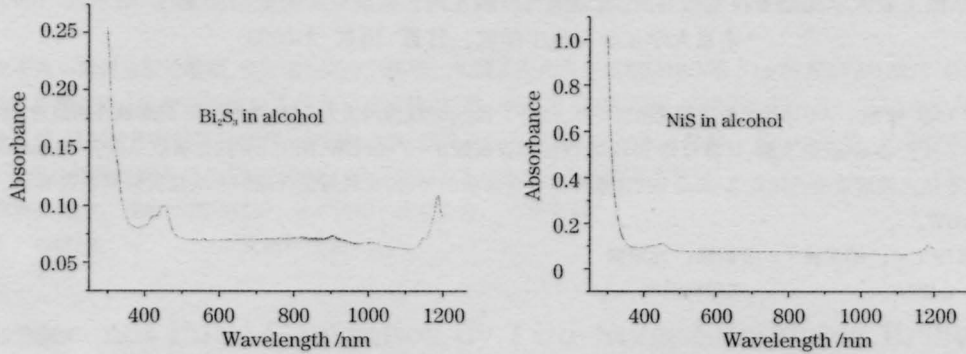


图 1  $\text{Bi}_2\text{S}_3$  和 NiS 乙醇溶液的线性吸收

Fig.1 Linear absorption of  $\text{Bi}_2\text{S}_3$  and NiS nano-particles solution in alcohol

### 3 实验结果

在对两种物质的溶液进行光学非线性吸收实验研究中,其实验结果如图 2 所示。

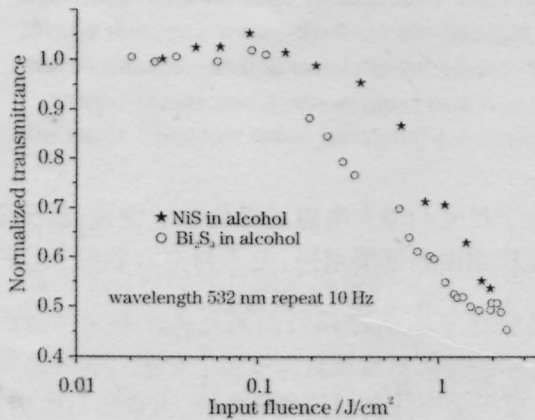


图 2  $\text{Bi}_2\text{S}_3$  和 NiS 的乙醇溶液非线性透射实验

Fig.2 Measured results of nonlinear transmission as a function of input fluence of  $\text{Bi}_2\text{S}_3$  and NiS solution in alcohol

为了定量描述光限幅行为,定义两个参量。一个是非线性吸收阈值,一个是光限幅阈值,前者为非线性吸收开始处的输入能量密度,后者为线性透射率降为一半时的输入能量密度。两种样品的非线性特性量化结果列在表 1 中。两种样品的阈值相差不大,总体来讲是相近的。

图 3 是对两种样品的开孔 Z-scan<sup>[4]</sup>的实验研究。由结果对比可知虽然两种样品的非线性阈值

比较相近,但在开孔 Z-scan 实验中,在光强为  $I_0=0.15 \text{ GW/cm}^2$  时两种样品的结果相差不大,说明在两者非线性阈值相近的情况下,在光限幅过程中  $\text{Bi}_2\text{S}_3$  限幅能力要强于 NiS,计算可知  $\text{Bi}_2\text{S}_3$  非线性吸收系数  $\beta \approx 9 \text{ cm}^2/\text{GW}$ ,NiS 的非线性吸收系数

表 1 纳秒激光脉冲抽运作用下测得的非线性阈值  $F_{th}/\text{J}\cdot\text{cm}^{-2}$   
Table1 Nonlinear thresholds,  $F_{th}/\text{J}\cdot\text{cm}^{-2}$  measured with nanosecond laser pulses

Sample	Compound	$F_{th}/\text{J}\cdot\text{cm}^{-2}$ at 532 nm	
		Nonlinear absorption	Limiting absorption
$\text{Bi}_2\text{S}_3$	Solved in alcohol	0.11	1.51
NiS	Solved in alcohol	-0.21	1.93

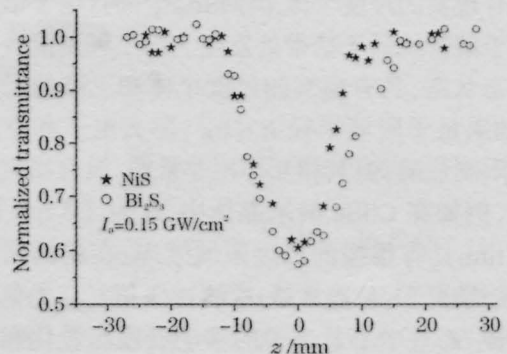


图 3  $\text{Bi}_2\text{S}_3$  和 NiS 的乙醇溶液在激光波长 532 nm 处重复频率 10 Hz 的开孔 Z-scan 实验结果

Fig.3 Experimental results of open Z-scan of  $\text{Bi}_2\text{S}_3$  and NiS solution in alcohol solvent at 532 nm

$\beta \approx 8 \text{ cm}^2/\text{GW}$ 。

在  $\text{NiS}$  半导体纳米粒子的乙醇溶液进行闭孔 Z-scan 时,发现样品具有自聚焦的特性,也就是说样品的非线性折射率系数  $n_2 > 0$ , 计算得  $\gamma \approx 2.66 \times 10^{-12} \text{ cm}^2/\text{GW}$ 。图 4 是  $\text{NiS}$  半导体纳米粒子的乙醇溶液的闭孔 Z-scan 实验结果。

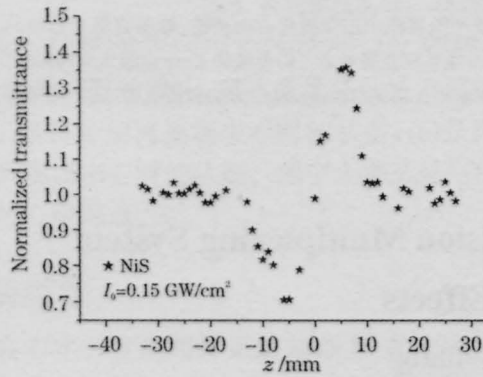


图 4  $\text{NiS}$  纳米粒子的乙醇溶液,在波长 532 nm 处的闭孔 Z-scan 结果

Fig.4 Measured results of closed Z-scan of  $\text{NiS}$  at 532 nm

图 5 是  $\text{Bi}_2\text{S}_3$  纳米粒子乙醇溶液的闭孔 Z-scan 结果。从结果可以看到, $\text{Bi}_2\text{S}_3$  的闭孔 Z-scan 结果上下不对称,上边小下边大,分析其原因应该是光散射的作用。

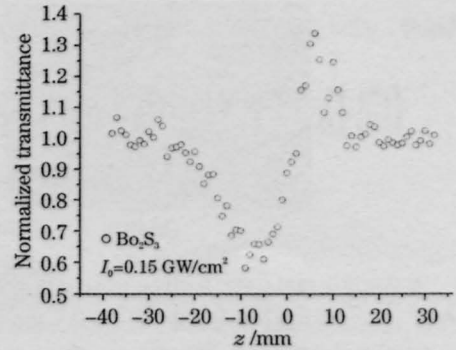


图 5  $\text{Bi}_2\text{S}_3$  纳米粒子的乙醇溶液,在波长 532 nm 处的闭孔 Z-scan 结果

Fig.5 Experimental results of closed Z-scan of  $\text{Bi}_2\text{S}_3$  solution in alcohol at 532 nm

### 参考文献

- 1 D. J. Hagan, E. W. van Stryland, M. J. Soileau *et al.*. Semiconductor optical limiters with large dynamic range[J]. *J. Opt. Soc. Am. A*, 1986, 3:105-110
- 2 J. D. Bhawalkar, G. S. He, P. N. Prasad. Nonlinear multiphoton processes in organic and polymeric materials [J]. *Rep. Prog. Phys.*, 1996, 1041-1070
- 3 E. W. van Stryland, H. van Herzeele, M. A. Woodall *et al.*. Two-photon absorption, nonlinear refraction, and optical limiting in semiconductors[J]. *Opt. Eng.*, 1985, 24:613-623
- 4 M. S. Bahae, A. A. Said, T. H. Wei *et al.*. Sensitive Measurement of Optical Nonlinearities Using a Single Beam [J]. *IEEE J. Quantum Electron.*, 1990, 26(4):760-769