

半导体纳米粒子 Bi_2S_3 和 NiS 的非线性吸收特性

掌蕴东¹ 朱俊杰² 张云军¹ 袁 萍¹ 孙旭涛¹

(1 哈尔滨工业大学光电子技术研究所, 可调谐气体激光国家重点实验室, 哈尔滨 150001)

(2 南京大学化学与化工学院, 配位化学国家重点实验室, 南京 210093)

摘要: 测量了两种纳米粒子 Bi_2S_3 和 NiS 的光限幅特性和非线性光学响应, 测量了非线性吸收特性, 数值模拟计算了 Bi_2S_3 的非线性吸收系数 $\beta \approx 9 \text{cm/GW}$, NiS 非线性吸收系数 $\beta \approx 8 \text{cm/GW}$.

关键词: 纳米粒子; 非线性吸收; 光限幅

PACC: 4265; 4270; 8160C

中图分类号: O438 文献标识码: A 文章编号: 0253-4177(2005)S0-0013-03

随着激光技术的发展, 作为战场上的攻击手段, 激光武器已经走向实用化, 如何来对抗激光武器的暂时致盲和损伤, 同时对己方激光设备安装假装防护措施, 保护人眼和探测器, 是防止激光损害的有效手段, 研究具有光学限幅功能的材料成为光限幅技术中的重要内容, 半导体纳米粒子是一种很有发展前景的光学限幅材料.

半导体纳米粒子的非线性吸收特性主要是与三阶非线性光学效应有关^[1,2], 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与其体相不同的特性, 在半导体纳米粒子的光吸收机理中起主

要作用的是双光子吸收, 同时又有单光子吸收.

本文分别研究了半导体纳米粒子 Bi_2S_3 和 NiS , 由透射电镜可知大小分别为 40nm 和 50nm, 这两种粒子分别溶于乙醇中, 摩尔浓度分别为 $2 \times 10^{-3} \text{mol/L}$ 和 $5 \times 10^{-3} \text{mol/L}$, 样品的线性吸收和透射谱是用 SHIMADZU 公司的 3101PC 型分光光度计测量的, 线性吸收和透射光谱如图 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出高透低吸收的特性, 而且在它们的强吸峰附近有一个弱的声子吸收峰, 这与半导体材料光吸收的特点是吻合的.

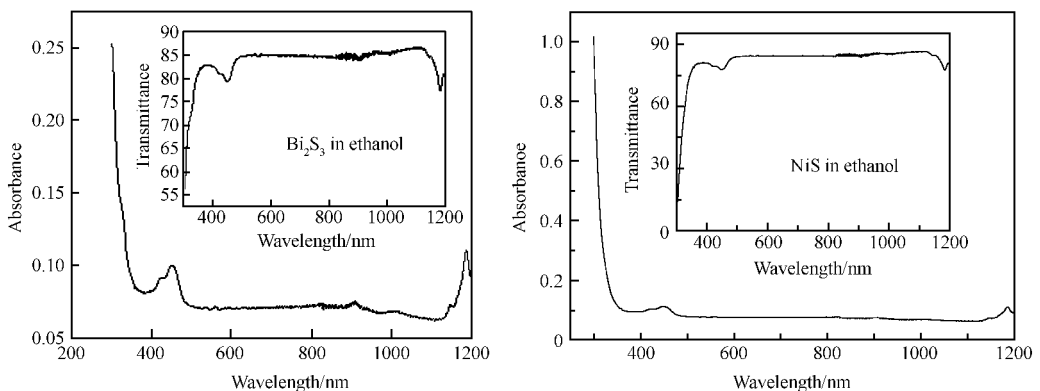


图 1 Bi_2S_3 和 NiS 的乙醇溶液的线性吸收和透射谱 浓度分别为 $2 \times 10^{-3} \text{mol/L}$ 和 $5 \times 10^{-3} \text{mol/L}$.

Fig. 1 Linear absorption and transmission spectra of nano-semiconductor particles, Bi_2S_3 and NiS . Their concentration were 2×10^{-3} and $5 \times 10^{-3} \text{mol/L}$, respectively.

两种物质溶液的非线性透射实验测量结果如图 2 所示.

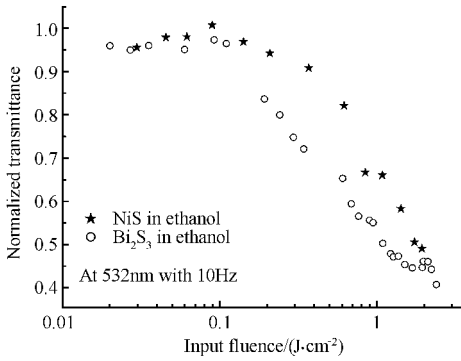


图 2 Bi_2S_3 和 NiS 的乙醇溶液的非线性透射实验结果

Fig. 2 Experimental results of nonlinear transmission of Bi_2S_3 and NiS solution in ethanol

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, 另一个是光限幅阈值. 前者为非线性限幅开始处的输入能量密度, 后者为透射率降为线性透过率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.

表 1 纳秒激光脉冲作用下测得的非线性阈值 F_{th}

Table 1 Nonlinear threshold F_{th} measured by a laser with nano-second pulse

Samples	Compound	$F_{th}/(\text{J} \cdot \text{cm}^{-2})$ at 532nm	
		Nonlinear	Limiting
Bi_2S_3	Solved in ethanol	0.11	1.51
NiS	Solved in ethanol	0.21	1.93

两种样品的阈值比金纳米粒子修饰的多壁碳纳米管高一些, Bi_2S_3 乙醇溶液的非线性阈值和光限幅阈值比 NiS 乙醇溶液的非线性阈值和光限幅阈值低, 说明 Bi_2S_3 的能带间隙 E_g 要比 NiS 的小. 图 3 是两种样品的开孔 z -scan^[3] 的实验研究结果.

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 $I_0 = 0.15 \text{GW}/\text{cm}^2$ 时两种样品的结果相差不大, 但在 $I_0 = 0.2 \text{GW}/\text{cm}^2$ 时 Bi_2S_3 的结果要好于 NiS 的结果, 说明在两者非线性阈值相近的情况下, 在限幅过程中 Bi_2S_3 限幅能力要强于 NiS, 这与非线性透射的结果是吻合的, 由数值模拟计算可知 Bi_2S_3 非线性吸收系数 $\beta \approx 9 \text{cm}/\text{GW}$, NiS 非线性吸收系数 $\beta \approx 8 \text{cm}/\text{GW}$.

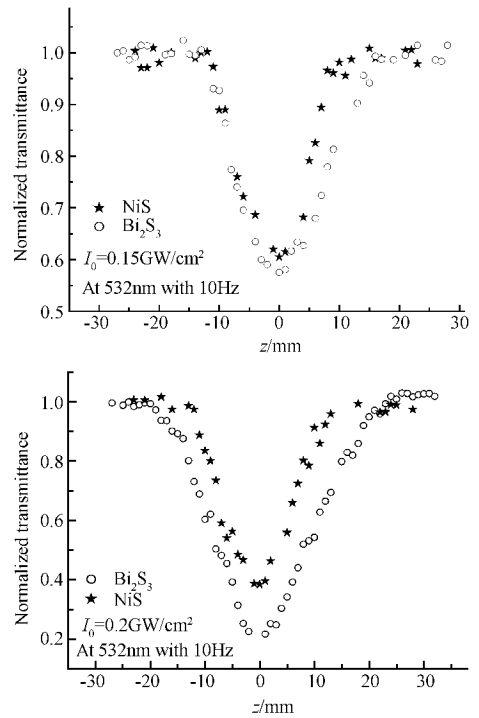


图 3 Bi_2S_3 和 NiS 的乙醇溶液开孔 z -scan 实验结果

Fig. 3 Measured results of open z -scan of Bi_2S_3 and NiS nano-particles in ethanol solution

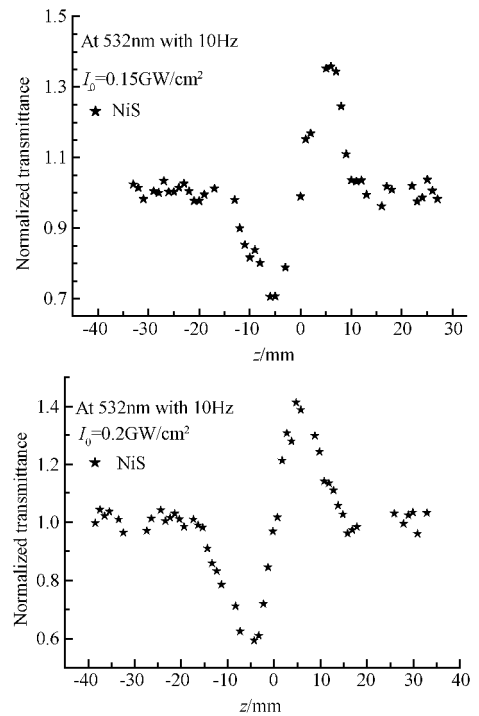


图 4 NiS 纳米粒子的乙醇溶液在波长 532nm 处的闭孔 z -scan 结果

Fig. 4 Experimental results of close z -scan for NiS nano-particles in ethanol solution at 532nm

在 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 $\gamma \approx 2.66 \times 10^{-4} \text{ cm}^2/\text{GW}$. 图 4 是 NiS 半导体纳米粒子的乙醇溶液在两个入射光强下的闭孔 z -scan 实验结果.

同时获得了 Bi_2S_3 纳米粒子乙醇溶液的闭孔 z -

scan 结果,如图 5 所示. 从结果可以看到, Bi_2S_3 的闭孔 z -scan 结果上下不对称,上边小下边大,这与基于 H-P 传输理论的闭孔 z -scan 的结果一致,即 Bi_2S_3 纳米粒子应该有比 NiS 纳米粒子大得多的非线性折射率.

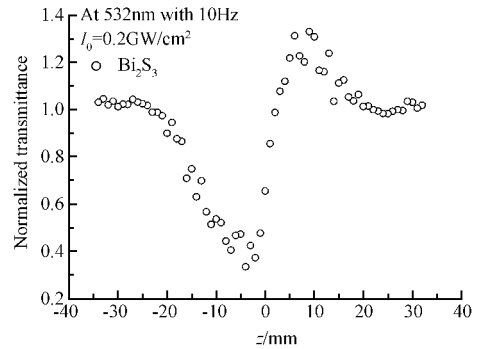
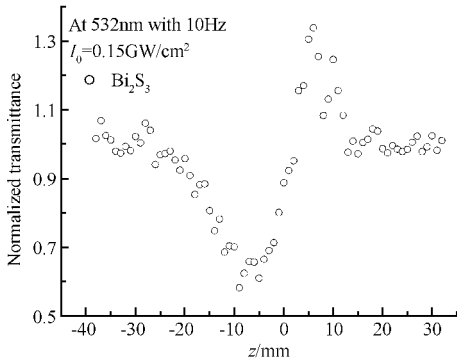


图 5 Bi_2S_3 纳米粒子的乙醇溶液在波长 532nm 处的闭孔 z -scan 结果

Fig. 5 Measured results of close z -scan of Bi_2S_3 nano-particles solution in ethanol at 532nm

参考文献

[1] Bhawalkar J D, He G S, Prasad P N. Nonlinear multiphoton processes in organic and polymeric materials. *Rep Prog Phys*, 1996, 59:1041

[2] Van Stryland E W, Vanherzeele H, Woodall M A, et al. Two-photon absorption, nonlinear reraction, and optical limiting in semiconductors. *Opt Eng*, 1985, 24:613

[3] Bahae M S, Said A A, Wei T H, et al. Sensitive measurement of optical nonlinearities using a single beam. *IEEE J Quantum Electron*, 1990, 26(4):760

Nonlinear Absorption of Bi_2S_3 and NiS Semiconductor Nano-Particles

Zhang Yundong¹, Zhu Junjie², Zhang Yunjun¹, Yuan Ping¹, and Sun Xutao¹

(1 Institute of Optoelectronics, Harbin Institute of Technology, National Key Laboratory of Tunable Laser Technology, Harbin 150001, China)

(2 Chemical and Chemical Engineering College, Nanjing University, Nanjing 210093, China)

Abstract: The optical limiting behavior and nonlinear optical response of nanoparticles, Bi_2S_3 and NiS are measured. Their nonlinear absorption coefficients are $\beta \approx 9 \text{ cm}/\text{GW}$ and $\beta \approx 8 \text{ cm}/\text{GW}$ by simulation, respectively.

Key words: nano-particles; nonlinear absorption; optical limiting

PACC: 4265; 4270; 8160C

Article ID: 0253-4177(2005)S0-0013-03