

文章编号: 0258-7025(2006)Supplement-0203-03

反射光束的非线性伊姆伯特-费多罗夫效应

李春芳^{1,3}, 张纪岳¹, 段 毅^{1,2}, 葛国库^{1,2,4}

¹中国科学院西安光学精密机械研究所瞬态光学技术国家重点实验室, 陕西 西安 710068

²中国科学院研究生院, 北京 100039

³上海大学理学院物理系, 上海 200444

⁴西安科技大学, 陕西 西安 710054

摘要 从理论上对非线性伊姆伯特-费多罗夫(I-F)效应进行了详细的研究。讨论只限于克尔型非线性光学介质, 且采用雷纳德模型。结果表明, 对于负克尔效应非线性光学介质, 在临界角附近, 其非线性 I-F 效应比线性光学介质的效应要小一些; 且随入射光强的增大, I-F 效应逐渐减小并出现负位移, 负位移逐渐增强但趋势渐缓。

关键词 非线性光学; 伊姆伯特-费多罗夫(I-F)效应; 非线性光学介质; 雷纳德模型

中图分类号 O437 **文献标识码** A

Nonlinear Imbert-Fedorov Effect for Reflective Light Beam

LI Chun-fang^{1,3}, ZHANG Ji-yue¹, DUAN Tao^{1,2}, GE Guo-ku^{1,2,4}

¹ State Key Laboratory of Transient Optics Technology, Xian Institute of Optics and Precision Mechanics, The Chinese Academy of Sciences, Xian, Shaanxi 710068, China

² Graduate School, The Chinese Academy of Sciences, Beijing 100039, China

³ Department of Physics, Shanghai University, Shanghai 200444, China

⁴ Xian University of Science and Technology, Xian, Shaanxi 710054, China

Abstract Nonlinear Imbert-Fedorov (I-F) effect was discussed theoretically. Only Kerr nonlinear optical medium was discussed. The results appear that nonlinear Imbert-Fedorov effect, near the critical angle, in negative Kerr effect nonlinear optical medium is smaller than linear Imbert-Fedorov effect in the linear optical medium. With increasing of light intensity, Imbert-Fedorov effect decrease gradually and emerge negative shift.

Key words nonlinear optics; Imbert-Fedorov (I-F) effect; nonlinear optical medium;

1 引 言

1947年, F. Goos 与 H. Hänchen 在实验上观察到^[1], 当一束直线偏振的平行光束入射到光密介质与光疏介质交界的平面界面上时, 在入射角大于临界角的情况下, 其反射光束的位置与由斯涅尔定律所预言的几何光学定律的位置不相符合, 而是在入射面内发生了位置移动, 这一现象叫作古斯-汉欣效应(也叫作古斯-汉欣位移, 简称为 G-H 效应)。稍后, 于 1955 年, F. I. Fedorov^[2]首先从理论上预言, 当用圆偏振的平行光束入射到该界面上时, 其反射光束也将会在与入射面相垂直的平面内发生位置

移动(即横向位移)。这一预言直到 1972 年才由 C. Imbert 在实验上观测到^[3], 并把这一现象叫作伊姆伯特-费多罗夫(I-F)效应。以上的这两种效应均属于线性光学范畴, 故又分别叫作线性 G-H 效应与线性 I-F 效应。线性 I-F 效应的理论与实验研究已较充分^[4~6], 而非线性 I-F 效应尚未见报道。

本文从理论上对非线性 I-F 效应进行了详细讨论。计算了入射角和入射光强度变化时, 非线性 I-F 效应的变化情况, 并与线性 I-F 效应的变化进行了比较。

基金项目: 国家自然科学基金(60377025, 60407007)、上海市教委基金(04AC99)、上海市青年科技启明星跟踪计划(03QMH1405)、上海市科委基础研究重点项目(04JC14036)和上海市重点学科(T0104)资助课题。

作者简介: 李春芳(1964—), 男, 山西长治人, 中国科学院西安光学精密机械研究所瞬态光学技术国家重点实验室研究员, 主要从事光信息传输方面的研究。E-mail: chunfang@opt. ac. cn

2 理论预言

在本文中,由均匀线性光学介质与均匀的非线性光学介质交界的平面界面叫作非线性界面。采用雷纳德模型进行讨论,且仅限于负克尔型非线性光学介质。

按雷纳德模型,横向位移表示为

$$\Delta L = \delta \tan \theta \sqrt{\frac{n_1^2 \sin^2 \theta - n_2^2}{n_2^2}} \operatorname{Re}(t_{//} / t_{\perp}^*), \quad (1)$$

式中,

$$\delta = \frac{\lambda}{2\pi} \frac{1}{\sqrt{n_1^2 \sin^2 \theta - n_2^2}}, \quad (2)$$

$$t_{//} = \frac{2n_1 \cos \theta}{n_2 \cos \theta + n_1 \cos \theta'}, \quad (3)$$

$$t_{\perp} = \frac{2n_1 \cos \theta}{n_1 \cos \theta + n_2 \cos \theta'}, \quad (4)$$

Re 表示取实部, θ 为入射角且大于临界角, θ' 为折射角, $\cos \theta' = i \frac{1}{n_2} \sqrt{n_1^2 \sin^2 \theta - n_2^2}$ 。

对于负克尔型非线性光学介质而言,其折射率 n_2 为

$$n_2 = n_0 - \alpha I', \quad (5)$$

其中 $\alpha > 0$, I' 为在非线性介质中的光强。

I' 与入射光强 I 的关系为

$$I' = \frac{1}{2} |t_{//} t_{\perp}^* + t_{//}^* t_{\perp}| I = \beta I, \quad (6)$$

将 $t_{//}$ 与 t_{\perp} 的表达式分别代入 $\operatorname{Re}(t_{//} / t_{\perp}^*)$ 和 β 的表示式中,得

$$\operatorname{Re}\left(\frac{t_{//}}{t_{\perp}^*}\right) = \frac{n_1(\cos^2 \theta + 1)n_2^3 - n_1^3 n_2 \sin^2 \theta}{n_2^4 \cos^2 \theta - n_1^2 n_2^2 + n_1^4 \sin^2 \theta}, \quad (7)$$

$$\beta = \frac{4n_1^3 n_2 \cos^2 \theta \sin^2 \theta}{n_2^4 \cos^2 \theta - n_1^2 n_2^2 + n_1^4 \sin^2 \theta}, \quad (8)$$

那么非线性 I-F 效应位移 ΔL 为

$$\Delta L = \frac{\lambda}{2\pi} \frac{\sin \theta}{\cos \theta} \frac{n_1(\cos^2 \theta + 1)n_2^3 - n_1^3 \sin^2 \theta}{n_2^4 \cos^2 \theta - n_1^2 n_2^2 + n_1^4 \sin^2 \theta}, \quad (9)$$

式中,

$$n_2 = n_0 - \alpha \beta I, \quad (10)$$

将(8)式及参量 α 代入(10)式并数值求解,可以得到 n_2 随入射角 θ 变化的值,再将 n_2 代入(9)式,就得到 ΔL 随入射角变化的值。当 θ, α 给定时,改变入射光强 I 可得到 n_2 的变化值,代入(9)式得到 ΔL 随 I 的变化值。

3 计算结果

在计算 ΔL 随入射角的变化规律中,采用如下数据^[7]: $n_1 = 1.47, \lambda = 0.488 \mu\text{m}, n_0 = 1.37, \alpha =$

$2.1 \times 10^{-6} \text{ cm}^2/\text{W}, I = 1 \text{ mW}$ 。

线性、非线性 I-F 效应随入射角的变化如图 1 所示,虚线表示 $\alpha = 2.1 \times 10^{-6} \text{ cm}^2/\text{W}$ 时在负克尔型非线性光学介质中非线性 I-F 效应随入射角的变化,实线表示线性 I-F 效应随入射角的变化。可以看出,在正位移部分,线性、非线性 I-F 效应均随入射角的增大逐渐减小,且线性 I-F 效应较非线性 I-F 效应显著。入射角较大时, I-F 位移均为负值,非线性 I-F 效应的位移值大。I-F 位移的变化率随入射角的变化规律是随入射角增大非线性光学介质比线性光学介质的平坦。

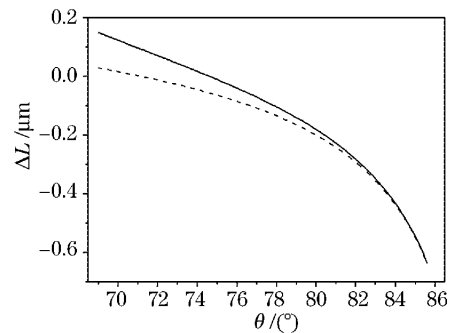


图 1 线性、非线性 I-F 效应随入射角 θ 的变化
Fig. 1 Variation of linear and nonlinear I-F effect with incident angle θ

图 2 为 I-F 效应随光强的变化规律,取入射角 $\theta = 69^\circ$,其他参量与图 1 的相同。虚线表示 $\alpha = 0$ 时 I-F 效应随入射光强的变化,实线表示 $\alpha = 2.1 \times 10^{-6} \text{ cm}^2/\text{W}$ 时在负克尔型非线性光学介质中非线性 I-F 效应随入射光强的变化。可见,线性 I-F 效应与入射光强无关,始终保持不变;非线性 I-F 效应随入射光强增大而减小,但在负位移方向上的偏移量是增大的。

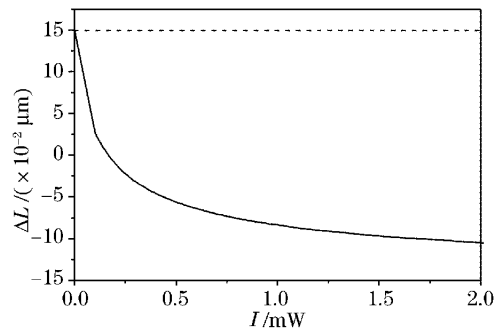


图 2 线性、非线性 I-F 效应随入射光强的变化
Fig. 2 Variation of linear and nonlinear I-F effect with incident intensity I

4 结 论

从理论上讨论了非线性伊姆伯特-费多罗夫效应,计算结果表明,在临界角附近,对负克尔效应非线性光学介质来说,其 I-F 效应比线性光学介质的效应要小一些;线性 I-F 效应与入射光强无关,始终保持不变,而对负克尔效应非线性光学介质来说,其 I-F 效应随光强的增大而减小。

参 考 文 献

- 1 F. Goos, H. Hänchen. Ein neuer und fundamentaler versuch zur totalreflexion [J]. *Ann. Physik*, 1947, **1**: 333~346
- 2 F. I. Fedorov. Theory of all reflection [J]. *Dokl. Akad. , Nauk SSR*, 1955, **105**: 465~468
- 3 C. Imbert. Calculation and experimental proof of the transverse shift induced by totala internal reflection of a circularly polarized light beam [J]. *Phys. Rev. D*, 1972, **5**(4): 787~796
- 4 R. H. Renard. Total reflection; a new evaluation of the Goos-Hänchen shift [J]. *J. Opt. Soc. Am.*, 1964, **54**(10): 1190~1197
- 5 J. J. Cowan, B. Anicin. Longgitudinal and transverse displacements of a bounded microwave beam at total internal reflection [J]. *J. Opt. Soc. Am.*, 1977, **67**(10): 1307~1314
- 6 Frank Pillon, Herve Gilles, Sylvain Girard. Experimental observation of the Imbert-Fedorov transverse displacement after a single total reflection [J]. *Appl. Opt.*, 2004, **43**(9): 1863~1869
- 7 O. Emile, T. Galstyan, A. Le Floch *et al.*. Measurement of the nonlinear Goos-Hänchen effect for Gaussian optical beams [J]. *Phys. Rev. Lett.*, 1995, **75**(8): 1511~1513