

反射光的光自旋霍尔效应

非线性光学

秦毅 李焱 贺环宇 龚旗煌

(北京大学物理学院人工微结构和介观物理国家重点实验室, 北京 100871)

有限宽度的光束在界面上发生部分反射和部分折射时, 自旋平行于中心波矢($|+\rangle$, 对应右旋圆偏振光)和自旋反平行于中心波矢($|-\rangle$, 对应左旋圆偏振光)的光子在垂直于介质折射率梯度的方向发生空间分离, 这一现象叫做光自旋霍尔效应。在界面处光子的自旋角动量发生微小改变, 总角动量(自旋角动量+轨道角动量)守恒要求轨道角动量发生变化来补偿, 相对应的就是自旋不同的光子轨道发生变化。这一效应也可以用贝里相位来理解: 波包中不同的平面波成分在分界面(折射率梯度)处经历了不同的贝里相位, 造成的总效果就是自旋相反的光子发生分离。该效应由 M. Onoda 等^[1]在 2004 年从理论上提出了预言。对于空气-玻璃界面, 折射光中这一分离为纳米量级, 在实验上如何从毫米量级的光斑中分辨出纳米量级的分离是非常困难的。2008 年 O. Hosten 等^[2]采用微弱探测的方法测量折射光自旋霍尔效应位移的实验结果。他们通过两个接近正交的格兰棱镜制备两个特殊的、接近正交的态, 并利用传播放大机制将纳米级的分离放大大约 10^4 倍。

我们从理论和实验上研究了反射光的光自旋霍尔效应^[3]。图 1 是反射光在空气-玻璃界面处发生光自旋霍尔效应的示意图。我们给出了水平偏振($|H\rangle$ 态, 偏振方向平行于 x_1)和垂直偏振($|V\rangle$ 态, 偏振方向平行于 y)的入射光在界面处由于光自旋霍尔效应导致的反射光中左、右旋分离的位移随入射角的变化以及在入射角固定的情况下位移随入射光的偏振方向的变化。

研究发现, 反射光的光自旋霍尔效应与折射光有很大

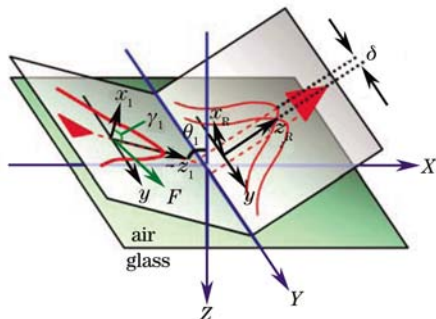


图 1 空气-玻璃界面光自旋霍尔效应示意图

不同。这种差异来源于菲涅耳反射系数 r_p, r_s 和透射系数 t_p, t_s 相对变化趋势不同。以 $|H\rangle$ 态为例, 对于反射光, 由于光自旋霍尔效应导致的左、右旋分离的位移 $\delta_{\text{SH}}^{\text{ref}} = \mp \cot \theta_1 \cdot (1 + r_s/r_p)/k_1$, 其中 θ_1 是入射角, $k_1 = 2\pi/\lambda$, λ 是光在空气中的波长。光自旋霍尔效应的位移随入射角的变化如图 2 所示。当入射角小于布儒斯特角时, 位移随入射角的增大而增大, 尤其是接近布儒斯特角时, 位移增长很快; 此时 r_p 趋近于 0, r_s/r_p 趋于无穷大, 需要考虑高阶效应来修改表达式。入射角大于布儒斯特角后, 位移方向与之前相反, 并且随入射角的增大而减小至零。对于折射光 $\delta_{\text{SH}}^{\text{tr}} = \pm \cot \theta_1 \cdot (\cos \theta_T / \cos \theta_1 - t_s/t_p)/k_1$, 其中 θ_T 是折射角。由于光自旋霍尔效应导致的左、右旋分离的位移。因为 t_s/t_p 的变化缓慢, 所以位移值变化不剧烈, 当入射角从 0° 增加到 90° 时, 位移从零单向增加到约 80 nm。由于界面反射经常在光学实验中采用, 随着纳米光子学和量子光学的不断发展, 反射光的光自旋霍尔效应将会起到越来越重要的作用。

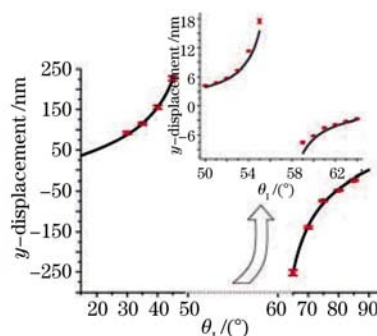


图 2 $|H\rangle$ 态的光自旋霍尔效应的位移随入射角的变化

基金项目: 国家重大科学研究计划项目(2006CB921601)资助课题。

参考文献

- 通信作者: 李焱, E-mail: li@pku.edu.cn
- 1 M. Onoda et al.. *Phys. Rev. Lett.*, 2004, **93**(8): 083901
 - 2 O. Hosten et al.. *Science* 2008, **9**(5864): 787~790
 - 3 Y. Qin et al.. *Opt. Lett.*, 2009, **34**(17): 2551~2553