

一维金属光栅嵌入磁性介质纳米结构下的横向磁光克尔效应的增强

陈聿 刘垚 黄忠 屠林林 詹鹏

Great enhancement of transversal magneto-optical Kerr effect for magnetic dielectric film embedded by one-dimensional metallic grating

Chen Yu Liu Long Huang Zhong Tu Lin-Lin Zhan Peng

引用信息 Citation: *Acta Physica Sinica*, 65, 147302 (2016) DOI: 10.7498/aps.65.147302

在线阅读 View online: <http://dx.doi.org/10.7498/aps.65.147302>

当期内容 View table of contents: <http://wulixb.iphy.ac.cn/CN/Y2016/V65/I14>

您可能感兴趣的其他文章

Articles you may be interested in

基于金属-电介质-金属波导结构的等离子体滤波器的数值研究

[Numerical study of plasmonic filter based on metal-insulator-metal waveguide](#)

物理学报.2016, 65(5): 057301 <http://dx.doi.org/10.7498/aps.65.057301>

基于纳米天线的多通道高强度定向表面等离子体波激发

[High-intensity directional surface plasmonic excitation based on the multi metallic slits with nano-antenna](#)

物理学报.2015, 64(24): 247301 <http://dx.doi.org/10.7498/aps.64.247301>

梳状波导结构中石墨烯表面等离子体的传播性质

[Propagation properties of the graphene surface plasmon in comb-like waveguide](#)

物理学报.2015, 64(23): 237301 <http://dx.doi.org/10.7498/aps.64.237301>

环形狭缝腔阵列光学特性的研究

[Finite difference time domain simulation of optical properties of annular cavity arrays](#)

物理学报.2015, 64(22): 227301 <http://dx.doi.org/10.7498/aps.64.227301>

金纳米棒复合体的消光特性

[Extinction properties of gold nanorod complexes](#)

物理学报.2015, 64(20): 207301 <http://dx.doi.org/10.7498/aps.64.207301>

一维金属光栅嵌入磁性介质纳米结构下的 横向磁光克尔效应的增强*

陈聿 刘奎 黄忠 屠林林 詹鹏†

(南京大学物理学院, 固体微结构物理国家重点实验室, 南京 210093)

(2016年4月15日收到; 2016年5月12日收到修改稿)

本文在一维金属光栅嵌入磁性介质的体系中实现了横向磁光克尔效应的增强. 通过最优化金属光栅的嵌入深度来有效激发磁性介质中的波导模式与金属条带上的局域等离激元模式, 从而使横向磁光克尔效应的响应得到巨大增强. 本文提出了一种用于增强横向磁光克尔效应的新型等离激元微纳结构, 这种结构可以应用于高性能磁光器件的设计.

关键词: 表面等离激元, 横向磁光克尔效应, 磁性介质, 波导模式

PACS: 73.20.Mf, 85.70.Sq, 87.10.Kn

DOI: 10.7498/aps.65.147302

1 引言

一束入射光进入被磁化的物质内部进行传输或者在物质界面发生反射时, 光的传播特性, 例如偏振面、相位或者散射特性会发生变化, 这个物理现象称为磁光效应^[1]. 磁光法拉第效应 (magneto-optical Faraday effect) 和磁光克尔效应 (magneto-optical Kerr effect) 是磁光效应中被人们最为熟知的两种. 其中磁光克尔效应是指当光在物体表面反射时偏振面发生旋转的现象. 根据物体的磁化强度与物体表面和入射面的相对取向磁光克尔效应可以分为三种类型: 当物质的磁化强度同时平行于电磁波入射面和物体表面时为纵向磁光克尔效应 (longitudinal magneto-optical Kerr effect, LMOKE); 当磁化强度平行于电磁波入射面并且垂直于物体表面时为极向磁光克尔效应 (polar magneto-optical Kerr effect); 当磁化强度垂直于入射面并且平行于物体表面时为横向磁光克尔效应 (transversal magneto-optical Kerr effect). 由于磁光克尔效应在三维成像^[2]、磁光数据储存等^[3]实

际应用中具有巨大的潜力, 近几十年来一直是许多研究人员关注的焦点. 但是磁光效应在天然铁磁性材料 (例如铁、钴、镍等磁性金属) 上的响应极其微弱, 很难直接满足于实际的应用. 最近几年, 人们提出了光子晶体^[4,5]及化学合成新型磁性材料等^[6]有效的方法来实现磁光响应的提高.

表面等离激元 (surface plasmons, SPs) 是费米能级附近导带上的自由电子由于外部电磁波的诱导在金属与介质界面上发生集体振荡而产生的电磁模^[7], SPs可以把电磁场局限在金属附近的纳米尺度范围内并且使其得到极大增强. 利用SPs的这个特性, 可以使许多光学线性与非线性效应得到显著增强. 最近几年, 国际上已经出现了许多利用SPs结合磁性材料实现对磁光效应增强的研究工作^[8-10]. 特别是, 将SPs结合磁性材料用于增强TMOKE的想法也相继被提出. 例如, 研究人员通过设计贵金属/铁磁性金属/贵金属三层纳米结构^[11-13], 利用SPs的激发, 将电磁场局域在铁磁性金属周围, 并通过外加磁场改变其磁化强度, 影响SPs激发的本征波矢, 从而在SPs共振位置处使TMOKE响应提高了数倍. 由于铁磁性金属极高的

* 国家自然科学基金 (批准号: 11274160) 和国家自然科学基金重大研究计划 (批准号: 91221206) 资助的课题.

† 通信作者. E-mail: zhanpeng@nju.edu.cn

光学损耗(远高于贵金属)会降低光信号强度,研究人员提出用磁性介质来代替铁磁性金属,设计出贵金属/磁性介质复合的等离激元纳米结构,并且已有相关文献证明^[14,15],这样的结构可以在保持低光学损耗的前提下,增强TMOKE响应。

由于磁光器件设计性能的需要,我们使用物质磁化强度反转时透射率的相对改变值来衡量TMOKE响应大小. 实际应用中, TMOKE响应与透射率之间还保持着一种竞争关系. 在本文中,我们数值研究了利用一维金条带周期型阵列嵌入磁性介质结构中, TMOKE的增强及其原因,通过金光栅在磁性薄膜中嵌入深度调控磁性介质薄膜中的波导模式以及局域等离激元(localized surface plasmon, LSP)和波导模式之间的耦合效率,并研究其对TMOKE响应的影响. 计算表明,通过最优化金条带嵌入磁性介质层的深度,在保持透射率高达22.6%的同时使TMOKE响应达到3.6%,该TMOKE响应是金条带在磁性介质层表面时的3倍。

2 理论模型

TMOKE响应反应了磁场对电磁场传播性质的调制能力,一般地,我们使用如下公式来衡量TMOKE响应(δ)的强弱,即

$$\delta = \frac{I(+M) - I(-M)}{I(0)}, \quad (1)$$

其中 I 是透射光的强度, M 是磁化强度,正负号代表了磁化强度(M)的取向, $I(0)$ 是结构未被磁化时的透射率。

我们提出的结构如图1所示,在支撑在半无限大石英衬底上厚度为 h 的铋铁石榴石(bismuth iron garnet, BIG)薄膜表面嵌入了周期为 Λ 的金条带一维光栅型阵列,其中金条带相对于BIG表面的嵌入深度为 t . 当入射电磁波从纳米结构上部以角度 θ 入射,并且满足波矢匹配条件 $k_0 \sin \theta + m(2\pi/\Lambda) = k_{wg}$ 时^[16](k_0 为入射电磁波的波矢, k_{wg} 为磁性薄膜中所支持的波导模式的波矢),磁性BIG介质层所支持的波导模式可以被有效激发. 这里,我们只关注BIG介质层中支持波导基模(即 $m = 1$)传播时的情况;另外,当入射电磁波的电场矢量方向垂直于金条带的方向时(TM偏

振),选择合适的尺寸,单个金条带的LSP共振可以被有效激发。

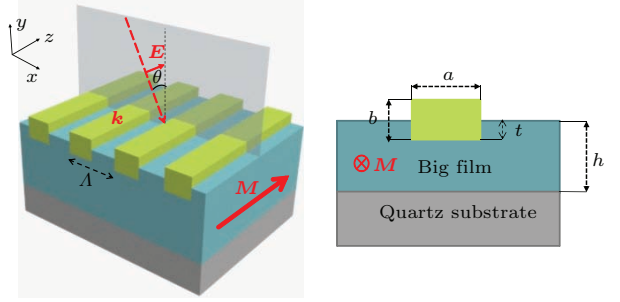


图1 (网刊彩色) 以石英为衬底,一维金条带光栅嵌入BIG层模型示意图 左(三维示意图): θ 是入射角, Λ 是金条带周期,入射光以TM偏振入射;右(侧视图): a 和 b 分别是金条带的长度与宽度, h 是BIG介质层的厚度, t 是金光栅嵌入深度

Fig. 1. (color online) The schematic model of the BIG film embedded by a 1D gold grating in quartz substrate. Left (3D perspective drawing): θ is the incident angle, Λ is the period length. The light is TM incident. Right (side-view): a and b are the width and height of gold strip, respectively, h is the thickness of BIG film, t is the embedded depth.

光学共振模式在光与物质的相互作用中起到了至关重要的作用,例如在我们设计的结构中,波导模式和LSP及其耦合对TMOKE响应的增强发挥了巨大的作用. 当外加磁场垂直于波导的传播矢量的时候,波导模式的波矢可以写成如下形式:

$$k_{wg}(\pm M) = k_{wg}(0) + \Delta k_{mo}(\pm M), \quad (2)$$

其中 $k_{wg}(0)$ 是结构未被磁化时的波导波矢, $\Delta k_{mo}(\pm M)$ 是磁性介质中的磁化强度对波导波矢的修正. 从(2)式可以看出,磁化强度的反转对波导波矢的本征频率会起到调制作用,从而增强了TMOKE响应. 同时,如果金条带在波导模式激发的共振波长下激发LSP,这时LSP与波导模式将会发生耦合,从而形成Fano共振^[17,18],在Fano共振特有的透射谱线型辅助下, TMOKE响应将会有进一步的提高^[19,20]. 我们选择BIG的高磁性响应波段(以约800 nm为例)进行研究,根据上述波矢匹配条件, BIG介质层的厚度(h)我们定为160 nm,金条带周期(Λ)选为450 nm,入射角(θ)固定为 8° . 为了使LSP能与波导模式在研究波段被同时激发,通过优化,金条带的长度(a)与宽度(b)分别确定为80和50 nm.

我们利用有限元模拟软件COMSOL MULTIPHYSICS 的RF模块进行模拟计算来研究设计体

系中 TMOKE 响应增强的效应. 在数值模拟中, 我们使用 Drude 模型^[21]来描述金的介电常数:

$$\epsilon_{\text{gold}} = 1 - \omega_p^2 / (\omega^2 - i\omega\omega_\tau), \quad (3)$$

其中 ω 是入射光圆频率, ω_p 是等离激元共振频率为 1.37×10^{16} rad/s, ω_τ 是衰减系数为 4.65×10^{13} rad/s. 石英衬底折射率设为 1.45. 在图 1 所示的坐标系下, BIG 层的相对介电常数可以用一个 3×3 的反对称张量表示:

$$\epsilon_{\text{BIG}} = \begin{pmatrix} \epsilon_{xx} & ig & 0 \\ -ig & \epsilon_{yy} & 0 \\ 0 & 0 & \epsilon_{zz} \end{pmatrix}, \quad (4)$$

其中非对角元中的 g 是旋转分量, 与磁化强度成正比关系. 在这种情形下, TM 偏振入射的电磁波能受到外磁场影响仅发生强度变化, 而 TE 偏振入射的电磁波不会受到 g 的影响, 因此反射或透射的电磁波无偏振变化, 只有光强的变化. 我们通过改变非对角元的正负号来模拟结构磁化强度方向的反转. BIG 介质层的相对介电常数反对称张量中的矩阵元的数值选用实验参数^[15], 即: $\epsilon_{xx} = \epsilon_{yy} = \epsilon_{zz} = 6.76 + 0.3i$, $g = 0.016 - 0.008i$. 在模拟计算中, 沿 x 轴和 z 轴方向, 模型采用了周期性边界条件, 在 y 轴方向上则使用了完美匹配层.

3 结果与分析

通过上文的分析, 在我们提出的模型中, 受到金光栅调制的波导模式对增强 TMOKE 响应起到了至关重要的作用. 将金条带嵌入 BIG 介质层, 被金光栅散射的电磁波可以与该磁性介质层充分地作用, 并且更好地局域在 BIG 层中从而形成高效的波导模式. 另外, 金条带嵌入后激发的 LSP 与波导模式在空间分布上更加靠近, 可以形成高效的 Fano 共振, 进一步增强它们之间的耦合效率. 通过这两方面优化, 可以使 TMOKE 响应进一步提高. 图 2(a) 和图 2(b) 展示了当 $t = 0$ 和 80 nm 时一维金光栅阵列修饰的 BIG 层的透射谱以及相对应的 TMOKE 响应. 对比图 2(a) 和图 2(b) 可以看出, 对应于透射谷的波长位置, 相应的 TMOKE 响应有一个极大值. 可以看出, 与将金条带阵列放置在 BIG 层表面相比, 当金条带嵌入至 $t = 80$ nm 时, TMOKE 响应值从 1.2% 增强至 3.6%, 同时结构保持着 22.6% 的高透射率. 只有 BIG 介质层具有非

对角元 g , 事实上, 这个参数的存在是产生 TMOKE 的根本原因. 为了探究当金光栅嵌入至 BIG 介质层某一位置时获得增强的 TMOKE 响应的原因, 我们研究了入射光激发下样品内部电磁模式的分布. 图 2(c) 和图 2(d) 分别是 $t = 0$ 和 80 nm 时在透射谷对应波长位置处的 z 方向磁场模 $|H_z|$ 的场分布. 从图 2(c) 可以明显看出, 由于 BIG 介质层表面周期排布的金条带的作用, 入射光被耦合入 BIG 介质层而形成传播的波导模式. 此时, 金条带与 BIG 界面上的磁场得到了一定程度的增强, 这是由于单个金条带与 BIG 界面处的 LSP 激发所致. 由于外加磁场 B 会改变 BIG 介电常数的非对角元 g , 因此波导本征波矢将发生相应的改变. 然而, 当金条带周期地放置在磁性介质薄膜表面时 (即 $t = 0$ nm), 我们可以从图 2(c) 的场分布明显看出, 此时 LSP 和波导模式的交叠并不明显, 两者耦合效率比较低. 当 $t = 80$ nm 时 (如图 2(d)), 更多的场局域于 BIG 层中并以波导形式传播, 同时 LSP 模式与波导模式之间的耦合效率比 $t = 0$ nm 时显著提高. 当有更多的电磁波局域在 BIG 层中以波导模式存在时, 电磁波能被非对角元 g 充分调制. 当波导模式与 LSP 耦合得更高效时, Fano 共振也更加明显. 因此, 当 $t = 80$ nm 时比金光栅未嵌入 BIG 层时的 TMOKE 响应有显著的提高.

图 3(a) 和图 3(b) 分别是透射率与 TMOKE 响应随波长与嵌入深度的变化关系图. 从图 3(a) 可以看到, 随着嵌入深度 (t) 从 0 nm 逐步增大到 80 nm 的过程中, 透射谷始终在波长 800 nm 左右, 并伴随着微弱的红移. 从透射谱变化趋势上看, 此时, 金光栅的嵌入仅仅微调了 BIG 介质层的有效折射率, 并未使其性质发生巨大变化并且影响到波导模式的激发. 图 3(b) 清晰地显示, 对应于透射谷的波长的位置, TMOKE 响应随着 t 增加而增强, 在 $t = 80$ nm 时达到最大值.

为了进一步研究 TMOKE 响应的增强原理, 当金光栅嵌入深度 (t) 进一步增大, 这时入射电磁波与纳米结构之间的相互作用将变得复杂起来. 图 4(a) 是透射率随波长与嵌入深度的变化关系图, 可以看出其透射率变化趋势与图 3(a) 截然不同. 当金光栅进一步向下嵌入时 ($t > 80$ nm), 它会打破 BIG 介质层的均匀性, 并且在 BIG 介质层中传播的波导模式将会受到很大的影响. 金条带把 BIG 介质层分成上下两个部分, 并且支持两个不同的波

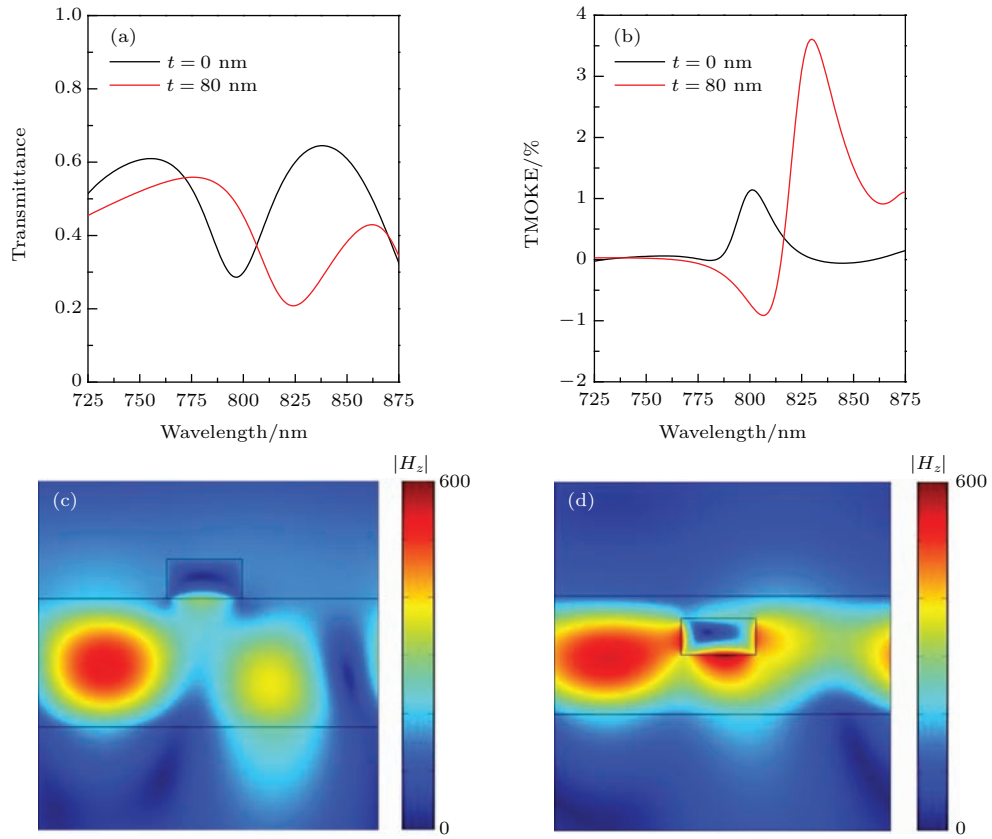


图2 (网刊彩色) 金条带嵌入深度分别为0 nm (黑线) 与80 nm (红线) 的透射谱 (a) 和相对应的TMOKE响应 (b); 模拟的磁场模 $|H_z|$ 分布图: (c) 嵌入深度 $t=0$ nm, 共振波长800 nm; (d) 嵌入深度 $t=80$ nm, 共振波长825 nm

Fig. 2. (color online) Typical transmittance spectrum (a) and the corresponding TMOKE responses (b) of the magnetic materials patterned with 1D gold strip grating with different embedded depths of 0 nm (black lines) and 80 nm (red lines), respectively; simulated distribution of magnetic field $|H_z|$ for (c) embedded depth $t=0$ nm and at resonance wavelength of 800 nm and (d) embedded depth $t=80$ nm and at resonance wavelength of 825 nm, respectively.

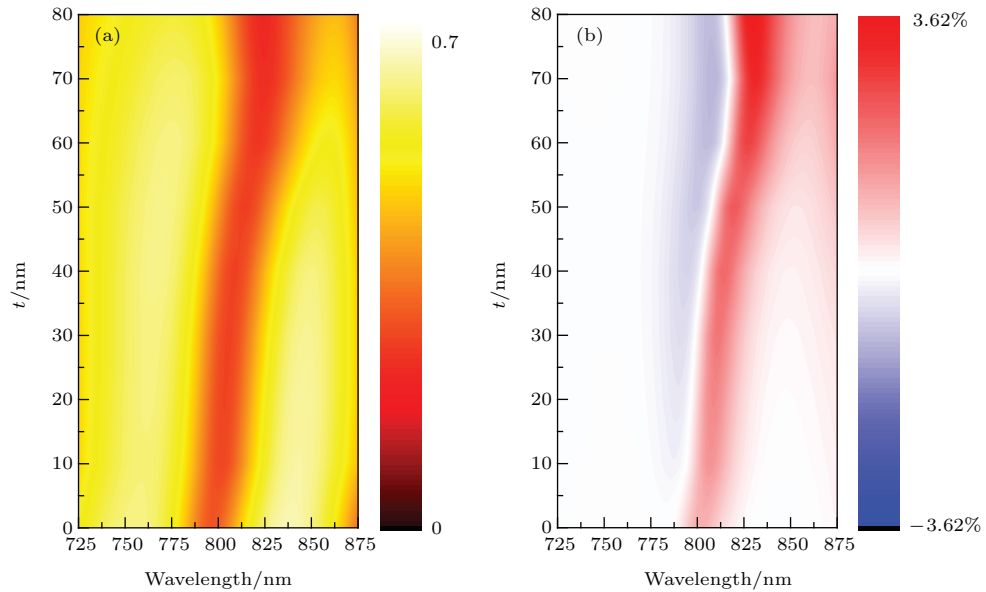


图3 (网刊彩色) 金光栅嵌入深度 (t) 从0 nm变化至80 nm这一范围内的透射率 (a) 和TMOKE响应 (b) 的变化趋势
Fig. 3. (color online) Variation tendency of transmissivity (a) and TMOKE response (b) under the different embedded depths range(t) from 0 nm to 80 nm.

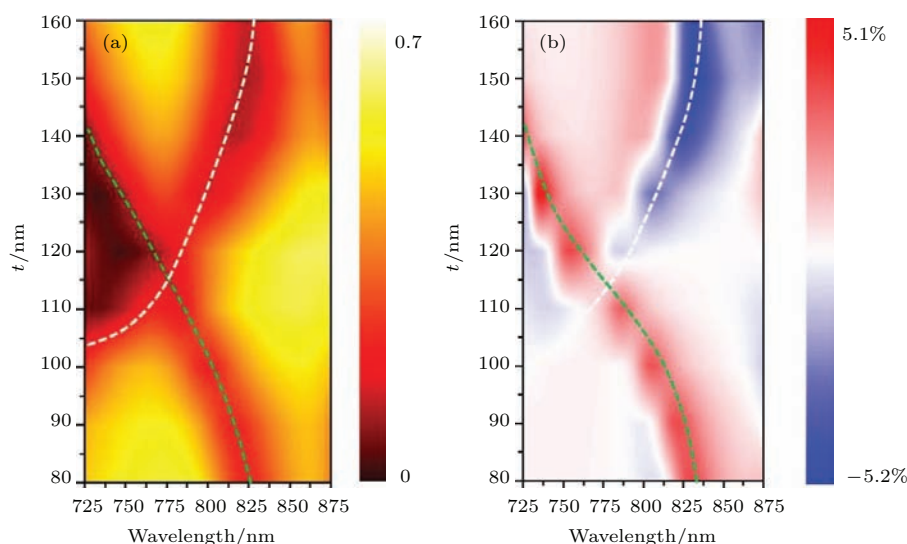


图4 (网刊彩色) 金光栅嵌入深度 t 从 80 nm 变化至 160 nm 这一范围内的透射率 (a) 和 TMOKE 响应 (b) 的变化趋势, 白色和绿色虚线分别代表 BIG 上层支持的波导模式与 BIG 下层支持的波导模式的变化趋势

Fig. 4. (color online) Variation tendency of transmissivity (a) and TMOKE response (b) under the different embedded depths range (t) from 80 nm to 160 nm. White and green dashed lines represent the variation tendency of two WG modes supported by the BIG film, respectively.

导模式, 图 4(a) 中白色和绿色虚线分别是 BIG 上层和 BIG 下层支持的两个波导模式. 随着金光栅的下降, BIG 下层的有效厚度逐渐减小, 使得图 3 中的波导模式不能在 800 nm 这个长波段继续激发, 而是逐渐蓝移, 如绿色虚线所示. 相反, BIG 上层的有效厚度则增加, 渐渐支持长波段下的波导模式, 如白色虚线所示, 在 t 大于 100 nm 时 BIG 上层支持的波导模式开始显现出来, 并且随 t 进一步增加而逐渐红移. 图 4(b) 是相应的 TMOKE 响应变化趋势图, 可以看出对应于透射谷的波长位置, TMOKE 响应达到峰值.

虽然图 4(b) 中绿色虚线处的 TMOKE 响应非常强烈, 但是其对应的透射率太低以至于阻碍了它的实际应用. 事实上, 根据 (1) 式, 此时 TMOKE 响应的增强主要归因于体系的低透射率. 为了避免 TMOKE 响应是由低透射率引起的, 我们只考虑由磁化强度反转导致的光强变化, 即用表达式 $Q = I(+M) - I(-M)$ 表示其 TMOKE 响应品质. 这个表达式不仅能直接反应出结构中磁化强度反转时光强改变的绝对强度, 而且能排除低透射率对增强 TMOKE 响应的贡献. 图 5 为我们研究的波导基模激发时对应的波长下的 Q - t 关系谱, 可以清楚地看到, 随着 t 从 0 nm 逐步增加到 80 nm, Q 与 t 保持着线性增加的比例关系, 这是由更强的波导模式激发和 LSP 与波导模式之间的耦合效率逐渐变强

的共同作用导致的. 但是 t 的大小超过 80 nm 后, Q 的值便开始迅速下降.

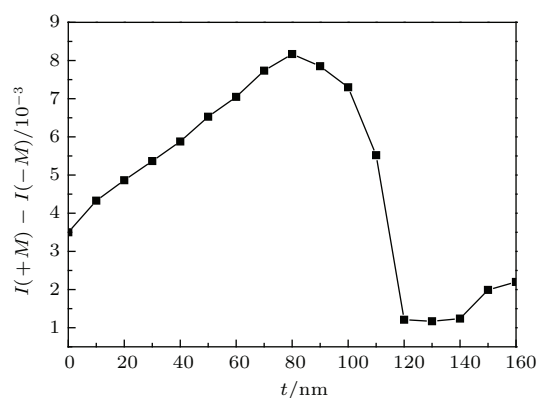


图5 磁化强度反转时透射率的改变 $Q = I(+M) - I(-M)$ 与不同嵌入深度 (t) 在波导模式激发波长下 (图 3(a) 透射谷波长位置与图 4(a) 绿色虚线位置) 的关系

Fig. 5. Difference of the transmissivity $Q = I(+M) - I(-M)$ when magnetization is flipped with changing the embedded depth in the wavelength of exciting waveguide mode (in the position of dip of spectrum in Fig. 3(a) and green dashed line in Fig. 4(a)).

图 6 分别是金光栅嵌入深度 $t = 110, 130$ 和 150 nm 时, 图 4(a) 中绿色虚线处的波长下对应的磁场 z 方向分量的模 $|H_z|$ 的分布图. 图 3 的场分布中我们得出结论, $t = 0-80$ nm 时大部分入射光场以波导模式存在并且 LSP 与波导模式耦合效率也逐渐增加从而 TMOKE 响应越来越强. 但是在

图6的三张图中, 由于金光栅的嵌入深度逐渐加深, BIG介质层的性质发生了巨大改变, 难以激发出高效的波导模式并且波导模式的强度和在BIG介质层中占有的面积也是越来越弱. 同时随着BIG下层波导模式发生蓝移, LSP也无法与其发生强烈的耦合并且形成Fano共振, 这两个原因导致了 Q 值的急剧下降.

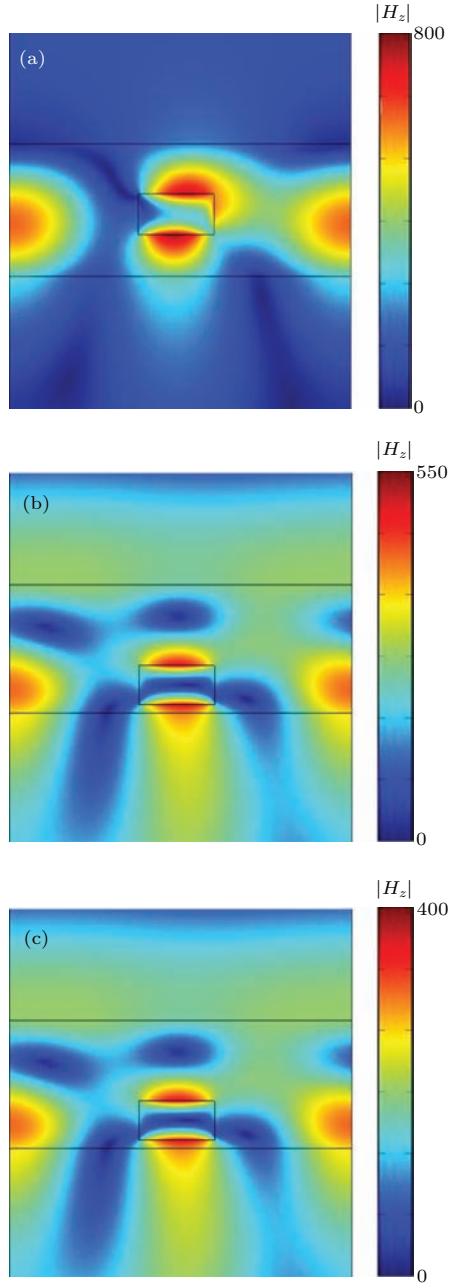


图6 (网刊彩色) 不同嵌入深度的模型分别在其共振波长(图4(a)绿色虚线处)下的磁场 z 分量模 $|H_z|$ 的分布图 (a) $t = 110$ nm; (b) $t = 130$ nm; (c) $t = 150$ nm
Fig. 6. (color online) Electromagnetic field intensity $|H_z|$ distribution in their resonance wavelength (green dashed line in Fig. 4(a)) for three different value of t : (a) $t = 110$ nm; (b) $t = 130$ nm; (c) $t = 150$ nm.

4 结 论

我们研究了在一维周期型金光栅嵌入磁性介质层的体系, 通过金光栅的嵌入来优化波导模式的激发, 调节BIG介质层中波导模式与金条带LSP的耦合效率, 进一步增强TMOKE效应. 我们发现, 随着金光栅嵌入深度(t)从0 nm逐渐增大, 波导模式可以高效激发, LSP与波导模式耦合越来越强烈, 使得在 $t = 80$ nm存在最好品质的TMOKE响应. 但是, 当金光栅进一步往下嵌入后, BIG介质层的均匀性渐渐被破坏, 电磁波在BIG层中难以以波导模式传播, 并且LSP也无法与波导模式耦合产生Fano共振, 最终导致了TMOKE响应的下降.

参考文献

- [1] Liu G Q, Le Z Q, Shen D F 2001 *Magneto-optics* (Shanghai: Shanghai Science and Technology Press) p1 (in Chinese) [刘公强, 乐志强, 沈德芳 2001 磁光学(上海: 上海科学技术出版社) 第1页]
- [2] Aoshima K, Funabashi N, Machida K, Miyamoto Y, Kuga K, Ishibashi T, Shimidzu N, Sato F 2010 *J. Display Technol.* **6** 374
- [3] Mitsuteru I, Miguel L, Alexander V B 2013 *Magnetophotonics* (Berlin Heidelberg: Springer-Verlag) p63
- [4] Fang K J, Yu Z F, Liu V, Fan S H 2011 *Opt. Lett.* **36** 4254
- [5] Koerdts C, Rikken G L J A, Petrov E P 2003 *Appl. Phys. Lett.* **82** 1538
- [6] Kostylev N, Maksymov I S, Adeyeye A O, Samarin S, Kostylev M, Williams J F 2013 *Appl. Phys. Lett.* **102** 121907
- [7] Wang Z L 2009 *Progress in Physics* **29** 287 (in Chinese) [王振林 2009 物理学进展 **29** 287]
- [8] Grunin A A, Zhdanov A G, Ezhov A A, Ganshina E A, Fedyanin A A 2010 *Appl. Phys. Lett.* **97** 261908
- [9] Newman D M, Wears M L, Matelon R J, Hooper I R 2008 *J. Phys. Condens. Matter* **20** 345230
- [10] Sapozhnikov M V, Gusev S A, Troitskii B B, Khokhlova L V 2011 *Opt. Lett.* **36** 4197
- [11] Armelles G, Bgonzález-Díaz J, García-Martín A, García-Martín J M, Cebollada A, González M U, Acimovic S, Cesario J, Quidant R, Badenes G 2008 *Opt. Express* **16** 16104
- [12] Clavero C, Yang K, Skuza J R, Lukaszew R A 2010 *Opt. Express* **18** 7743
- [13] Clavero C, Yang K, Skuza J R, Lukaszew R A 2010 *Opt. Lett.* **35** 1557
- [14] Belotelov V I, Akimov I A, Pohl M, Kotov V A, Kasture S, Vengurlekar A S, Gopal A V, Yakovlev D R, Zvezdin A K, Bayer M 2011 *Nat. Nanotechnol.* **6** 370

- [15] Kreilkamp L E, Belotelov V I, Chin J Y, Neutzner S, Dregely D, Wehls T, Akimov I A, Bayer M, Stritzker B, Giessen H [2013 Phys. Rev. X **3** 041019](#)
- [16] Linden S, Kuhl J, Giessen H [2001 Phys. Rev. Lett. **86** 4688](#)
- [17] Christ A, Tikhodeev S G, Gippius N A, Kuhl J, Giessen H [2003 Phys. Rev. Lett. **91** 183901](#)
- [18] Zhang J, Cai L K, Bai W L, Song G F [2010 Opt. Lett. **35** 3408](#)
- [19] Pohl M, Kreilkamp L E, Belotelov V I, Akimov I A, Kalish A N, Khokhlov N E, Yallapragada V J, Gopal A V, Nur-E-Alam M, Vasiliev M, Yakovlev D R, Alameh K, Zvezdin A K, Bayer M [2013 New J. Phys. **15** 075024](#)
- [20] Grunin A A, Sapozetova N A, Napolskii K S, Eliseev A A, Fedyanin A A [2012 J. Appl. Phys. **111** 07A948](#)
- [21] Ordal M A, Long L L, Bell R J, Bell S E, Bell R R, Alexander Jr R W, Ward C A [1983 Appl. Opt. **22** 1099](#)

Great enhancement of transversal magneto-optical Kerr effect for magnetic dielectric film embedded by one-dimensional metallic grating*

Chen Yu Liu Long Huang Zhong Tu Lin-Lin Zhan Peng[†]

(School of Physics, Nanjing University, National Laboratory of Solid State Microstructures, Nanjing 210093, China)

(Received 15 April 2016; revised manuscript received 12 May 2016)

Abstract

Transversal magneto-optical Kerr effect (TMOKE) has potential practical applications, such as biosensors, magnetic imaging, and data storage. However, these potential applications have been restricted by its very weak response (about 0.1%) in natural ferromagnetic metal material such as Fe, Co and Ni. Fortunately, with the development of the nanofabrication techniques, surface plasmons (SPs) are one of the effective strategies to solve this problem due to their special ability to manipulate light on a nanoscale and concentrate the electromagnetic energy near the metal/dielectric interface. Herein, in order to enhance the TMOKE response, we propose that a periodic gold strips array is embedded into a magnetic dielectric film of bismuth iron garnet (BIG), which is supported by a quartz substrate. Using the finite element method, we numerically study the optical properties of our proposed microstructure and the corresponding evolution of the TMOKE responses due to the coupled optical modes dependent on the structural parameters. Particularly, by optimizing the embedded depth of metal grating, a dramatic enhancement of TMOKE response (about 3.6%) is achieved when the embedded depth reaches up to 80 nm, accompanied with a high transmissivity about 22.6%, which is actually three time larger than that in the case that the gold strips are just patterned on the surface of the BIG film. As the embedding depth increases further, the TMOKE response will be weak. The relationship between the TMOKE response and the coupling efficiency of LSP resonance of the gold stripes and the waveguide (WG) mode supported by the BIG film are also discussed systematically. As the embedding depth increases up to 80 nm gradually, the coupling of the WG mode in BIG film with the LSP mode of the individual gold stripe becomes much stronger and forms a highly efficient Fano resonance, which leads to the fact that most of the electromagnetic field is localized in the BIG film and strong interaction with the BIG magnetic dielectric film, and thus, an enhancement of TMOKE response can be observed. However, when the embedded depth increases further, the uniformity of BIG film will be broken. In this case, WG mode cannot be supported by BIG film very well any more at the wavelength corresponding to excitation of the LSP, which results in a weakly coupling efficiency between LSP and WG mode. In this case, the Fano resonance cannot be formed and rare electromagnetic field can be localized in the BIG film, leading to a very weak light-magnetic dielectric film interaction and the weak TMOKE response. Our study proposes a new method to realize the amplification of weak TMOKE response by utilizing the plasmonic microstructure, which might have a potential application to designing the high-efficiency magneto-optical devices.

Keywords: surface plasmons, Transversal magneto-optical Kerr effect, magnetic dielectric, waveguide mode

PACS: 73.20.Mf, 85.70.Sq, 87.10.Kn

DOI: 10.7498/aps.65.147302

* Project supported by the National Natural Science Foundation of China (Grant No. 11274160) and the Major Research Plan of the National Natural Science Foundation of China (Grant No. 91221206).

[†] Corresponding author. E-mail: zhanpeng@nju.edu.cn