

撤稿声明

撤稿文章名: 银包覆 ZnTe/ZnO 纳米线增强二次谐波产生

作者: 聂奎营, 胡总华

* 通讯作者: 邮箱: niekuiying@163.com

期刊名: 应用物理 (APP)

年份: 2018

卷数: 8

期数: 4

页码 (从X页到X页): 178-184

DOI (to PDF): <https://doi.org/10.12677/app.2018.84022>

文章ID: 1270363

文章页面: <https://www.hanspub.org/journal/PaperInformation.aspx?paperID=24714>

撤稿日期: 2018-5-21

撤稿原因 (可多选):

- ☐ 所有作者
- ☐ 部分作者:
- ☐ 编辑收到通知来自于
- ☐ 出版商
- ☐ 科研机构:
- ☐ 读者:
- ☒ 其他:

撤稿生效日期: 2018-5-21

撤稿类型 (可多选):

- ☐ 结果不实
- ☐ 实验错误
- ☐ 数据不一致
- ☐ 分析错误
- ☐ 内容有失偏颇
- ☐ 其他:
- ☐ 结果不可再得
- ☐ 未揭示可能会影响理解与结论的主要利益冲突
- ☐ 不符合道德
- ☐ 欺诈
- ☐ 编造数据
- ☐ 虚假出版
- ☐ 其他:
- ☐ 抄袭
- ☐ 自我抄袭
- ☐ 重复抄袭
- ☐ 重复发表 *
- ☐ 侵权
- ☐ 其他法律相关:
- ☐ 编辑错误
- ☐ 操作错误
- ☐ 无效评审
- ☐ 决策错误
- ☐ 其他:

☒ 其他原因:

出版结果 (只可单选)

- ☐ 仍然有效.
- ☒ 完全无效.

作者行为 失误(只可单选):

- ☐ 诚信问题
- ☐ 学术不端
- ☒ 无 (不适用此条, 如编辑错误)

* 重复发表: "出版或试图出版同一篇文章于不同期刊."

历史

作者回应:

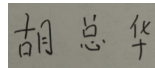
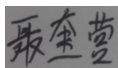
☐ 是, 日期: yyyy-mm-dd☒ 否

信息改正:

☐ 是, 日期: yyyy-mm-dd☒ 否**说明:**

“银包覆 ZnTe/ZnO 纳米线增强二次谐波产生”一文刊登在 2018 年 4 月出版的《应用物理》2018 年第 8 卷第 4 期第 178-184 页上。因作者个人原因, 要求撤稿。根据国际出版流程, 编委会现决定撤除此稿件: 聂奎莹, 胡总华. 银包覆 ZnTe/ZnO 纳米线增强二次谐波产生[J]. 应用物理, 2018, 8(4): 178-184. <https://doi.org/10.12677/APP.2018.84022>

所有作者签名:



Enhancement of Second Harmonic Generation from Ag-Coated ZnTe/ZnO Nanowire

Kuiying Nie, Zonghua Hu

College of Physics & Engineering Technology, Xingyi Normal University for Nationalities, Xingyi Guizhou
Email: niekuiying@163.com

Received: Apr. 6th, 2018; accepted: Apr. 23rd, 2018; published: Apr. 30th, 2018

Abstract

The second harmonic generation (SHG) of Ag-coated ZnTe/ZnO nanowires was studied with finite-difference time-domain method. The ZnTe/ZnO is coated with a Ω shape 100 nm thick Ag film; the Ag cavity concentrates the exciting field into the core of the NW, leading to an enhanced second harmonic response through the nonlinearity of ZnTe and ZnO. When the electric field of the incident light is parallel to the long axis of the nanowire, the intensity of the SHG increased 20 times compared to bare ZnTe/ZnO nanowire when the dimensions of the Ag-coated ZnTe/ZnO nanowire are tuned such that the resonant wavelength is equal to the wavelength of the fundamental wave (FW) 800nm. The combination of the light concentration of metal and the dielectric resonance of nanowire opens up new avenues for enhancing coherent, nonlinear light-matter interactions and achieving high conversion efficiency of the SHG. This work has opened up a new way for the development of frequency doubling nano-optoelectronic devices.

Keywords

Zinc Tellurium, Nanowire, Second Harmonic Generation, Nonlinear Optics, Finite-Difference Time-Domain Method

银包覆ZnTe/ZnO纳米线增强二次谐波产生

聂奎营, 胡总华

兴义民族师范学院物理与工程技术学院, 贵州 兴义
Email: niekuiying@163.com

收稿日期: 2018年4月6日; 录用日期: 2018年4月23日; 发布日期: 2018年4月30日

摘要

采用时域有限差分法对Ag包覆ZnTe/ZnO纳米线的二次谐波产生(Second Harmonic Generation, SHG)进行研究。在ZnTe/ZnO纳米线上包覆一层100 nm厚的 Ω 形状的Ag薄膜, Ag薄膜可以把激发光局域在纳米线的中心, 利用ZnTe和ZnO的二阶非线性可以增强输出的二次谐波强度。当入射光的电场方向平行于纳米线长轴时, 把Ag包覆ZnTe/ZnO的尺寸调整到其共振波长与入射光基波(Fundamental Wave, FW)波长800 nm相等时, 输出的二次谐波强度增强了20倍。把金属对光的局域作用和纳米线的介电共振相结合可以增强非线性相干光和物质的相互作用, 从而增强二次谐波转换效率。这种方法为发展倍频纳米光电器件开辟了新的道路。

关键词

碲化锌, 纳米线, 二次谐波产生, 非线性光学, 时域有限差分法

Copyright © 2018 by authors and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

金属和半导体相结合的非线性光学特性, 由于其可以更好的理解光和物质的相互作用和在亚波长生物成像[1]、非线性光谱[2]、紫外光源[3]等方面具有广阔的应用前景, 吸引了越来越多研究者的注意。SHG是一个把入射FW频率为 ω 的光转换为频率为 2ω 的光, 为从近红外激光器得到紫外光源提供了一个有效简便的方法[4]。特别是半导体纳米线产生二次谐波, 由于纳米线很容易被集成到光路中而被广泛的应用到GaN[5]、GaAs[6]和CdS[7]纳米线/纳米带中。这是因为通过调控纳米线的尺寸, 纳米线可以支持特定波长的介电共振, 从而可以把共振波长调到与入射光基波波长相匹配或与二次谐波波长相匹配, 当共振波长与入射光基波波长相匹配时, 二次谐波增强强度较大[8]。另外, 相对于裸露的非线性介质, 金属包覆非线性介质通过增强介质中的电磁场强度从而增强输出二次谐波强度[9]。当光与金属包覆的纳米线相互作用时, 光场也被集中在纳米线的中心。因此, 半导体纳米线可以通过金属包覆增强纳米线中的光场强度, 从而增强纳米线中产生二次谐波的强度。

对于非线性纳米线介质材料, ZnTe 具有较大的二阶非线性磁化率[10], 且折射率较大[11], 可使光场局域在ZnTe纳米线中。另外, ZnTe纳米线在空气中很容易被氧化, 被一层薄薄的ZnO包裹, 而薄的ZnO层也可以将光局域在ZnTe纳米线中[12]。这种ZnTe/ZnO核壳结构纳米线具有泄漏共振模式, 为了阻止光泄漏出去, 在纳米线上包覆100 nm厚 Ω 形状的Ag可以阻止光泄漏出去, 从而形成一个回音壁模式的纳米腔, 进而增强纳米线中输出二次谐波强度。

2. 原理和结构设计

Ag包覆ZnTe/ZnO纳米线的剖面结构如图1(a)所示, 衬底为石英衬底, ZnTe的直径为 d , ZnO的厚度设为10 nm, Ω 形状的Ag的厚度100 nm。为了更好的理解纳米线的尺寸对产生的二次谐波强度的影响, 采用FDTD计算了纳米线中的平均能量。计算中石英和银都选择lumerical材料包中的折射率, ZnTe和ZnO的折射率来源于参考文献[13][14]。纳米线中的平均强度 $I_{w,ave}$ 是在二维下计算的, 对纳米线中的

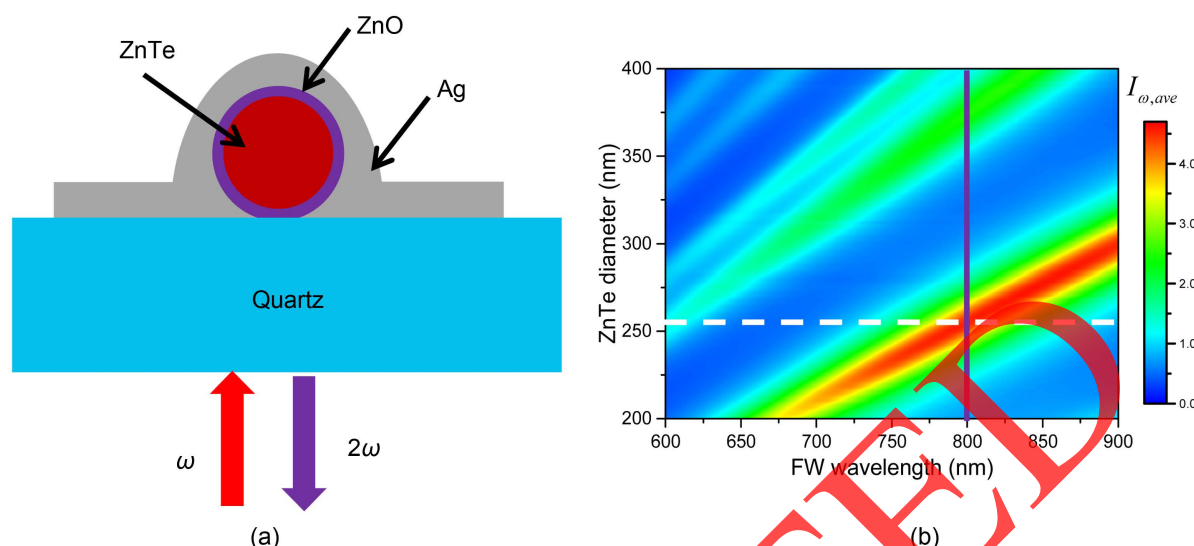


Figure 1. (a) Cross section of Ag-coated ZnTe/ZnO nanowire. (b) Calculated average intensity within the ZnTe/ZnO NW as a function of diameter and wavelength for Ag-coated nanowire

图 1. (a) Ag 包覆 ZnTe/ZnO 纳米线的剖面图; (b) 计算的 Ag 包覆 ZnTe/ZnO 纳米线中的平均强度与波长和直径 d 的关系

电场强度 $|E(\lambda, d)|^2$ 进行积分, 然后再除以纳米线面积。当入射光垂直从衬底下入射, 电场方向平行于纳米线长轴方向时, 计算的纳米线中的平均能量与入射光基波波长和纳米线直径 d 的关系如图 1(b) 所示。

从图 1(b) 中可以看出, 纳米线中的平均能量随着直径的增加, 共振波长线性右移。由于入射基波的波长为 800 nm, 当 ZnTe 的直径为 d 为 255 nm 时(如图 1(b) 中白色虚线所示), ZnTe/ZnO 纳米线在 800 nm 有共振, 因此选择 ZnTe/ZnO 纳米线的直径 d 为 255 nm。为了理解 Ag 薄膜增强纳米线中产生二次谐波的原因, 我们计算了 ZnTe/ZnO 纳米线的直径 d 为 255 nm 时单纳米线和 Ag 包覆的纳米线中的平均强度, 如图 2(a) 所示。从图中可以看出, Ag 包覆的纳米线在 800 nm 有共振, 而单纳米线没有。相对于单纳米线, Ag 包覆的纳米线中基波的平均强度增强 4.5 倍, 由于 $I_{2\omega} \propto I_{\omega,ave}^2$ 从而使纳米线中产生的二次谐波强度增强[15]。为了进一步理解其原因, 分别计算了单纳米线和 Ag 包覆的纳米线中的电场空间分布, 如图 2(b) 和图 2(c) 所示, 两个图的尺度是相同的, 从图中可以看出, 单纳米线中的光泄漏出纳米线, 而 100 nm Ag 薄膜可以把光汇聚在纳米线中, 使光场与纳米线在空间上重合, 从而增强了纳米线中基波的电场强度。

3. 结果与讨论

入射光从衬底下面垂直入射, 电场方向平行于纳米线长轴方向, 计算单 ZnTe/ZnO 纳米线和 Ag 包覆的 ZnTe/ZnO 纳米线产生的二次谐波, 如图 3(a) 所示, 从图中可以看出, 在 400 nm 处有一个尖锐的峰, 刚好对应于基波 800 nm 的一半, 因此是由 ZnTe/ZnO 的非线性产生的二次谐波。相比于单纳米线, Ag 包覆的 ZnTe/ZnO 纳米线产生的二次谐波强度增强了 20 倍, 这意味着是由 Ag 薄膜的反射增强了二次谐波的强度。为了理解二次谐波的增强机制, 计算了单 ZnTe/ZnO 纳米线和 Ag 包覆的 ZnTe/ZnO 纳米线在二次谐波波长的电场空间分布, 如图 3(b) 和图 3(c) 所示, 它们具有相同的尺度, 相比于单 ZnTe/ZnO 纳米线, Ag 包覆的 ZnTe/ZnO 纳米线在二次谐波波长的电场空间分布强的多。此外, 从图 3(c) 中可以看出, Ag 包覆的 ZnTe/ZnO 纳米线中的光场与 Ag 或 ZnTe/ZnO 表面的空间重叠较小, 这表示 SHG 不是来源于这些界面, 而是来源于 ZnTe/ZnO, 但是被 Ag 增强。

为了进一步证明发生的非线性过程为倍频过程, 分别计算了单 ZnTe/ZnO 纳米线和 Ag 包覆 ZnTe/ZnO

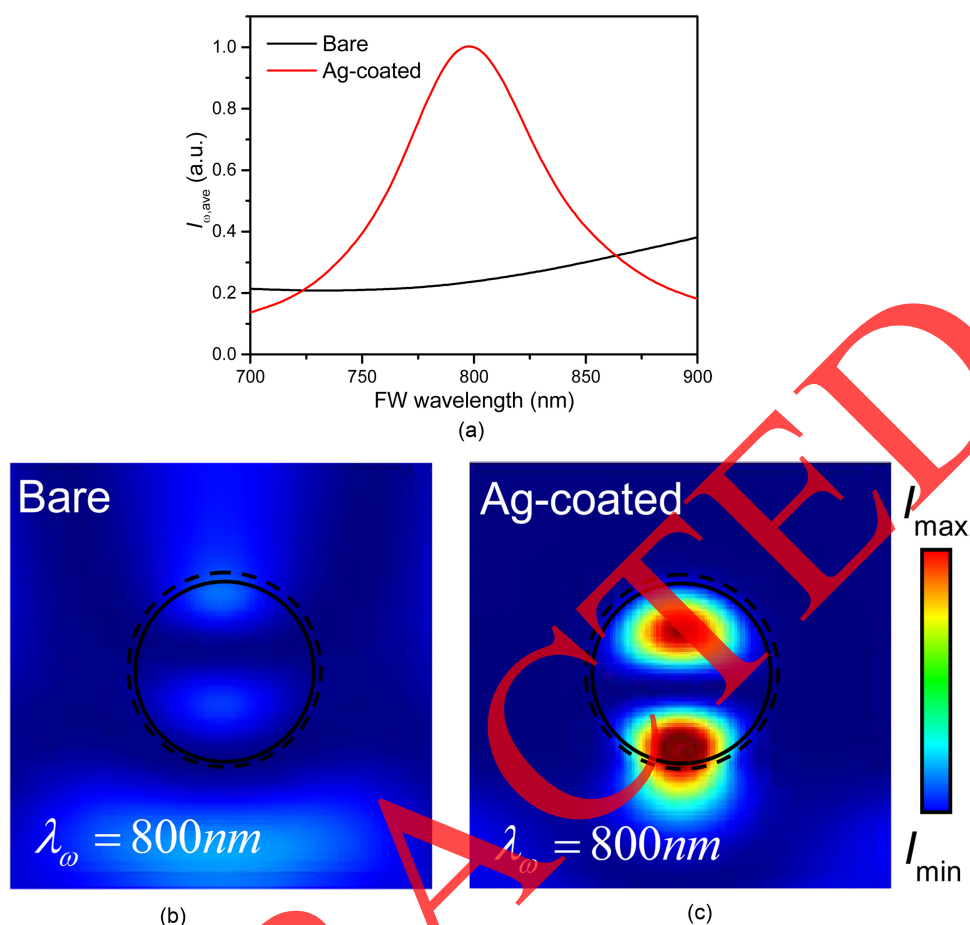


Figure 2. (a) The normalized average intensity for the single nanowire and Ag-coated ZnTe/ZnO nanowire. The electric intensity distribution excited by the FW in single (b) and Ag-Coated (c) nanowire, and they have the same scale bar. The black solid line depict the ZnTe/ZnO interface, the black dashed line depict the ZnO/air interface (a) or ZnO/Ag interface

图 2. (a) 单 ZnTe/ZnO 纳米线和 Ag 包覆 ZnTe/ZnO 的纳米线中的归一化平均强度, (b) 单纳米线在基波的电场空间分布 (c) Ag 包覆的纳米线在基波的电场空间分布。黑色实线代表 ZnTe/ZnO 界面, 黑色虚线代表 ZnO/空气界面(a)或 ZnO/Ag 界面(b)

的纳米线产生的二次谐波功率与入射光功率的关系, 如图 4(a)所示。为了进一步弄清它们的关系, 把图 4(a)横纵坐标都取对数, 如图 4(b)所示, 得到两条斜率为 2 的直线, Ag 包覆纳米线不改变 SHG 过程, 只是增强二次谐波强度。这就进一步证明了产生的非线性过程为二次谐波过程。而且从图 4(a)和图 4(b)可以看出, 相同功率下, Ag 包覆 ZnTe/ZnO 的纳米线产生的二次谐波强度大于单纳米线的二次谐波强度。

由于 SHG 是相干的, 二次谐波强度将随着激发 FW 的电场与纳米线的长轴之间的角度变化而改变, 为了研究 Ag 包覆 ZnTe/ZnO 的纳米线产生二次谐波强度与入射光偏振方向的关系, 我们把基波的极化角度从 -90° (垂直于纳米线长轴, TE 模式) 转到 0° (平行于纳米线长轴, TM 模式), 再转到 90° , 二次谐波的强度随着基波的电场方向在纳米线长轴方向的投影而变化, 如图 5(a)所示, 与基波电场偏振相关性一致: $I_{SHG} \propto (\cos^4 \theta) (\chi^{(2)})^2 I_{FW}^2$ [16]。产生的二次谐波强度依赖于 FW 偏振方向的主要原因是 TM 激发比 TE 激发能更有效的将光耦合到纳米线中[17]。当入射光偏振方向为 TE 模式时, 相同直径的 Ag 包覆 ZnTe/ZnO 的纳米线的共振波长红移到了 825 nm, 如图 5(b)所示, 其对应于低阶模式的共振。而 750 nm 所对应的峰对应于高阶模式的共振。然后计算了入射光在 TE 偏振模式下, 基波波长为 825 nm 时, 产生的二次谐

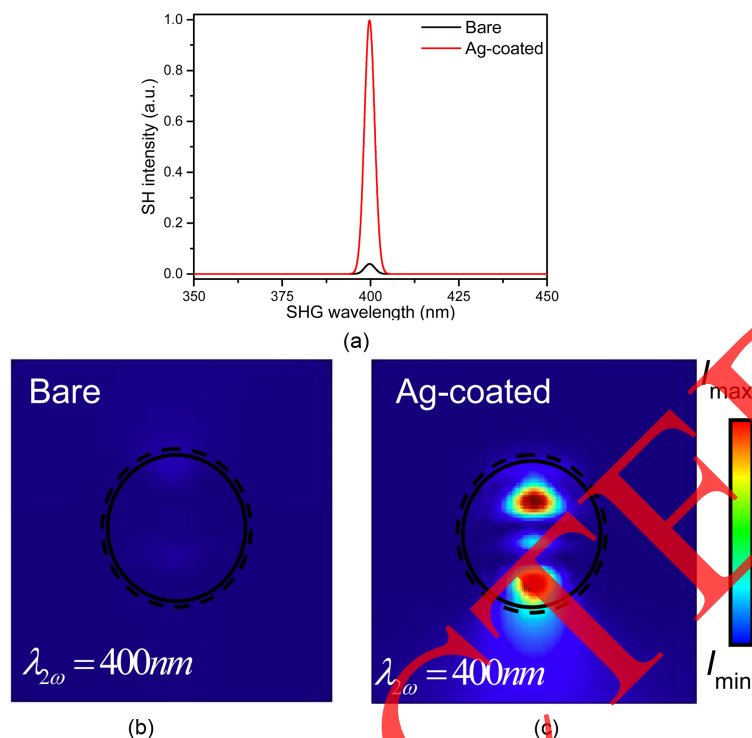


Figure 3. (a) The intensity of SHG from Ag-coated ZnTe/ZnO nanowire and the single NW. (b) The intensity distribution of SHG in the single nanowire at the SH wavelength. (c) The intensity distribution of SGH in the Ag-coated nanowire at the SH wavelength. (b) and (c) have the same scale bar

图 3. (a) 单 ZnTe/ZnO 纳米线和 Ag 包覆 ZnTe/ZnO 的纳米线中产生的二次谐波强度; (b) 单纳米线在二次谐波的电场空间分布。 (c) 银包覆的纳米线在二次谐波的电场空间分布。(b)和(c)具有相同的比例尺

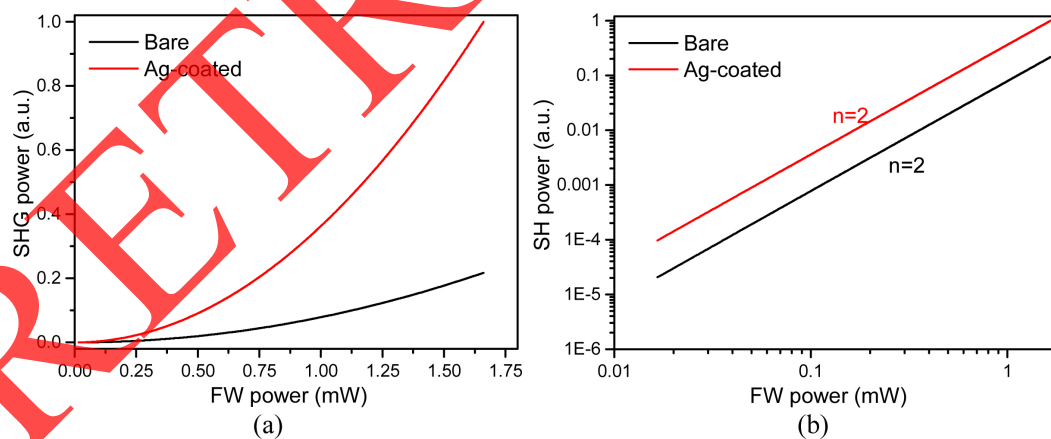


Figure 4. (a) The relation between SH power and incident fundamental power. (b) From (a) and was log-log plot

图 4. (a) 二次谐波功率与入射基波功率的关系。(b) 用对数坐标来表示图(a)

波强度, 如图 5(c)所示, 相比于单纳米线, Ag 包覆 ZnTe/ZnO 的纳米线产生的二次谐波强度增强了 5 倍。这种增强原因是由于 Ag 的包覆使纳米线中的光场强度大于同样尺寸的单纳米线的光场强度。此外, 在 TM 模式激发下 Ag 包覆 ZnTe/ZnO 的纳米线产生的二次谐波强度比单纳米线增强 20 倍, 而 TE 模式下增强 5 倍, 主要是由于 TM 激发比 TE 激发能更有效的将光耦合到纳米线中。

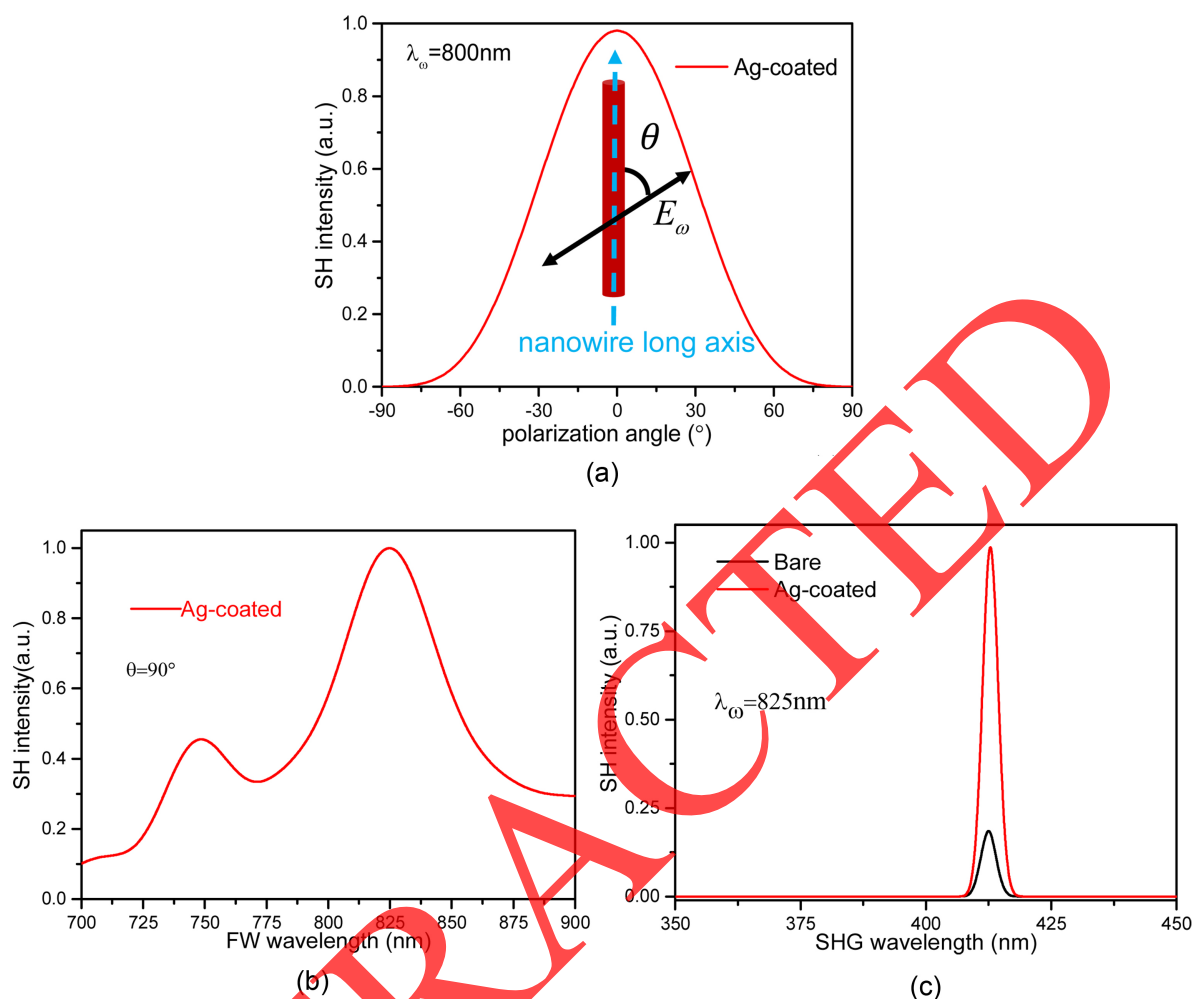


Figure 5. (a) Polarization dependence of the intensity of SH at the wavelength of FW excitation. (b) The average intensity in Ag-coated ZnTe/ZnO nanowire when the incident electric field is perpendicular to the long axis of the nanowire. (c) The intensity of SH from Ag-coated and the single nanowire with the electric field is perpendicular to the long axis of the nanowire

图 5. (a) Ag 包覆 ZnTe/ZnO 纳米线产生的二次谐波强度对入射光偏振的依赖性。(b) 入射电场方向垂直于纳米线长轴时, Ag 包覆 ZnTe/ZnO 纳米线中的平均强度。(c) 入射电场方向垂直于纳米线长轴时, 单 ZnTe/ZnO 纳米线和 Ag 包覆的 ZnTe/ZnO 纳米线产生二次谐波强度

4. 结论

通过对 Ag 包覆的 ZnTe/ZnO 纳米线尺寸的调控, 使纳米线的共振波长与入射光基波波长相等, 从而增强 Ag 包覆的 ZnTe/ZnO 纳米线中基波的光场, 通过相干耦合增强纳米线中倍频的光场, 从而增强纳米线中二次谐波的强度。对入射光偏振的研究表明, 产生的二次谐波强度依赖于入射光的偏振态, 当入射光电场方向平行于纳米线长轴方向时, Ag 包覆的 ZnTe/ZnO 纳米线产生的二次谐波强度比单纳米线增强 20 倍。研究结果有助于理解非线性介质中的非线性光学过程, 这在紫外光电探测器、短波长的电光调制器中都有巨大应用潜力。

基金项目

贵州省教育厅青年科技人才成长项目: (黔教合 KY 字[2016] 326 号); 贵州省科技合作计划: (黔科合 LH 字[2016] 7036 号); 贵州省教育厅青年科技人才成长项目: (黔教合 KY 字[2017] 360 号)。

参考文献

- [1] Nakayama, Y., Pauzauskie, P.J., Radenovic, A., *et al.* (2007) Tunable Nanowire Nonlinear Optical Probe. *Nature*, **447**, 1098-1101. <https://doi.org/10.1038/nature05921>
- [2] Harutyunyan, H., Palomba, S., Renger, J., *et al.* (2010) Nonlinear Dark-Field Microscopy. *Nano Letters*, **10**, 5076-5079. <https://doi.org/10.1021/nl1033304>
- [3] Zhang, C.F., Dong, Z.W., You, G.J., *et al.* (2006) Multiphoton Route to ZnO Nanowirelasers. *Optics Letters*, **31**, 3345-3347. <https://doi.org/10.1364/OL.31.003345>
- [4] Zhang, Y., Zhou, H., Liu, S.W., *et al.* (2009) Second-Harmonic Whispering-Gallery Modes in ZnO Nanotetrapod. *Nano Letters*, **9**, 2109-2112. <https://doi.org/10.1021/nl900622q>
- [5] Long, J.P., Simpkins, B.S., Rowenhorst, D.J., *et al.* (2007) Far-Field Imaging of Optical Second-Harmonic Generation in Single GaN Nanowires. *Nano Letters*, **7**, 831-836. <https://doi.org/10.1021/nl0624420>
- [6] Granger, R., Bronstrup, G., Kiometzis, M., *et al.* (2012) Far-Field Imaging for Direct Visualization of Light Interferences in GaAs Nanowires. *Nano Letters*, **12**, 5412-5417. <https://doi.org/10.1021/nl302896n>
- [7] Liu, X., Zhang, Q., Chong, W.K., *et al.* (2015) Cooperative Enhancement of Second-Harmonic Generation from a Single CdS Nanobelt-Hybrid Plasmonic Structure. *ACS Nano*, **9**, 5018-5026. <https://doi.org/10.1021/nn5072045>
- [8] Sanchez-Garcia, L., Tserkezis, C., Ramirez, M.O., *et al.* (2016) Plasmonic Enhancement of Second Harmonic Generation from Nonlinear RbTiOPO₄ Crystals by Aggregates of Silver Nanostructures. *Optics Express*, **24**, 8491-8500. <https://doi.org/10.1364/OE.24.008491>
- [9] Pu, Y., Grange, R., Hsieh, C.L., *et al.* (2010) Nonlinear Optical Properties of Core-Shell Nanocavities for Enhanced Second-Harmonic Generation. *Physical Review Letters*, **104**, 207402. <https://doi.org/10.1103/PhysRevLett.104.207402>
- [10] Wagner, H.P., Kuhnelt, M., Langbein, W., *et al.* (1998) Dispersion of the Second-Order Nonlinear Susceptibility in ZnTe, ZnSe, and ZnS. *Physical Review B*, **58**, 10494-10501. <https://doi.org/10.1103/PhysRevB.58.10494>
- [11] Pacuski, W., Kruse, C., Figge, S., *et al.* (2009) High-Reflectivity Broadband Distributed Bragg Reflector Lattice Matched to ZnTe. *Applied Physics Letters*, **94**, Article ID: 191108. <https://doi.org/10.1063/1.3136755>
- [12] Nie, K.Y., Li, J., Chen, X., *et al.* (2017) Extreme Absorption Enhancement in ZnTe: O/ZnO Intermediate Band Core-Shell Nanowires by Interplay of Dielectric Resonance and Plasmonic Bowtie Nanoantennas. *Scientific Reports*, **7**, 7503. <https://doi.org/10.1038/s41598-017-07970-7>
- [13] Sato, K. and Adachi, S. (1993) Optical Properties of ZnTe. *Journal of Applied Physics*, **73**, 926-931. <https://doi.org/10.1063/1.353305>
- [14] Yoshikawa, H. and Adachi, S. (1997) Optical Constants of ZnO. *Japanese Journal of Applied Physics*, **36**, 6237-6243. <https://doi.org/10.1143/JJAP.36.6237>
- [15] Ren, M.L., Liu, W., Aspetti, C.O., *et al.* (2014) Enhanced Second-Harmonic Generation from Metal-Integrated Semiconductor Nanowires via Highly Confined Whispering Gallery Modes. *Nature Communication*, **5**, Article No. 5432. <https://doi.org/10.1038/ncomms6432>
- [16] He, H., Zhang, X., Yan, X., *et al.* (2013) Broadband Second Harmonic Generation in GaAs Nanowires by Femtosecond Laser Sources. *Applied Physics Letters*, **103**, Article ID: 143110. <https://doi.org/10.1063/1.4824024>
- [17] Barzda, V., Cisek, R., Spencer, T.L., *et al.* (2008) Giant Anisotropy of Second Harmonic Generation for a Single ZnSe Nanowire. *Applied Physics Letters*, **92**, Article ID: 113111. <https://doi.org/10.1063/1.2901023>

知网检索的两种方式:

1. 打开知网页面 <http://kns.cnki.net/kns/brief/result.aspx?dbPrefix=WWJD>
下拉列表框选择: [ISSN], 输入期刊 ISSN: 2160-7567, 即可查询
2. 打开知网首页 <http://cnki.net/>
左侧“国际文献总库”进入, 输入文章标题, 即可查询

投稿请点击: <http://www.hanspub.org/Submission.aspx>

期刊邮箱: app@hanspub.org

RETRACTED