

撤稿声明

撤稿文章名: GaAs/AlGaAs核壳结构纳米线阵列太阳能电池的设计
作者: 聂奎营, 胡总华

* 通讯作者: 邮箱: niekuiying@163.com

期刊名: 现代物理 (MP)
年份: 2018
卷数: 8
期数: 3
页码 (从X页到X页): 82-88
DOI (to PDF): <https://doi.org/10.12677/mp.2018.83010>
文章ID: 1260292
文章页面: <https://www.hanspub.org/journal/PaperInformation.aspx?paperID=24908>
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: 2018-5-25

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:

“GaAs/AlGaAs 核壳结构纳米线阵列太阳能电池的设计”一文刊登在 2018 年 5 月出版的《现代物理》2018 年第 8 卷第 3 期第 82-88 页上。因作者疏忽, 文章部分内容有待进一步确认。根据国际出版流程, 编委会现决定撤除此稿件, 保留原出版出处:

聂奎莹, 胡总华. GaAs/AlGaAs 核壳结构纳米线阵列太阳能电池的设计[J]. 现代物理, 2018, 8(3): 82-88. <https://doi.org/10.12677/MP.2018.83010>

所有作者签名:

	
---	---

Design of GaAs/AlGaAs Core/Shell Nanowire Array Solar Cells

Kuiying Nie, Zonghua Hu

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

Received: Apr. 24th, 2018; accepted: May 10th, 2018; published: May 17th, 2018

Abstract

For achieving an optimized absorption efficiency of GaAs/AlGaAs core/shell nanowire array based solar cells, the diameter, length and pitch of the nanowire array was optimized using finite-difference time-domain method; the higher absorption efficiency was obtained in the wave band of the nanowire array absorption spectrum coinciding with the solar spectrum. Then the influence of Al composition on the absorption spectra of GaAs/AlGaAs nanowire array was analyzed. The results show that the absorption efficiency of single GaAs nanowire array solar cells and GaAs/AlGaAs nanowire array solar cells both are obviously enhanced compared with that of planar GaAs solar cells. In particular, the absorption efficiency of GaAs/AlGaAs nanowire array solar cells is further enhanced to 81.98% compared to that of single GaAs nanowire array solar cells. This method opens up a new path for the fabrication of high-performance optoelectronic devices such as solar cells and photodetectors.

Keywords

Solar Cells, GaAs/AlGaAs Core/Shell Nanowire Array, Finite-Difference Time-Domain Method, Optical Absorption Efficiency

GaAs/AlGaAs核壳结构纳米线阵列太阳能电池的设计

聂奎莹, 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24日; 录用日期: 2018年5月10日; 发布日期: 2018年5月17日

摘要

为了得到GaAs/AlGaAs核壳结构纳米线阵列太阳能电池的最优吸收效率,通过时域有限差分法对纳米线阵列的直径、长度和间距进行了优化,使纳米线的吸收光谱与太阳光谱重合的波段具有较高的吸收效率。之后对GaAs/AlGaAs纳米线阵列中Al组份对吸收光谱的影响进行了分析。研究结果表明,相比于平面GaAs太阳能电池,单GaAs纳米线阵列太阳能电池和GaAs/AlGaAs纳米线阵列太阳能电池的吸收效率都有明显的增强,特别是GaAs/AlGaAs纳米线阵列太阳能电池的吸收效率比单GaAs纳米线阵列太阳能电池的吸收效率有进一步的增强,达到了81.98%。这种方法为制备高性能的太阳能电池和光探测器等光电器件开辟了新的道路。

关键词

太阳能电池, GaAs/AlGaAs核壳结构纳米线阵列, 时域有限差分法, 光吸收效率

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

纳米材料实现了由太阳能到电能的高效转化,特别是纳米线用以改善电荷的收集过程[1][2]以及由其光俘获性质引起的带宽增强光吸收已经被广泛应用[3]。另外由于纳米线与光的强相互作用,一维半导体纳米线开辟了光子学和太阳能收集的新途径,为纳米光电子器件的应用提供了非常好的平台,包括激光器、光开关[4]、光探测器[5]和太阳能电池[6]。纳米线由于其特殊的几何结构,具有优异的电荷收集、提取能力和较大的光学截面[7]。通过控制纳米线的尺寸,可以支持具有较低光损耗的不同介电共振,从而可以在亚波长尺度下调控其光学性能[8][9]。

采用纳米线的最终目的是在降低成本的同时可以提高器件总的光电转换效率,而在纳米线的核壳 p-n 结中,电子-空穴对是在径向方向上发生分离,并且光生载流子的运动距离比少数载流子扩散长度小的多[2][10]。考虑到光活性区主要是由纳米线本身构成的,这里采用 GaAs/AlGaAs 纳米线阵列来设计太阳能电池,是因为 GaAs 是直接带隙的半导体化合物,为在几微米材料厚度范围内有效吸收大部分入射光子提供了机会,并且它能够实现多结点集成,最终可以实现对完整的紫外/可见/红外光谱的利用[11]。此外,和传统的薄膜太阳能电池相比,纳米线阵列太阳能电池具有反射率低、陷光能力强等优势[12],这些都为太阳能电池的吸收提供了必要的条件,而且可以利用纳米线阵列之间的相互耦合作用,增强纳米线阵列的电磁场强度,从而增强其吸收。由于纳米线阵列的稀疏程度、纳米线的直径和长度都会对太阳能电池的吸收产生影响,这里通过调节这些参数,可以使太阳能电池的转换效率进一步得到优化。本文考虑到太阳能电池的光吸收特性,对 GaAs/AlGaAs 核壳结构 p-n 结纳米线阵列太阳能电池进行优化。

2. 器件结构与计算方法

GaAs 是多结叠层太阳能电池的重要材料,这里采用 GaAs/AlGaAs 纳米线阵列作为太阳能电池的光活性区域,结构如图 1 所示,衬底为 Si,纳米线采用垂直排列、粗细均匀的圆柱来代替,纳米线的长度为 L ,阵列的周期为 p ,GaAs/AlGaAs 纳米线的直径为 d ,其中外壳 AlGaAs 的厚度为 10 nm。要通过优

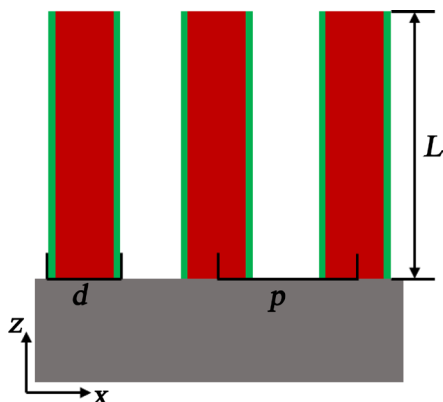


Figure 1. The structure of radial p-n junction GaAs/AlGaAs nanowires array based solar cell
图 1. 径向 p-n 结 GaAs/AlGaAs 纳米线阵列太阳能电池结构

化纳米线之间的间距 p 和纳米线的尺寸(包括直径 d 和长度 L)使 GaAs/AlGaAs 纳米线阵列太阳能电池的吸收最强, 最后分析了 AlGaAs 中 Al 组份对吸收光谱的影响。

使用 Lumerical 公司的 FDTD 来研究纳米线阵列的光学吸收特性, 首先利用时域有限差分法来计算 GaAs/AlGaAs 纳米线阵列的吸收光谱。光从上方垂直入射到纳米线阵列上, 计算过程中, 在 x 和 y 方向上采用周期边界条件, 在纳米线长轴方向也就是 z 方向采用完全匹配层(Perfectly Matched Layer, PML)边界条件, 保证在 z 方向边界上的透射光被 PML 完全吸收。在计算过程中, 考虑到节约成本的原因, x 和 y 方向上的计算网格最小为 1 nm, z 方向最小计算网格为 2 nm, 都远小于工作波长和纳米线的尺寸, 计算中的收敛性都很好。计算中太阳光垂直入射到纳米线上, GaAs/AlGaAs 纳米线阵列太阳能电池的吸收光谱为[13]:

$$\text{Absorption} = \frac{1}{2} \varepsilon_0 \omega \int_V |E|^2 I_m(\varepsilon) dV \quad (1)$$

式中, ε_0 为真空中的介电常数, $I_m(\varepsilon)$ 为半导体材料的介电函数的虚部, ω 为光的频率, E 为纳米线中的电场强度, V 为计算区域的体积, 也就是在整个计算区域对其中的电场强度进行积分。GaAs 和衬底的折射率采用 Lumerical FDTD 软件包里的折射率, AlGaAs 的折射率参考网页[14]中的。

3. 仿真结果与分析

3.1. 纳米线直径的优化

由于纳米线的直径对 GaAs/AlGaAs 纳米线阵列太阳能电池的吸收有较大的影响, 因此首先计算纳米线的直径对吸收光谱的影响, 这里, AlGaAs 中 Al 和 Ga 的组份各占 50%, 计算结果如图 2 所示。由于 GaAs 和 AlGaAs 在计算区域具有较大的介电常数, 光被局域在纳米线中, 形成传导模式。纳米线的直径越大, 陷光能力越强, 其支持的共振模式越多[15]。

从图 2 中可以看出, 随着纳米线直径的增加, 纳米线总的吸收是增强的, 纳米线中支持的共振模式也增多, 考虑到单位体积内的吸收应该最大, 这里选择 GaAs/AlGaAs 纳米线的直径为 140 nm, 此时纳米线的吸收效率为 74.67%, 虽然比直径为 160 nm 的吸收效率 82.3%低, 但是单位体积内的吸收效率比其高。此外, 纳米线的吸收在较大波长下降比较快的原因是 GaAs 和 AlGaAs 的吸收系数在 700 nm 之后非常小。

3.2. 纳米线间距的优化

GaAs/AlGaAs 纳米线之间的距离对太阳能电池的吸收也有较大的影响。计算中采用的纳米线阵列是

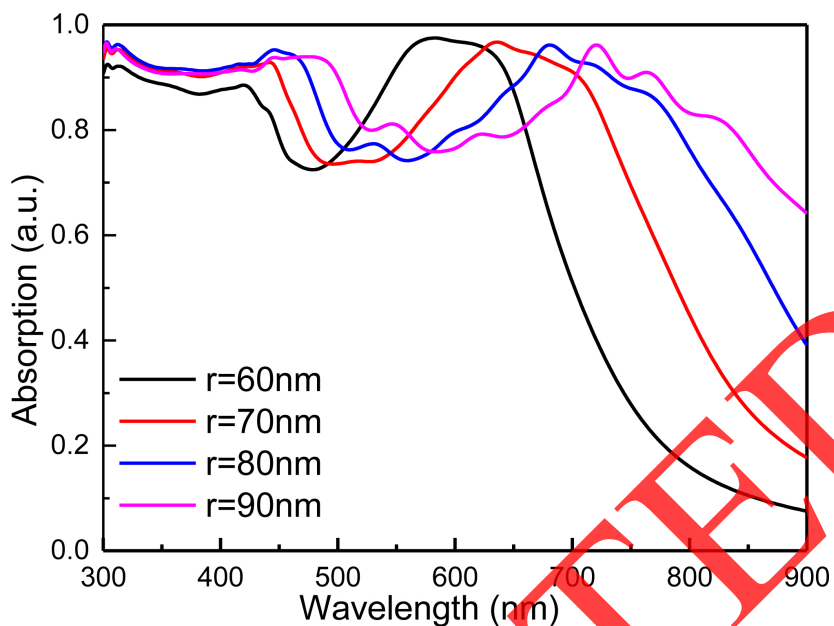


Figure 2. Influence of the diameter of GaAs/AlGaAs nanowires on the absorption efficiency
图 2. GaAs/AlGaAs 纳米线直径对吸收效率的影响

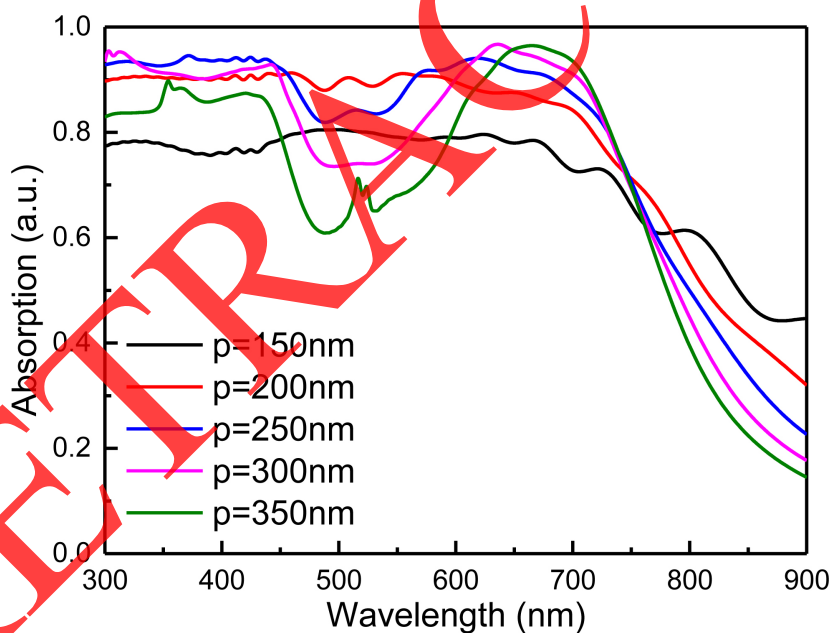


Figure 3. Influence of the distance of GaAs/AlGaAs nanowires on the absorption efficiency
图 3. GaAs/AlGaAs 纳米线之间的距离对吸收效率的影响

均匀分布的。改变纳米线之间的距离，使纳米线的吸收强度最强，计算结果如图 3 所示，从图中可以看出，纳米线之间的距离对太阳能电池的吸收光谱影响较大，当纳米线之间的距离为 150 nm 时，太阳能电池的吸收整体都较小。当距离增大到 200 nm，吸收光谱整体增强。之后随着纳米线之间距离增大，在 520 nm 附近吸收减小，而在 650 nm 附近出现峰值，这可能是纳米线之间的耦合作用所引起的。就整体来看纳米线的间距为 200 nm 时，总的吸收最强，吸收效率为 78.4%，而且在 650 nm 附近的峰较宽。因此选择他纳米线之间的间距 p 为 200 nm。

3.3. 纳米线长度的优化

当 GaAs/AlGaAs 纳米线直径为 140 nm, 各个纳米线之间的距离为 200 nm 时, 计算纳米线的长度对吸收光谱的影响, 如图 4 所示, 从图中可以看出, 纳米线的长度对其吸收光谱的线型影响不大。随着纳米线长度的增加, GaAs/AlGaAs 纳米线阵列太阳能电池的吸收整体增强, 是由于吸收光谱与是对纳米线中的电场强度在整个纳米线上进行积分得到的, 纳米线体积增大, 吸收光谱也随着增强。考虑的单位体积内的吸收和用 GaAs 薄膜制备太阳能电池的厚度, 这里我们选择 GaAs/AlGaAs 纳米线的长度为 1.5 μm , 此时的吸收效率为 81.98%。

3.4. GaAs/AlGaAs 纳米线中 Al 组份对吸收光谱的影响

考虑到 AlGaAs 中 Al 组份不同时, AlGaAs 随波长变化的折射率不同, 因此, 其吸收光谱也会跟着有响应的变化。这里给出了 Al 组份分别为 10%、30%、50%、70%和 90%时, 对 GaAs/AlGaAs 纳米线阵列太阳能电池吸收光谱的影响, 如图 5 所示, 从图中看出 Al 组份分别为 10%、30%、50%和 70%对吸收光谱影响较小, 特别是在 300~700 nm 之间, 吸收光谱几乎不变。在 700~900 nm 之间, 随着 Al 组份的增加, 吸收减小, 主要是由于 Al 的掺入, 使 AlGaAs 的吸收系数在此范围内变小。当 Al 含量为达到 90%时, 吸收光谱在紫外光范围有振荡, 而且在 370 nm 附近出现了较大谷, 可能是由于 Al 含量较多, 使 AlGaAs 吸收系数在 370 nm 附近急剧减小造成的。

3.5. 计算结果

通过对 GaAs/AlGaAs 纳米线阵列太阳能电池的直径、长度和纳米线之间距离的优化, 选择最优值, 对比相同厚度的平面 GaAs 太阳能电池的光吸收效率 54.91%, 单 GaAs 纳米线阵列太阳能电池和 GaAs/AlGaAs 纳米线阵列太阳能电池的光吸收有明显增强, 分别为 74.63%和 81.98%, 如图 6 所示。平面 GaAs 太阳能电池的厚度与 GaAs 纳米线阵列太阳能电池的长度和 GaAs/AlGaAs 纳米线阵列太阳能电池的长度相同都为 1.5 μm , 纳米线阵列太阳能电池的吸收明显大于平面太阳能电池的吸收, 主要是由于

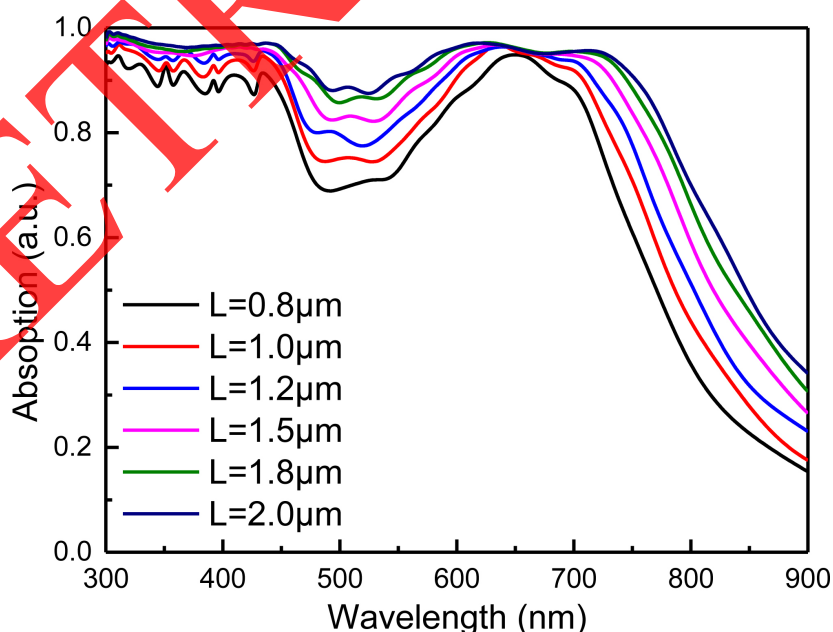


Figure 4. Influences of the length of GaAs/AlGaAs nanowires on the absorption efficiency
图 4. GaAs/AlGaAs 纳米线长度对吸收效率的影响

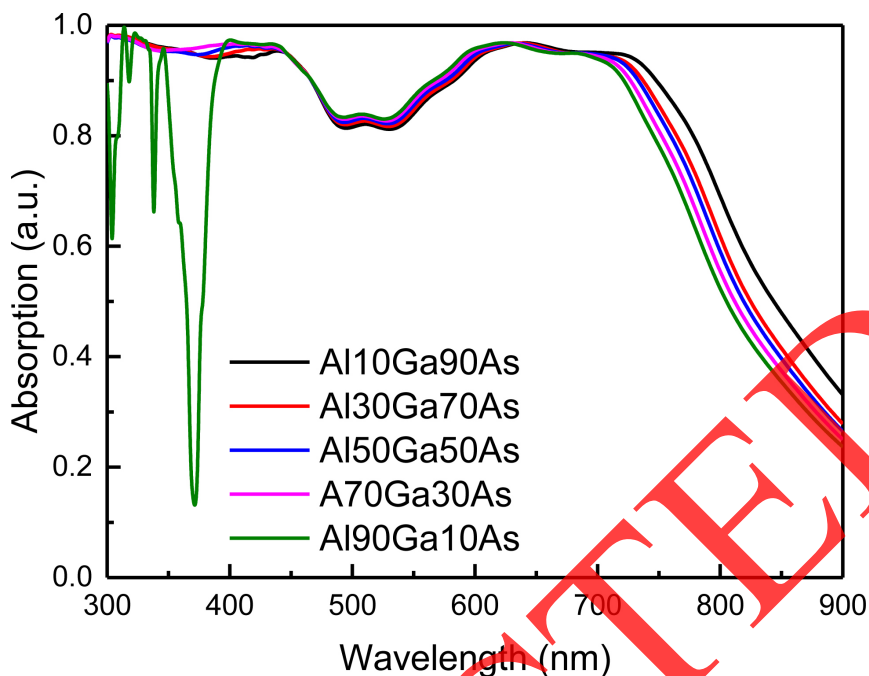


Figure 5. Influences of Al composition of GaAs/AlGaAs nanowires on the absorption efficiency
图 5. GaAs/AlGaAs 纳米线中 Al 组份对吸收效率的影响

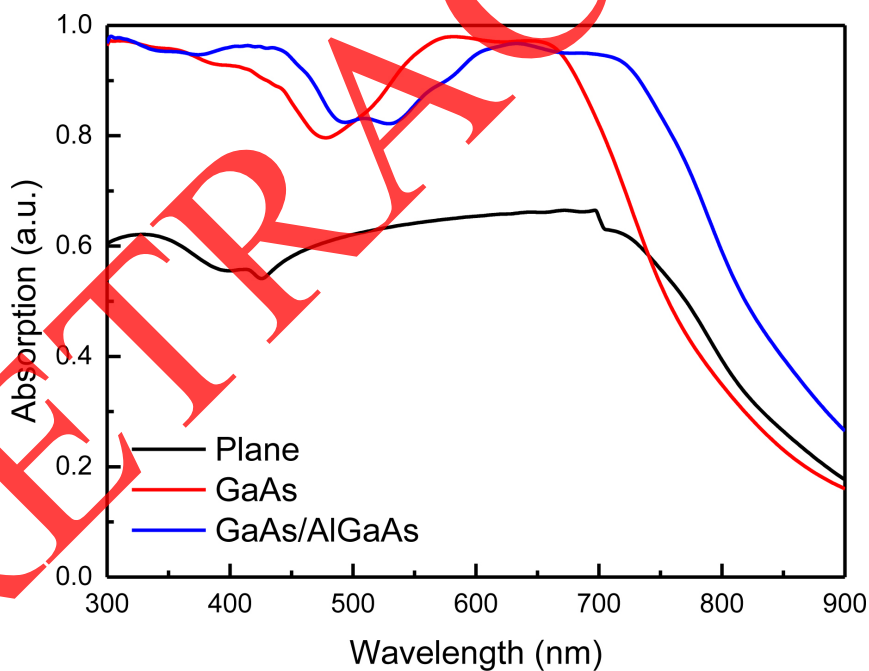


Figure 6. Absorption spectra of planar GaAs solar cells, GaAs nanowire array solar cells, and GaAs/AlGaAs nanowire array solar cells
图 6. 平面 GaAs 太阳能电池、GaAs 纳米线阵列太阳能电池和 GaAs/AlGaAs 纳米线阵列太阳能电池的吸收光谱

纳米线阵列之间的相互耦合作用,使纳米线阵列的光场强度得到增强,从而增强其吸收。此外,相比 GaAs 纳米线阵列太阳能电池,在外面修饰一层 AlGaAs 后, GaAs/AlGaAs 纳米线阵列太阳能电池的吸收光谱也有所增强,特别是在 700~900 nm 之间的范围内。

4. 结论

本文通过计算不同结构参量的 GaAs/AlGaAs 纳米线阵列的光吸收效率, 对 GaAs/AlGaAs 纳米线阵列太阳能电池进行了结构优化。当 GaAs/AlGaAs 纳米线的直径为 140 nm, 长度为 1.5 μm , 纳米线之间的距离为 200 nm 时, 得到了 GaAs/AlGaAs 纳米线阵列的光吸收效率最大为 81.98%, 从而使 GaAs/AlGaAs 纳米线阵列太阳能电池在太阳光谱范围内吸收效率最大。最后分析了 AlGaAs 中 Al 的组份对纳米线阵列吸收效率的影响。相比于平面 GaAs 太阳能电池, 单 GaAs 纳米线阵列太阳能电池和 GaAs/AlGaAs 纳米线阵列太阳能电池的吸收光谱都有明显增强。相比于单 GaAs 纳米线阵列太阳能电池, GaAs/AlGaAs 纳米线阵列太阳能电池在太阳光谱范围内的吸收效率有进一步增强, 研究结果可以为制备高性能的光电器件提供参考。

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] Garnett, E. and Yang, P. (2008) Silicon Nanowire Radial p-n Junction Solar Cells. *Journal of the American Chemical Society*, **28**, 9224-9225. <https://doi.org/10.1021/ja8032907>
- [2] Tang, J., Huo, Z. and Brittman, S. (2011) Solution-Processed Core-Shell Nanowires for Efficient Photovoltaic Cells. *Nature Nanotechnology*, **6**, 568-572. <https://doi.org/10.1038/nnano.2011.139>
- [3] Agrawal, M. and Peumans, P. (2008) Broadband Optical Enhancement through coherent Light Trapping in Thin-Film Photovoltaic Cells. *Optics Express*, **8**, 5385-5396. <https://doi.org/10.1364/OE.16.005385>
- [4] Piccione, B., Cho, C.H., Van Vugt, L.K., et al. (2012) All-Optical Active Switching in Individual Semiconductor Nanowires. *Nature Nanotechnology*, **7**, 640-645. <https://doi.org/10.1038/nnano.2012.144>
- [5] Ren, F.F., Xu, W.Z., Ye, J.D., et al. (2014) Second-Order Surface-Plasmon Assisted Responsivity Enhancement in Germanium Nano-Photodetectors with Bull's Eye Antennas. *Optics Express*, **22**, 15949-15956. <https://doi.org/10.1364/OE.22.015949>
- [6] Krogstrup, P., Jorgensen, H., Heiss, M., et al. (2013) Single-Nanowire Solar Cells beyond the Shockley-Queisser Limit. *Nature Photonics*, **7**, 306-310. <https://doi.org/10.1038/nphoton.2013.32>
- [7] Mokkaḡpati, S. and Jagadish, C. (2016) Review on Photonic Properties of Nanowires for Photovoltaics. *Optics Express*, **24**, 17345-17358. <https://doi.org/10.1364/OE.24.017345>
- [8] Yan, R., Gargas, D. and Yang, P. (2009) Nanowire Photonics. *Nature Photonics*, **3**, 569-576. <https://doi.org/10.1038/nphoton.2009.184>
- [9] Casadei, A., Pecora, E.F., Trevino, J., et al. (2014) Photonic-Plasmonic Coupling of GaAs Single Nanowires to Optical Nanoantennas. *Nano Letters*, **14**, 2271-2278. <https://doi.org/10.1021/nl404253x>
- [10] Tian, B., Zheng, X., Kempa, T., et al. (2007) Coaxial Silicon Nanowires as Solar Cells and Nanoelectronic Power Sources. *Nature*, **449**, 885-889. <https://doi.org/10.1038/nature06181>
- [11] Mariani, G., Scofield, A., Hung, C., et al. (2013) GaAs Nanopillar-Array Solar Cells Employing *In Situ* Surface Passivation. *Nature Communication*, **4**, 1479.
- [12] Garnett, E.C., Brongersma, M.L., Cui, Y., et al. (2011) Nanowire Solar Cells. *Annual Review of Materials Research*, **41**, 269-295. <https://doi.org/10.1146/annurev-matsci-062910-100434>
- [13] Lumerical Company, Lumerical FDTD Solution. <https://kb.lumerical.com>
- [14] <http://www.filmetrics.com/refractive-index-database>
- [15] Wen, L., Li, X.H., Zhao, Z.F., et al. (2012) Theoretical Consideration of III-V Nanowire/Si Triple Junction Solar Cells. *Nanotechnology*, **23**, 505202. <https://doi.org/10.1088/0957-4484/23/50/505202>

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: 2161-0916, 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: mp@hanspub.org

RETRACTED