

p-NiO/MQWs/n-GaN 异质结器件制备及其特性的研究*

项国姣, 高 薇, 付宏远, 周毅坚, 彭文博, 赵 洋, 王 辉

(河南科技大学 物理工程学院 河南省光电储能材料与应用重点实验室, 河南 洛阳 471023)

摘 要: 采用射频磁控溅射设备以 NiO 为空穴注入层在 MQWs/n-GaN 上制备了 p-NiO/MQWs/n-GaN 异质结发光器件。通过 X 射线衍射仪(XRD)、原子力显微镜(AFM)、紫外分光光度计(UV-2700)等测试系统对制备的 NiO 层结构、形貌及光学特性进行了测试,结果表明 NiO 薄膜具有较好的结晶质量。对 p-NiO/MQWs/n-GaN 异质结器件进行了电流-电压($I-V$)特性和电致发光(EL)特性测试。 $I-V$ 特性测试结果显示,器件具有明显的整流特性,开启电压约为 2.9 V。EL 特性测试结果显示,该器件实现了室温下的蓝紫光发射,结合 GaN 的光致发光(PL)谱和器件的能带结构图,对器件的电致发光机理进行了深入研究。

关键词: NiO;量子阱;磁控溅射;电致发光

中图分类号: TO475 **文献标志码:** A **文章编号:** 1005-488X(2020)03-0180-06

Study on the Preparation and Characterization of p-NiO/MQWs/n-GaN Heterojunction Devices

XIANG Guojiao, GAO Wei, FU Hongyuan, ZHOU Yijian, PENG Wenbo,
ZHAO Yang, WANG Hui

(Henan Key Laboratory of Photoelectric Energy Storage Materials and Applications, School of Physics and Engineering, Henan University of Science and Technology, Luoyang Henan 471023, CHN)

Abstract: The light-emitting diodes (LEDs) was fabricated, which consisted of p-NiO/MQWs/n-GaN heterostructure with NiO as a hole injection layer on MQWs/n-GaN by using Rf magnetron sputtering equipment. The structure, morphology and optical properties of the NiO layer were tested by X-ray diffraction (XRD), Atomic Force Microscope (AFM) and Ultraviolet Spectrophotometer (UV-2700), and the results showed that the NiO film had good crystalline quality. The Current-Voltage ($I-V$) and electroluminescent (EL) characteristics of p-NiO/MQWs/n-GaN heterojunction devices were tested. The $I-V$ characteristic test results showed that the device had obvious rectifier charac-

收稿日期:2020-04-13

* **基金项目:** 国家自然科学基金资助项目(61674052,11404097);河南省高等学校重点科研项目(20A140012);河南省高等学校青年骨干教师培养对象项目(2018GGJS054);河南省高校省级大学生创新创业训练计划(SRTP)项目(S201910464024);河南科技大学大学生研究训练计划(SRTP)项目(2019208);河南科技大学物理与工程学院大学生研究训练计划(SRTP)项目(WLSRTP201910)

作者简介: 项国姣(1998—),女,硕士研究生,研究方向为半导体材料与器件;(E-mail:1051517303@qq.com)
高 薇(1997—),女,硕士研究生,研究方向为半导体材料与器件;(E-mail:1964814843@qq.com)
付宏远(1998—),女,硕士研究生,研究方向为半导体材料与器件。(E-mail:958476894@qq.com)

teristics and the turn-on voltage was about 2.9 V. The test results of EL characteristics showed that the blue-violet light emission was realized at room temperature, and the electroluminescence mechanism of the device was studied by combining the photoluminescence (PL) spectrum of MQWs/GaN and the energy band structure diagram of the device.

Key words: NiO; MQWs/n-GaN; magnetron sputtering; electroluminescence

引言

GaN是一种直接宽带隙半导体材料(室温下禁带宽度约为3.4 eV)^[1],在LED和LD的研制中具有重要作用,而InGaN/GaN量子阱作为目前大部分LED的基础,更是GaN基LED器件的核心发光区域^[2]。目前多量子阱LED在蓝光波段的内量子效率可以达到90%以上^[1,3],在全色显示、太阳能电池、普通照明等领域都有着广泛的应用前景和重要的应用价值^[4-7]。2013年田燕(宁夏大学物理电器信息学院)研制出了转换效率为58.4%的InGaN/GaN量子阱高效太阳能电池^[8],2014年王宇(厦门大学物理系)制备出了InGaN/GaN多量子阱太阳能电池,使得转换率提高到0.64%^[9],2015年张连(中国科学院半导体研究所照明研发中心)通过改善结构,使得GaN基LED的外量子效率比传统结构的LED提高了10.6%^[10]。众所周知,在GaN基器件中,无论是发光器件还是太阳能电池,最主要的部分是p-n结,然而高稳定性、高电导率的p-GaN薄膜材料的制备困难阻碍了GaN材料在半导体发光器件中的广泛应用^[11-12]。因此,寻找合适的p型半导体材料与n-GaN组成异质结发光器件是解决这一问题的有效途径之一。在众多的材料中,NiO是一种宽禁带半导体材料,室温下禁带宽度约3.6 eV~4.0 eV,呈现天然的p型导电特性^[13-14],NiO特殊的3D电子结构,使其在光学和电学方面具有独特的性质,因此在电致变色、紫外光探测器、发光二极管等方面都有着非常广阔且重要的应用^[15-18]。性能优异的NiO材料与n-GaN材料结合制备成异质结器件,有利于提高器件的稳定性,同时也为相关异质结器件的制备提供了更多的可能。因此,对NiO材料的研究有助于推动半导体LED器件的发展,具有重大的科学意义和商业价值^[19]。

在NiO的制备方法中,常见的有磁控溅射、化学气相沉积、溶胶凝胶法、分子束外延法等,不同的制备方法特点不同,成本差异也较大。磁控溅射因具有低温、高速、制作成本低、可实现大面积镀膜等

优点,成为制备半导体氧化物重要的方法之一^[20]。文中采用射频磁控溅射方法制备NiO薄膜,然后将NiO作为空穴传输层,在MQWs/n-GaN上制备出了p-NiO/MQWs/n-GaN异质结器件,对器件的光学、电学特性进行测试,对其发光机理进行深入研究。

1 实验

使用JGP-300型超高真空磁控溅射镀膜设备在MQWs/n-GaN上制备NiO薄膜,实验所用靶材为纯度为99.999%的NiO靶材。实验开始前,首先将MQWs/n-GaN基片依次放入丙酮(CH₃COCH₃)、乙醇(C₂H₅OH)和去离子水中分别用超声清洗仪清洗5 min,用N₂吹干后将其安装到衬底架上,先进行5 min预溅射。正式溅射时,溅射温度为室温,功率为100 W,溅射气体为氧气和氩气(V_{O₂}:V_{Ar})=6:45 sccm),本底真空为1.5×10⁻³ Pa,压强为1 Pa,溅射时间为2 h。在制备好的样品上采用湿法腐蚀和压钢法分别在p-NiO层和n-GaN层制备Au和In电极,为了使电极和薄膜之间形成更良好的欧姆接触,将带有电极的器件放置在N₂气氛中350℃的条件下退火处理,退火时间为3 min。p-NiO/MQWs/n-GaN异质结器件的结构示意图如图1所示。

图2为MQWs/n-GaN结构示意图。其结构是在蓝宝石衬底上制备n-GaN,接着又生长一定周期

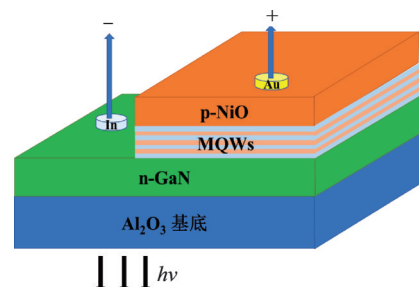


图1 p-NiO/MQWs/n-GaN异质结发光器件的结构示意图
Fig.1 Schematic of p-NiO/MQWs/n-GaN heterojunction device

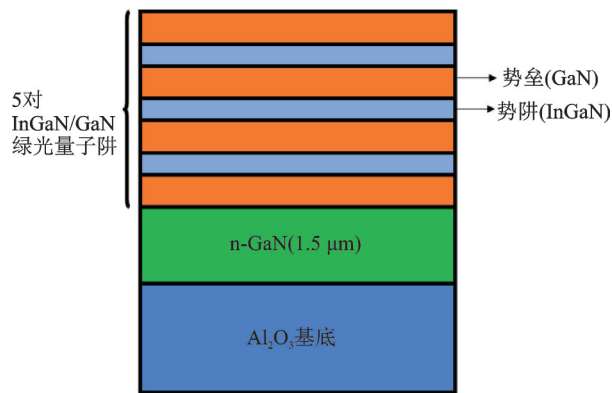


图2 MQWs/n-GaN结构示意图

Fig.2 Structural schematic of MQWs/n-GaN

的InGaN/GaN多量子阱结构。量子阱部分由5对InGaN/GaN交替循环构成,其中垒层GaN厚度为12 nm,阱层InGaN厚度为2.5 nm,InGaN阱层In组分为0.28。

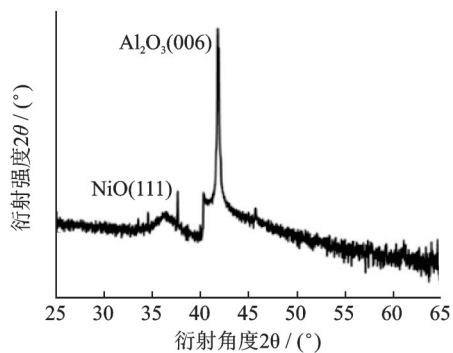
室温下,采用X射线衍射仪(XRD)、原子力显微镜(AFM)、紫外分光光度计(UVvis-2600)和电致发光(EL)等测试对NiO薄膜的晶体结构、表面形貌、电学特性、光学特性及器件的光电特性进行了测试分析。

2 结果与讨论

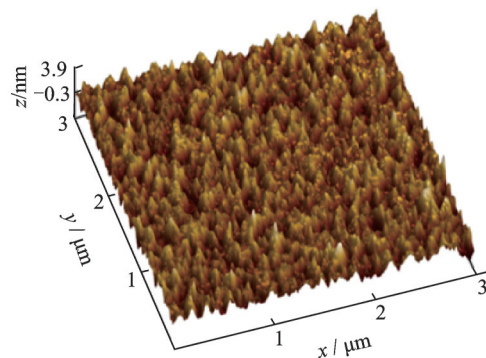
2.1 NiO薄膜的材料特性与形貌分析

图3(a)为NiO薄膜的X射线衍射图。从XRD图谱中可以看出,样品存在两个明显的衍射峰,分别为位于 $2\theta=37.263^\circ$ 附近的NiO(111)衍射峰和位于 $2\theta=41.6^\circ$ 附近的 $\text{Al}_2\text{O}_3(006)$ 衍射峰。XRD测试结果表明,NiO薄膜沿(111)方向择优生长,衍射峰半峰宽较小,这表明样品结晶质量良好。图3(b)为NiO薄膜的原子力显微镜3D表面形貌图像。可以看出,NiO薄膜表面排列均匀、紧密,晶粒体积较小,成膜质量较好。

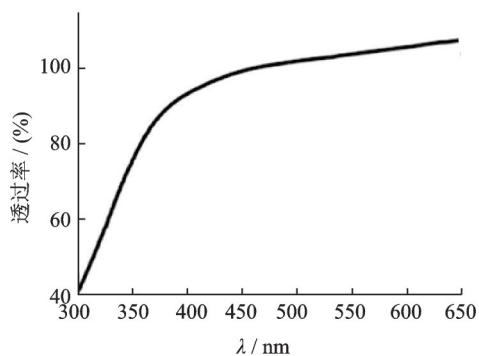
图3(c)为NiO紫外-可见光谱。从透射图谱中可见,NiO薄膜在375 nm附近的透过率大约为85%,随即在短波附近迅速下降,这表明NiO薄膜在近紫外区域具有较好的吸收特性,可运用于紫外探测领域^[21]。在400 nm~650 nm区域,NiO薄膜的平均透过率大约为90%,说明NiO在可见光区域表现出较好的透光性。图3(d)是NiO薄膜的吸收谱经线性外推法得到的 $(\alpha h\nu)^2 - h\nu$ 曲线。根据Tauc公式^[22]:



(a) NiO薄膜的X射线衍射图



(b) NiO薄膜的3D原子力显微镜扫描图像



(c) NiO薄膜透射光谱

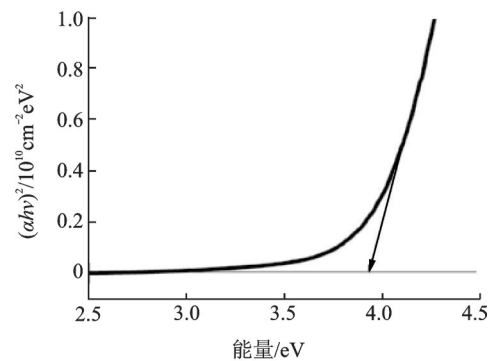
(d) NiO薄膜的 $(\alpha h\nu)^2$

图3 NiO薄膜的材料特性曲线及形貌图

Fig.3 The material characteristic curves and morphology of the NiO film

$$(\alpha hv)^2 = A(hv - E_g) \quad (1)$$

其中: α 为吸收系数, $h\nu$ 为光子能量, A 为常数, E_g 为 NiO 的光学带隙。计算得出, NiO 的光学带隙约为 3.92 eV, 该结果与文献报道 NiO 的禁带宽度 (3.6 eV~4.0 eV) 相符合^[2, 23]。

2.2 异质结器件的 I-V 特性曲线

图 4 为 p-NiO/MQWs/n-GaN 异质结器件的 I-V 特性曲线图。可见, 该器件具有明显的整流特性, 开启电压大约为 2.9 V。插图为 Au 电极与 NiO 及 In 电极与 GaN 之间表现的 I-V 特性, 良好的线性关系说明两电极与薄膜之间均具有较好的欧姆接触。因此可推断, 图 4 的 I-V 曲线所体现的良好的整流特性源于器件 p-n 结。

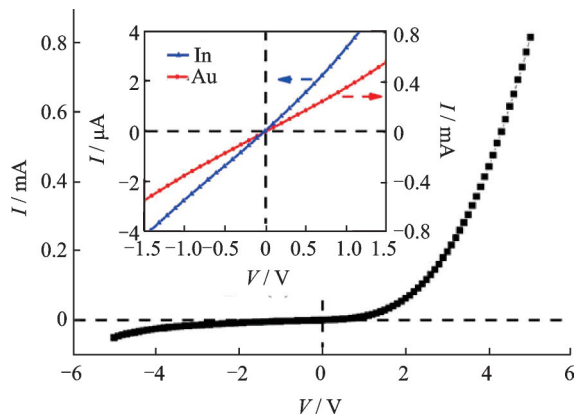


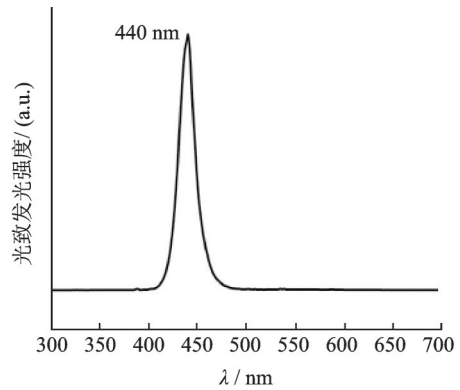
图 4 p-NiO/MQWs/n-GaN 异质结器件的 I-V 特性曲线, 插图 为两电极与材料之间的欧姆接触曲线

Fig.4 I-V characteristics of the p-NiO/MQWs/n-GaN heterojunction device, the inset displays the Ohmic contact behavior of In and Au electrodes on GaN and NiO layers

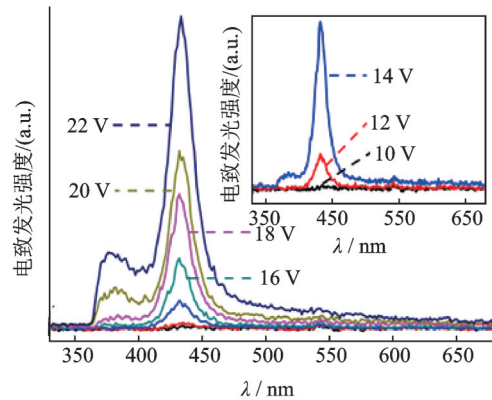
2.3 异质结器件电致发光的研究

图 5(a) 为 MQWs/n-GaN 室温光致发光 (PL) 测试谱图。从发光谱中可见, MQWs/n-GaN 发光峰位于 440 nm 左右, 半峰宽约为 30 nm, 表明 MQWs/n-GaN 结晶质量较好^[24-25]。

图 5(b) 为 p-NiO/MQWs/n-GaN 异质结器件室温电致发光 (EL) 光谱。从图中可见, 该器件有两个明显的发光峰, 分别位于 380 nm 和 435 nm, 随着外加电压的增加, 发光强度逐渐增强。插图 为电压在 10 V、12 V 和 14 V 情况下 EL 的放大谱图。从图中可看出, 在 10 V 的外加电压下, 器件没有明显的发光现象, 当外加电压增加到 12 V 时, 出现了一个极微弱的发光峰, 位于 435 nm 附近。随着正向偏压



(a) MQWs/n-GaN 的 PL 谱



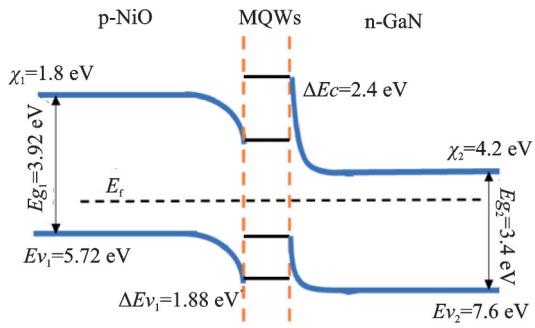
(b) p-NiO/MQWs/n-GaN 异质结器件在不同的外加电压下的 EL 谱, 插图 为电压 10 V, 12 V, 14 V 情况下的 EL 谱放大图

图 5 p-NiO/MQWs/n-GaN 异质结器件发光特性
Fig.5 The luminescence characteristics of p-NiO /MQWs/ n-GaN heterojunction devices

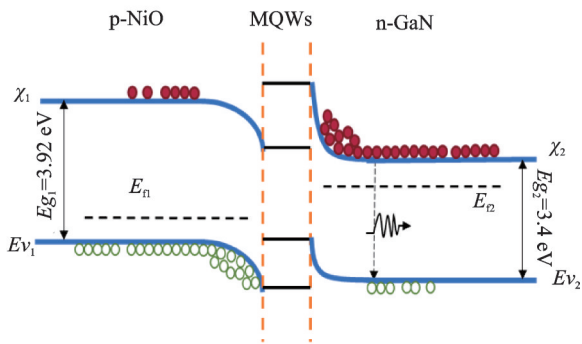
的继续增加, 435 nm 附近的发光峰强度也随之增加, 结合图 5(a) MQWs/n-GaN 的 PL 图, 可以认为, 此峰就是 MQWs/n-GaN 的发光峰。当外加电压增加到 14 V, 380 nm 附近出现一个微弱的发光峰, 且此峰随外加电压的增大而增强。据文献报道, 该发光峰是来自于 GaN 的近带边发射, 这可能是注入到量子阱中的载流子已经溢出或泄露到 GaN 层发生辐射复合释放光子而导致的^[26]。

2.4 异质结器件的能带结构示意图

为进一步研究器件中载流子的传输机理和 EL 发光机制, 采用 Anderson 能带模型绘制了平衡态下和外加偏压下器件的能带结构图, 如图 6(a)、图 6(b) 所示。由文中上述结论可知 p-NiO 的禁带宽度为 $E_{g1} = 3.92$ eV, 电子亲和势 $\chi_1 = 1.8$ eV^[27], 故其价带为 $E_{v1} = \chi_1 + E_{g1} = 5.72$ eV; 而 n-GaN 的禁带宽度 $E_{g2} = 3.4$ eV^[28], 电子亲和势 $\chi_2 = 4.2$ eV^[29], 故其价带为 $E_{v2} = E_{g2} + \chi_2 = 7.6$ eV。根据 Anderson



(a) 平衡条件下p-NiO/MQWs/n-GaN异质结器件的能带示意图



(b) 正向偏压下p-NiO/MQWs/n-GaN异质结器件的能带示意图

图6 p-NiO/MQWs/n-GaN异质结器件的能带示意图

Fig.6 Band schematic of p-NiO/MQWs/n-GaN heterojunction

定则：

$$\Delta E_c = \chi_2 - \chi_1 \quad (2)$$

$$\Delta E_v = E_{v1} - E_{v2} \quad (3)$$

求得, $\Delta E_c = 2.4 \text{ eV}$, $\Delta E_v = 1.88 \text{ eV}$ 。计算结果显示, p-NiO和n-GaN的导带差大于价带差, 这意味着在正向偏压下, p-NiO向MQWs层注入空穴的势垒小于n-GaN向MQWs注入的电子势垒, 这有助于p-NiO中的空穴向MQWs-GaN中移动, 阱中注入的电子和空穴发生辐射复合而发光, 这与实验结果相一致。

3 结 论

采用磁控溅射法在MQWs/n-GaN上制备了NiO薄膜, 并制备成p-NiO/MQWs/n-GaN异质结器件。XRD测试结果显示, 磁控溅射方法制备出了结晶质量良好的NiO薄膜。透射结果表明, NiO薄膜在近紫外区域有较好的吸收特性。对异质结器件的I-V特性测试结果表明, 该器件具有较好的整流特性, 其开启电压约为2.9V。在外加偏压大于14V时, 实现了器件的电致发光, 得到了p-NiO/MQWs/n-GaN异质结器件在波长为435nm处的量

子迸发出的可见光及在波长为380nm处的GaIn禁带边发射的紫外光。这说明p-NiO作为空穴注入层在发光器件中发挥重要作用。该结果为制备高效、稳定的GaIn基发光器件奠定了良好的基础。

参 考 文 献

- [1] 李洪斌. In组分渐变的InGaIn/GaN多量子阱结构光学特性 [D]. 济南: 山东大学, 2019.
- [2] 丁立贞. 量子阱周期数变化对InGaIn/GaN基蓝光LED结构和光学性质的影响 [D]. 广州: 华南师范大学, 2014.
- [3] Li J M, Zhang G Q. Light-emitting diodes materials, processes, devices and applications [M]. Switzerland: Springer, 2019: 610.
- [4] 郭志民. InGaIn/GaN多量子阱绿光发光二极管内量子效率研究进展 [J]. 中国照明电器, 2018(3): 6-10.
- [5] 王雪松, 冀子武, 王绘凝, 等. 关于InGaIn/GaN多量子阱结构内量子效率的研究 [J]. 物理学报, 2014(12): 127801-1-127801-7.
- [6] 肖正国, 曾雪松, 郭浩民, 等. NiO透明导电薄膜的制备及在聚合物太阳能电池中的应用 [J]. 物理学报, 2012, 61(2): 365-370.
- [7] Wang H, Zhao Y, Wu C, et al. Ultraviolet electroluminescence properties from devices based on n-ZnO/i-NiO/p-Si light-emitting diode [J]. Optics Communications, 2017, 395: 94-97.
- [8] 田 燕. 利用半导体InGaIn/GaN量子阱的高效太阳电池 [J]. 海南师范大学学报(自然科学版), 2013, 26(02): 156-160.
- [9] 王 宇, 张江勇, 余 健, 等. InGaIn/GaN多量子阱太阳电池的研制及特性研究 [J]. 半导体光电, 2014, 35(02): 206-210.
- [10] 张 连, 魏学成, 路坤焯, 等. 能带调控提高GaIn/InGaIn多量子阱蓝光LED效率研究 [J]. 中国科学: 物理学力学天文学, 2015, 45(06): 64-69.
- [11] 郑晨居. GaIn基高压发光二极管的设计和优化 [D]. 武汉: 武汉大学, 2018.
- [12] Li J J, Zhao Y, Wang H, et al. Introducing CuO films as hole transport materials to GaIn-based heterojunction led [J]. Materials Research Express, 2019(6): 125918.
- [13] 骆英民. p-NiO/n-ZnO异质结紫外光探测器的制备及其光响应特性研究 [D]. 大连: 大连理工大学, 2018.
- [14] 叶 珂. P型NiO透明导电氧化物薄膜制备及其硅基二极管的研究 [D]. 成都: 电子科技大学, 2016.
- [15] 周国川. 宽禁带NiO薄膜制备及其性质研究 [D]. 长春: 长春理工大学, 2018.
- [16] 岳芳芳, 李海增, 李克睿, 等. NiO/PB复合电致变色薄膜的制备及其性能研究 [J]. 无机材料学报, 2017, 32(9): 949-954.
- [17] Ahmed A A, Devarajan M, Afzal N. Fabrication and characterization of high performance MSM UV photodetector based on NiO film [J]. Sensors and Actuators, A. Physical, 2017, 262: 78-86.
- [18] Zhao Y, Wang H, Gong X Y, et al. Near infrared electroluminescence from p-NiO/n-InN/n-GaN light-emitting diode fabricated by PAMBE [J]. Journal of Luminescence, 2017, 186:

- 243-246.
- [19] 王 辉. NiO材料制备及其光电器件研究[D]. 长春: 吉林大学, 2013.
- [20] Amirhoseiny M, Hassan Z, NG S S, et al. Structure and optical properties of InN thin film grown on SiC by reactive rf magnetron sputtering [J]. Surface Review and Letters, 2013, 20 (1): 50008.
- [21] 张曦文. 基于n-ZnO纳米阵列/p-Si和n-ZnO纳米阵列/p-NiO结构光探测器的制备与研究[D]. 大连: 辽宁师范大学, 2017.
- [22] Al-Kahlout A, Pawlicka A, Aegerter M. Brown coloring electrochromic devices based on NiO-TiO₂ layers [J]. Sol. Energy Mater. Sol. 2006, (90): 3583-3601.
- [23] 王玉新, 臧谷丹, 陈苗苗, 等. 同衬底对NiO薄膜结构和光透过性能的影响[J]. 辽宁师范大学学报(自然科学版), 2017, 40 (4): 462-466.
- [24] Yong-Ho R, Navamathavan R, Ji-Hyeon P, et al. Coaxial In_xGa_{1-x}N/GaN multiple quantum well nanowire arrays on Si(111) substrate for high-performance light-emitting diodes [J]. American Chemical Society, 2013.
- [25] 刘 楠. NiO薄膜的制备及其光学特性的研究[D]. 长春: 长春理工大学, 2012.
- [26] 王绘凝. InGaN/GaN多量子阱的结构及其光学特性的研究[D]. 济南: 山东大学, 2014.
- [27] 赵 洋. InN薄膜的MBE法生长及其NiO组合异质结器件研究[D]. 长春: 吉林大学, 2016.
- [28] 李 锐. n-ZnO/p-GaN异质结发光二极管微观结构及光电性能的调控研究[D]. 太原: 太原理工大学, 2018.
- [29] Wang H, Zhao Y, Wu C, et al. Ultraviolet electroluminescence from n-ZnO/NiO/p-GaN light-emitting diode fabricated by MOCVD [J]. Journal of Luminescence, 2015, 158:6-10.

(上接第179页)

3 结 论

文章从远场消光特性和近场局域增强特性两个方面对立方柱形Al纳米颗粒进行研究。结果表明,随着Al纳米颗粒尺寸的增大($L/H=1\sim6$),其局域表面等离子共振峰发生红移,共振波长近似呈线性增大;同时产生了高阶模式,从而引起LSPR半峰宽增大。不同尺寸的Al纳米颗粒对应的共振峰强度极大值,随着 L/H 值的增大而先增大后减小。在 $L=50\text{ nm}$ 、 $H=25\text{ nm}$ ($L/H=2$)的尺寸下,共振峰的强度达到最大值,此时消光系数为10.26,共振波长处于紫外波段的306 nm。在此共振波长下,Al纳米表面电场强度增大约16倍。此外,当Al纳米颗粒尺寸增加到一定值时($L/H\geq 5$),会产生横向LSPR共振模式和纵向LSPR共振模式。此研究表明可以通过调控Al纳米颗粒尺寸,使其在紫外波段实现局域表面等离子共振的共振激发,为基于Al纳米颗粒的紫外局域等离子共振光电器件提供了器件设计的理论基础。

参 考 文 献

- [1] 陈 雪. Al纳米颗粒的局域表面等离子体效应及其在深紫外LED上的应用[D]. 厦门: 厦门大学, 2013.
- [2] 邵 磊, 阮琦锋, 王建方. 局域表面等离子体[J]. 物理, 2014 (05): 6-14.
- [3] 徐 娅, 边 捷, 张伟华. 局域表面等离子体纳米光学传感器的原理与进展[J]. 激光与光电子学进展, 2019, 56 (20): 101-112.
- [4] 童廉明, 徐红星. 表面等离子激元——机理、应用与展望[J]. 物理, 2012, 41(09): 582-588.
- [5] Manai L, Dridi Rezgui B, Benabderrahmane Zaghouni R, et al. Tuning of light trapping and surface plasmon resonance in silver nanoparticles/c-Si structures for solar cells[J]. Plasmonics, 2016, 11 (5): 1273-1277.
- [6] Hyungsoon Im, Bantz Kyle C, Lee Si Hoon, et al. Self-assembled plasmonic nanoring cavity arrays for SERS and LSPR biosensing[J]. Advanced Materials (Deerfield Beach, Fla.), 2013, 25(19): 2678-2685.
- [7] Knight M W, Liu L, Wang Y, et al. Aluminum plasmonic nanoantennas[J]. Nano Letters, 2012, 12(11): 6000-6004.
- [8] Chowdhury Mustafa H, Krishanu Ray, Gray Stephen K, et al. Aluminum nanoparticles as substrates for metal-enhanced fluorescence in the ultraviolet for the label-free detection of biomolecules[J]. Analytical Chemistry, 2009, 81(4): 1397-1403.
- [9] Serkan Butun, Cinel Neval A, Ekmel Ozbay. LSPR enhanced MSM UV photodetectors[J]. Nanotechnology, 2012, 23(44): 4010.
- [10] Malinin G V, Malinin V G, Malinina N A, et al. Mathematical model, the solution of boundary value problems for alloys with shape memory effect by analytical, numerical-analytical and numerical methods[J]. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, 2018, 441(1): 012031.
- [11] Tan T, Potter M. FDTD discrete planewave (FDTD-DPW) formulation for a perfectly matched source in TFSF simulations [J]. IEEE Transactions on Antennas and Propagation, 2010, 58(8): 2641-2648.
- [12] 庄一琦. 金属纳米粒子“远场”表面等离子体共振的形状和尺寸效应研究[D]. 广州: 华南理工大学, 2018.
- [13] Wang Yan, Wang Jianhua, Huang Shuheng, et al. Evaluating the effect of aminoglycosides on the interaction between bovine serum albumins by atomic force microscopy [J]. International Journal of Biological Macromolecules, 2019, 134: 28-35.
- [14] 叶 伟. Al纳米结构的FDTD模拟研究及其在紫外波段的应用[D]. 武汉: 华中科技大学, 2016.