

文章编号: 1000-7032(2010)04-0521-06

# 闪锌矿 $\text{Ga}_{1-x}\text{Al}_x\text{N}$ 电子结构和光吸收的第一性原理

李振勇<sup>1</sup>, 王 梅<sup>1, 2\*</sup>, 苏希玉<sup>1</sup>, 王亚超<sup>1</sup>, 赵 伟<sup>1</sup>

(1. 曲阜师范大学 物理工程学院, 山东 曲阜 273165;

2. 河南大学 特种功能材料教育部重点实验室, 河南 开封 475004)

**摘要:** 采用基于密度泛函理论的第一性原理平面波超软赝势法, 计算了不同浓度 Al ( $x=0, 0.125, 0.250, 0.375, 0.500$ ) 掺杂闪锌矿 GaN 体系的电子结构和光学吸收谱。结果表明: Al 掺杂导致系统的晶格常数减小, 禁带宽度增大, 吸收谱蓝移, 可以达到日盲区紫外线探测器的要求。

**关键词:** 闪锌矿; 第一性原理; 电子结构; 吸收谱

中图分类号: O471.5; O472.3

PACS: 71.15.Mb

PACC: 7115M; 7115H

文献标识码: A

## 1 引 言

GaN 是一种良好的 III-V 族化合物半导体材料, GaN 基材料的研究与应用是目前半导体研究的前沿和热点。以 GaN 为代表的宽禁带半导体材料, 是继以半导体 Si 为代表的第一代半导体材料和以 GaAs 为代表的第二代半导体材料之后, 在近 10 年迅速发展起来的新型半导体材料。因其具有禁带宽度大、热导率高、介电常数低、电子漂移饱和速度高、耐高温和抗辐射等特点被广泛地用来制作蓝光、绿光、紫外光的发光器件和光探测器件, 同时又适于制作高频、高温、高功率、抗辐射和高密度集成的电子器件<sup>[1~7]</sup>, 这使得 GaN 基材料具有广阔的应用前景。

为了改善材料的光电子特性, 掺杂是一个非常有效的手段。迄今为止, 人们已经采用了多种元素对 GaN 进行掺杂, 基于 GaN 的 AlGaIn/GaN HEMT(高电子迁移率晶体管) 器件具有输出功率大、耐高温、抗辐射等特点, 能满足下一代电子设备对微波器件在更大功率、更高频率、更小体积和更恶劣条件下工作的要求。可以广泛应用于微波和毫米波段尖端电子器件和设备, 在民用通信基站等领域有广泛的应用, 越来越受到高度重视。紫外线探测器工作在日盲区(220~280 nm)<sup>[8,9]</sup>。日盲区紫外线的截断波长要小于 280 nm<sup>[10]</sup>, 而

纯 GaN 的带隙只有 3.3 eV, 对应波长 376 nm, 因此, 有必要制备带隙更宽的 GaN 基薄膜材料。宽禁带半导体 AlGaIn 材料, 带隙宽度( $E_g$ ) 变化范围为 3.3~6.2 eV, 使得其发射波长覆盖整个可见光区及部分紫外光区。近年来, 在实验上人们对这类材料的制备、结构和光电特性进行了广泛研究, 例如, Khan 等<sup>[11]</sup> 首次报道了蓝宝石衬底上的 AlGaIn 基 HEMT, Okumura 等<sup>[12]</sup> 利用分子束外延技术(MBE) 生长不同 Al 组分闪锌矿  $\text{Ga}_{1-x}\text{Al}_x\text{N}$  薄膜并测量了该材料的晶格常数和禁带宽度, As 等<sup>[13]</sup> 采用 MBE 在 (001) 衬底上生长立方相  $\text{Ga}_{1-x}\text{Al}_x\text{N}$  异质结并研究了其电子结构和光学特性等。但对  $\text{Ga}_{1-x}\text{Al}_x\text{N}$  的研究主要集中在实验方面, 对其理论研究报道相对较少。本文采用基于密度泛函理论的第一性原理平面波赝势法计算了掺杂和非掺杂情况下 GaN 材料的电子结构和光学性质, 并与可能的实验结果做了比较。

## 2 模型和计算方法

### 2.1 模型

GaN 有纤锌矿和闪锌矿两种结构, 本文研究闪锌矿结构, 其空间群为  $F\bar{4}3m(216)$ , 晶格常数为  $a=b=c=0.450\text{ nm}$ <sup>[14]</sup>,  $\alpha=\beta=\gamma=90^\circ$ 。每个晶胞中含有 4 个 Ga 原子和 4 个 N 原子, 在体对角线的 1/4 处为 N 原子, 八个角和六个面心为 Ga

收稿日期: 2009-07-28; 修订日期: 2009-11-05

基金项目: 国家自然科学基金(10775088) 资助项目

作者简介: 李振勇(1977-), 男, 山东临沂人, 主要从事凝聚态物理的研究。

\*: 通讯联系人; E-mail: rosewmei@163.com

原子。计算采用的超晶胞模型,共包含 8 个 Ga 原子和 8 个 N 原子,对应于不同的 Al 掺杂浓度  $x$  ( $x=0, 0.125, 0.250, 0.375, 0.500$ ), Al 分别取代超晶胞中的 1 个、2 个、3 个和 4 个 Ga 原子。图 1 为一个 Al 原子取代一个 Ga 原子的超晶胞示意图。

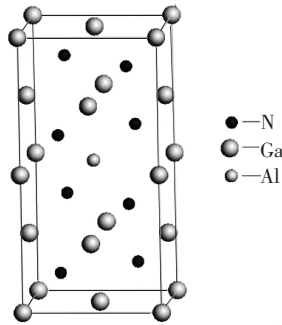


图 1 掺杂后 GaAlN 的超晶胞示意图

Fig. 1 Super-cell structure of doped GaAlN system

## 2.2 计算方法

我们利用基于密度泛函理论的第一性原理平面波赝势法(PWP)<sup>[15]</sup>进行计算。计算中,晶格常数取实验值,能量的计算在倒易空间中进行。用超软赝势来描述离子实与价电子之间的相互作用,截止能量  $E_{\text{cut}}=330$  eV,布里渊区的积分采用  $3 \times 6 \times 6$  网格,能量收敛精度为  $2 \times 10^{-5}$  eV/atom,原子间相互作用力收敛精度为  $5 \times 10^{-3}$  eV/nm。参与计算的电子态为 Ga-3d<sup>10</sup>、4s<sup>2</sup>、4p<sup>1</sup>, N-2s<sup>2</sup>、2p<sup>3</sup>, Al-3s<sup>2</sup>、3p<sup>1</sup>。

## 3 结果与讨论

### 3.1 纯 GaN 系统

首先根据总能量最小的原则对超晶胞结构进行优化,优化后的晶胞参数为 0.453 0 nm,与 Moon 等<sup>[16]</sup>的计算结果 0.452 8 nm 及实验值<sup>[17]</sup> 0.452 0 nm 符合,这表明我们所采用的计算方法是合理的。

为了与掺杂情况进行对比,我们计算了纯 GaN 系统的电子结构,图 2 为纯 GaN 的能带和态密度图,图 3 为 GaN 中 N 原子和 Ga 原子的分态密度图。可以看出,纯 GaN 为直接带隙半导体,其导带底和价带顶均位于布里渊区的 G 点。计算得到的带隙宽度  $E_{\text{g}}=1.79$  eV,与其他理论结果吻合<sup>[18]</sup>,但较实验结果( $E_{\text{es}}=3.3$  eV<sup>[19]</sup>)偏小,这是由广义梯度近似(GGA)造成的,可用剪刀近似修正<sup>[20-21]</sup>,此处的剪刀修正值  $\Delta E_{\text{g}}=E_{\text{gs}}-E_{\text{gt}}=$

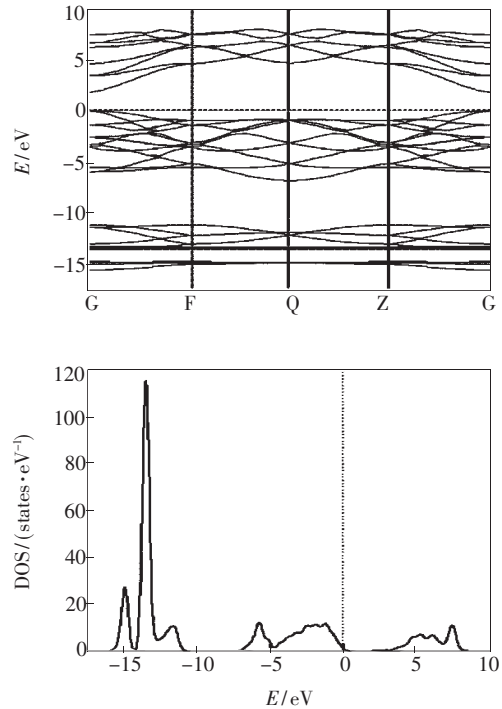


图 2 纯 GaN 系统的能带和总态密度

Fig. 2 Band structure and total density of states of pure GaN system

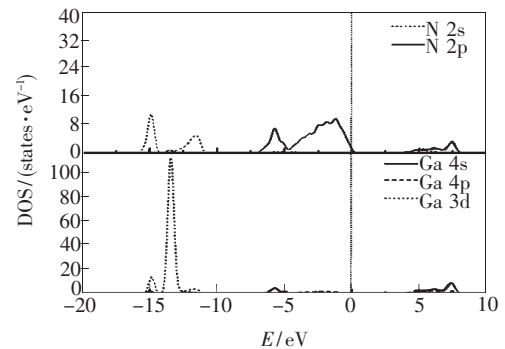


图 3 纯 GaN 系统的分态密度

Fig. 3 Partial density of states of pure GaN system

$3.3-1.79=1.51$  eV。GaN 的价带由  $-16 \sim -11$  eV 的下价带和  $-7 \sim 0$  eV 的上价带组成。下价带主要由 Ga3d 态(Ga3d 态面积占下价带面积的 81% 左右)和 N2s 态构成,其中 Ga3d 态在  $-13.4$  eV 处有一个尖锐的态密度主峰,为较强的局域态;上价带主要由 N2p 态(N2p 态面积占上价带面积的 68%)和 Ga4s 态贡献,价带顶主要由 N2p 态决定。导带部分主要由 Ga4s 态、Ga4p 态及少量 N2p 态构成,导带底主要由 Ga4s 态决定。带隙宽度主要由 N2p 态和 Ga4s 态决定。

### 3.2 $\text{Ga}_{1-x}\text{Al}_x\text{N}$ 系统

#### 3.2.1 晶格常数

掺杂  $\text{Ga}_{1-x}\text{Al}_x\text{N}$  ( $x = 0.125, 0.250, 0.375, 0.500$ ) 系统几何优化的结果示于表 1。由于  $\text{Al}^{3+}$  离子半径 (0.050 nm) 小于  $\text{Ga}^{3+}$  离子半径 (0.062 nm), 系统的晶格常数随掺杂浓度的增大而近似线性地减小, 符合 Vegard's 定律, 如图 4 所示。图中我们还给出了相应的实验结果, 从中可以看出, 理论结果与实验结果<sup>[22]</sup> 符合。

表 1 系统在不同掺杂浓度下的晶格常数

Table 1 The lattice constants of the systems with different aluminum contents

Al 含量	晶格常数 $a$ (nm)
0	0.453 0
0.125	0.450 2
0.250	0.447 2
0.375	0.444 5
0.500	0.441 2

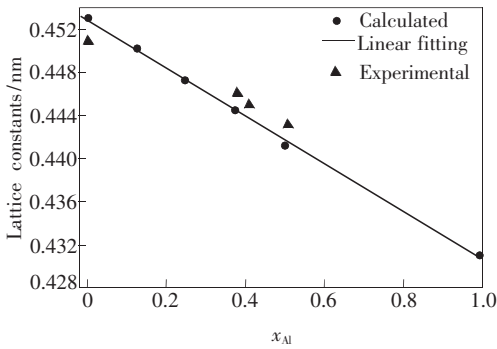


图 4  $\text{Ga}_{1-x}\text{Al}_x\text{N}$  系统的晶格常数随掺杂浓度的变化

Fig. 4 Lattice constants of  $\text{Ga}_{1-x}\text{Al}_x\text{N}$  systems as a function of Al concentrations

#### 3.2.2 禁带宽度

图 5 为  $\text{Ga}_{1-x}\text{Al}_x\text{N}$  系统的带隙随 Al 掺杂浓度  $x$  的变化关系。由图可看出, 系统的带隙值随  $x$  的增大而增大。当  $x = 0.5$  时, 理论带隙可达 3.08 eV。对于掺杂系统, 剪刀修正值可近似采用未掺杂系统的结果  $\Delta E_g = 1.51$  eV, 当  $x = 0.5$  时,  $\text{Ga}_{1-x}\text{Al}_x\text{N}$  系统的实际带隙可以达到 4.59 eV。为了进一步分析系统带隙变化的原因, 我们计算了  $\text{Ga}_{1-x}\text{Al}_x\text{N}$  系统的态密度和差分电荷密度。由图 6 可以看出, 在  $\text{Ga}_{1-x}\text{Al}_x\text{N}$  系统中, 系统的价带顶始终由 N2p 态决定, 且位置基本保持不变; 随  $x$  值的增加, Ga 所占比例的减少, 导带的态密度峰降低, 其峰值位置在 7.45 ~ 8.16 eV 范围内变化, Ga4s 态占主导地位的导带向高能方向移动, 导带底随之向高能方向移动, 因此带隙也逐渐增大。事实上, 掺杂后 Ga4s 态向高能端移动的原因可以从系统的差分电荷密度 (如图 7 所示为  $x = 0$  和  $x = 0.125$  时系统的差分电荷密度) 得到解释。由于 Al 的掺杂, N 的电子密度分布明显向 Al 位偏移,

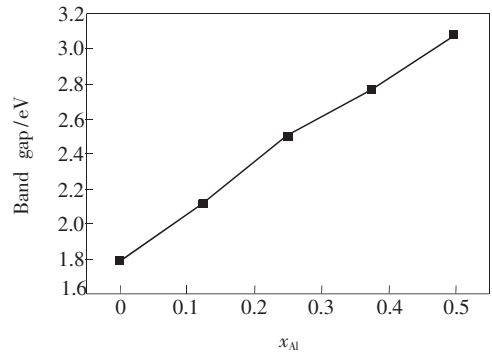


图 5  $\text{Ga}_{1-x}\text{Al}_x\text{N}$  系统的带隙随掺杂浓度的变化

Fig. 5 Band gap of  $\text{Ga}_{1-x}\text{Al}_x\text{N}$  systems as a function of Al contents

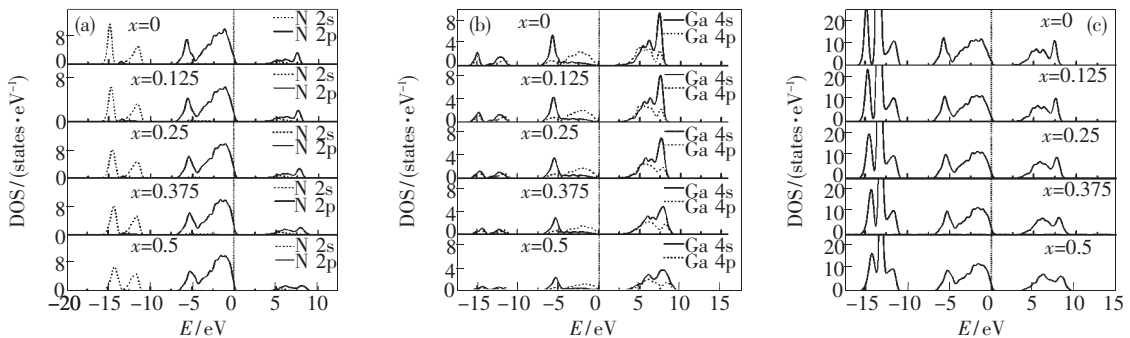
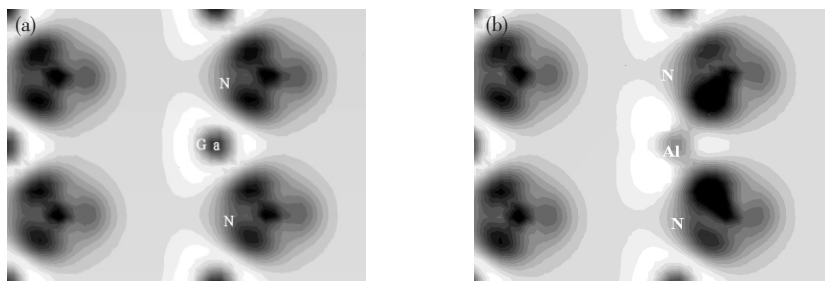


图 6 (a)  $\text{Ga}_{1-x}\text{Al}_x\text{N}$  系统中 N 的分波态密度; (b)  $\text{Ga}_{1-x}\text{Al}_x\text{N}$  系统中 Ga 的分波态密度; (c)  $\text{Ga}_{1-x}\text{Al}_x\text{N}$  系统的总态密度。  
Fig. 6 (a) Partial DOS of N for  $\text{Ga}_{1-x}\text{Al}_x\text{N}$  systems; (b) Partial DOS of Ga for  $\text{Ga}_{1-x}\text{Al}_x\text{N}$  systems; (c) Total DOS of  $\text{Ga}_{1-x}\text{Al}_x\text{N}$  systems.

图 7 GaN (a) 和  $\text{Ga}_{0.875}\text{Al}_{0.125}\text{N}$  (b) 的差分电荷密度Fig. 7 Plots of the difference charge density for GaN (a) and  $\text{Ga}_{0.875}\text{Al}_{0.125}\text{N}$  (b)

而向 Ga 位的偏移明显减少。这种电子分布的变化导致 Ga 与 N 电子云重叠程度的降低, Ga-N 键能减小, Ga-N 间的相互作用减弱, 系统的单位能量增加(由  $-100.37 \text{ keV}/\text{nm}^3$  变为  $-91.36 \text{ keV}/\text{nm}^3$ ), 从而导致 Ga4s 态向高能方向偏移, 随  $x$  的增大, Ga4s 态向高能端偏移的程度增大。

### 3.2.3 光学性质

在线性响应范围内, 固体宏观光学性质可以由介电函数  $\varepsilon(\omega) = \varepsilon_1(\omega) + i\varepsilon_2(\omega)$  或复折射  $N(\omega) = n(\omega) + iK(\omega)$  来描述, 其中  $\varepsilon_1 = n^2 - K^2$ ,  $\varepsilon_2 = 2nK$ 。根据直接跃迁概率的定义和克拉默斯-克勒尼希(Kramers-Kronig)关系可以推导出晶体介电函数虚部、实部、吸收率等<sup>[23]</sup>。

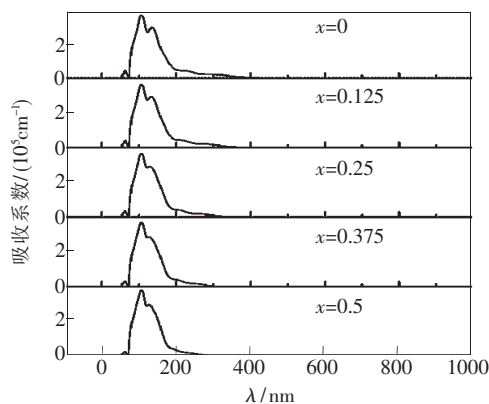
$$\varepsilon_1 = 1 + \frac{8\pi^2 e^2}{m^2} \sum_{v,c} \int_{BZ} d^3k \frac{2}{2\pi} \times \frac{|eM_{cv}(k)|^2}{E_c(k) - E_v(k)} \times \frac{\hbar^3}{[E_c(k) - E_v(k)]^2 - \hbar^2 \omega^2} \quad (1)$$

$$\varepsilon_2 = \frac{4\pi^2}{m^2 \omega^2} \sum_{v,c} \int_{BZ} d^3k \frac{2}{2\pi} |eM_{cv}(k)|^2 \times \delta[E_c(k) - E_v(k) - \hbar\omega] \quad (2)$$

$$\alpha(\omega) = \frac{\sqrt{2}\omega}{c} \{ [(\varepsilon_1^2(\omega) + \varepsilon_2^2(\omega))^{\frac{1}{2}}] - \varepsilon_1(\omega) \}^{\frac{1}{2}} \quad (3)$$

式中  $C, V$  分别表示导带和价带,  $E_c(k), E_v(k)$  分别为导带和价带上的本征能级;  $|eM_{cv}(k)|^2$  为跃迁矩阵元;  $BZ$  为第一布里渊区,  $k$  为波矢,  $\omega$  为角频率,  $\hbar$  为普朗克常数。

图 8 为  $\text{Ga}_{1-x}\text{Al}_x\text{N}$  掺杂系统的吸收谱。不难发现, 纯 GaN 的光吸收主要集中在  $50 \sim 390 \text{ nm}$

图 8  $\text{Ga}_{1-x}\text{Al}_x\text{N}$  掺杂系统的吸收谱Fig. 8 Absorption spectrum of  $\text{Ga}_{1-x}\text{Al}_x\text{N}$  systems

波段, 且在  $110 \text{ nm}$  附近的吸收最强, 峰值达到  $3.51 \times 10^5 \text{ cm}^{-1}$ , 其吸收边为  $375 \text{ nm}$ , 位置与带隙宽度对应, 对应于价带电子吸收光子跃迁至导带, 产生电子-空穴对, 计算结果与实验<sup>[24]</sup>及理论计算<sup>[25]</sup>都符合得很好。随着掺杂浓度的增大, 吸收谱呈现出以下几个特点: (1) 吸收系数明显增大。这说明将产生更多的电子-空穴对, 有助于提高 GaN 的光电性能。(2) 吸收光谱明显蓝移, 掺 Al 后系统对紫外区的光吸收增强, 这源于掺杂后系统带隙的增大。(3) 当  $x = 0.5$  时, 吸收边在  $270 \text{ nm}$  左右, 可以达到日盲区紫外线探测器的要求。

## 4 结 论

采用了密度泛函理论的超软赝势计算方法, 研究了 Al 掺杂 GaN 系统的电子结构和光学性质。结果表明: 随着 Al 掺杂浓度的增大, 系统的晶格常数逐渐减小, 禁带宽度增大, 吸收光谱蓝移, 可以达到日盲区紫外线探测器的要求。

## 参 考 文 献:

- [ 1 ] Damien J Carter , Julian D Gale , Bernard Delley , *et al.* Geometry and diameter dependence of the electronic and physical properties of GaN nanowires from first principles [J]. *Phys. Rev. B* , 2008 , **77**( 11 ) : 115349-1-42.
- [ 2 ] Li Shuti , Ouyang Chuying. First principles study of wurtzite and zinc blende GaN: a comparison of the electronic and optical properties [J]. *Phys. Lett. A* , 2005 , **336**( 2-3 ) : 145-151.
- [ 3 ] Xia Jianbai , Cheah K W. Energy bands and acceptor binding energies of GaN [J]. *Phys. Rev. B* , 1999 , **59**( 15 ) : 10119-10124.
- [ 4 ] Munise Rakel , Christoph Cobet , Norbert Esser. GaN and InN conduction-band states studied by ellipsometry [J]. *Phys. Rev. B* , 2008 , **77**( 11 ) : 115120-1-8.
- [ 5 ] Zhu Youzhang , Chen Guangde , Yuan Jinshe. Investigation on optical and micro-structural properties of  $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$  alloys grown by MOCVD [J]. *Chin. J. Lumin.* ( 发光学报 ) , 2008 , **29**( 2 ) : 318-324 ( in English ) .
- [ 6 ] Zhang Min , Yan Zhuwei. Interface effect on the impurity state in a GaN/ $\text{Ga}_{1-x}\text{Al}_x\text{N}$  quantum dot under pressure [J]. *Chin. J. Lumin.* ( 发光学报 ) , 2009 , **30**( 4 ) : 529-534 ( in Chinese ) .
- [ 7 ] Yu Tao , Li Rui , Yang Zhiwen , *et al.* Ultraviolet luminescence from Mg-doped  $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$ /GaN superlattice [J]. *Chin. J. Lumin.* ( 发光学报 ) , 2009 , **30**( 6 ) : 792-796 ( in Chinese ) .
- [ 8 ] Walker D , Kumar V , Mi K , *et al.* Solar-blind AlGaIn photodiodes with very low cutoff wavelength [J]. *Appl. Phys. Lett.* , 2000 , **76**( 4 ) : 403-405.
- [ 9 ] Collins C J , Chowdhury U , Wong M M , *et al.* Improved solar-blind detectivity using an  $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$  heterojunction p-i-n photodiode [J]. *Appl. Phys. Lett.* , 2002 , **80**( 20 ) : 3754-3756.
- [ 10 ] Zhou Xurong , Qin Zhixin , Lu Lin , *et al.* The influence of GaN/ $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$  superlattice ( SLs ) interlayer ( IL ) on the strain and threading dislocations ( TDs ) density of  $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$  grown on GaN/sapphire [J]. *Chin. J. Lumin.* ( 发光学报 ) , 2008 , **29**( 4 ) : 701-706 ( in Chinese ) .
- [ 11 ] Khan M A , Kuznia J N , Olson D T , *et al.* Microwave performance of 0.2  $\mu\text{m}$  gate AlGaIn/GaN heterostructure field effect transistor [J]. *Appl. Phys. Lett.* , 1994 , **65**( 8 ) : 1121-1123.
- [ 12 ] Okumura H , Hamaguchi H , Koizumi T , *et al.* Growth of cubic III-nitrides by gas source MBE using atomic nitrogen plasma: GaN , AlGaIn and AlN [J]. *J. Cryst. Growth* , 1998 , **189/190**( 1-2 ) : 390-394.
- [ 13 ] As D J , Frey T , Bartels M , *et al.* MBE growth of cubic  $\text{Al}_y\text{Ga}_{1-y}\text{N}$ /GaN heterostructures—structural , vibrational and optical properties [J]. *J. Cryst. Growth* , 2001 , **230**( 3-4 ) : 421-425.
- [ 14 ] Kim K , Lambrecht W R L , Segall B. Elastic constants and related properties of tetrahedrally bonded BN , AlN , GaN , and InN [J]. *Phys. Rev. B* , 1996 , **53**( 24 ) : 16310-16326.
- [ 15 ] Bi Yanjun , Guo Zhiyou , Lin Zhu , *et al.* First-principle research on ferromagnetism of ( Co , Mn ) -codoped ZnO [J]. *Chin. J. Lumin.* ( 发光学报 ) , 2008 , **29**( 6 ) : 1031-1035 ( in Chinese ) .
- [ 16 ] Moon W H , Hwang H J. Structural and thermo dynamic properties of GaN: a molecular dynamics simulation [J]. *Phys. Lett. A* , 2003 , **315**( 3-4 ) : 319-324.
- [ 17 ] Lei T , Moustakas T D , Graham R J , *et al.* Epitaxial growth and characterization of zinc blende gallium nitride on ( 001 ) silicon [J]. *J. Appl. Phys.* , 1992 , **71**( 10 ) : 4933-4943.
- [ 18 ] Guo Jianyun , Zheng Guang , He Kaihua , *et al.* First-principles study on electronic structure and optical properties of Al and Mg doped GaN [J]. *Acta Phys. Sin.* ( 物理学报 ) , 2008 , **57**( 6 ) : 3040-3046 ( in Chinese ) .
- [ 19 ] Menniger J , Jahn U , Brandt O , *et al.* Identification of optical transitions in cubic and hexagonal GaN by spatially resolved cathodoluminescence [J]. *Phys. Rev. B* , 1996 , **53**( 4 ) : 1881-1885.
- [ 20 ] Godby R W , Schlüter M , Sham L J. Accurate exchange-correlation potential for silicon and its discontinuity on addition of electron [J]. *Phys. Rev. Lett.* , 1986 , **56**( 22 ) : 2415-2418.
- [ 21 ] Tian Huifeng , Liu Bucheng. DFT description on electronic structure and optical absorption properties of anionic S-doped anatase  $\text{TiO}_2$  [J]. *J. Phys. Chem. B* , 2006 , **110**( 36 ) : 17866-17871.
- [ 22 ] Atsushi Nakadaira , Hidenao Tanaka. Metalorganic vapor-phase epitaxial growth and characterization of cubic  $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$  alloy [J]. *Jpn. J. Appl. Phys.* , 1998 , **37**( 3B ) : 1449-1452.

- [23] Shen Xuechu. *The Spectrum and Optical Property of Semiconductor* [M]. Second Edition. Beijing: Science Press, 2003, 76 (in Chinese).
- [24] Okumura H, Koizumi T, Ishida Y, *et al.* Optical characterization of cubic AlGa<sub>N</sub> epilayers by cathodoluminescence and spectroscopic ellipsometry [J]. *Phys. Stat. Sol. (b)*, 1999, **216**(1): 211-214.
- [25] Persson C, Ferreira da Silva A. Linear optical response of zinc-blende and wurtzite III-N (III = B, Al, Ga, and In) [J]. *J. Cryst. Growth*, 2007, **305**(2): 408-413.

## First-principles Study on the Electron Structure and Light Absorption of the Blende Ga<sub>1-x</sub>Al<sub>x</sub>N Systems

LI Zhen-yong<sup>1</sup>, WANG Mei<sup>1,2</sup>, SU Xi-yu<sup>1</sup>, WANG Ya-chao<sup>1</sup>, ZHAO Wei<sup>1</sup>

(1. College of Physics and Engineering, Qufu Normal University, Qufu 273165, China;

2. Key Laboratory for Special Functional Materials, Ministry of Education, Henan University, Kaifeng 475004, China)

**Abstract:** The electron structures and absorption spectra of aluminum-doped cubic GaN for different aluminum contents ( $x = 0, 0.125, 0.250, 0.375, 0.500$ ) are calculated by the first-principles ultra-soft pseudo-potential plane wave approach based upon the density functional theory. It is showed that, for the doped systems, the lattice constants reduce, the band gaps broaden, and the absorption spectra shift to the blue region. Thus, the sun blind region ultraviolet detector's requirements could be met.

**Key words:** blende GaN; first-principles; electron structure; absorption spectrum

**CLC number:** O471.5; O472.3

**PACS:** 71.15.Mb

**PACC:** 7115M; 7115H

**Document code:** A

Received date: 2009-07-28

### 《发光学报》网上在线投稿通知

由于学报发展的需要,《发光学报》网站已经建成开通,欢迎广大作者浏览我们的网页并提出宝贵意见,共同建好这个为广大作者和读者进行交流以及展示作者相关科研成果的平台。《发光学报》网页上建有网上在线投稿平台,从2006年开始,我们主要接收网上在线投稿,欢迎大家使用。如有问题,请与我们联系:

E-mail: fgxbt@126.com, Tel: (0431) 86176862 84613407

《发光学报》网址: <http://www.fgxb.org>

《发光学报》编辑部