窒化物半導体の発光機構解明と制御

Assessment and control of recombination mechanism in nitride-based semiconductors

京大院工 ○川上 養一, 船戸 充, 石井 良太

Dept. of Electronic Sci. and Eng., Kyoto Univ., °Yoichi Kawakami, Mitsuru Funato and Ryota Ishii

E-mail:kawakami@kuee.kyoto-u.ac.jp

窒化物半導体は, AlN, GaN および InN からなる半導体であり, (Al, Ga, In) N と表記される材料群である. このうち, InN と GaN の三元混晶である InGa_xN は可視全域を, AlN と GaN の三元混晶である AlGa_xN は, 紫外から深紫外までをカバーするバンドギャップエンジニアリング可能な半導体として, 極めて有用であるが, In リッチの InGa_xN および Al リッチの AlGa_xN の物性制御は未だ困難な状況にある. 最近数回のシンポジウムでは[1-3], In リッチ InGa_xN について発表してきたが, 本シンポジウムでは, Al リッチ AlGa_xN の発光機構解明と制御に向けた取り組みについて報告する.

AlN では, 結晶場分裂エネルギーが負であり(約-220meV), 価電子帯トップのバンドが CH バンドとなることが知られている. その結果として, 発光は[0001]方向に沿って偏光するため, [0001]方向に光を取り出すことが困難となる. 一方, GaN の価電子帯トップは HH バンドであるから, 発光は[0001]垂直に偏光し, [0001]方向へと光は伝播する. AlGa_xN 混晶では, ある Al 組成において偏光方向が[0001]垂直から平行にスイッチする[4, 5]. さらに, (0001)面上 AlGa_xN/AlN には, [0001]垂直方向に自発分極およびピエゾ分極が発生するため, AlGa_xN 中の電子と正孔が空間的に分離され発光遷移確率が低下してしまう. これらのことは, 高 Al 組成の発光素子を従来の(0001)面上に作製しても, 発光が得られにくいことを示唆している. 最近, 非極性面が注目されている[6-8]一因は上記を解決できる可能性からであるが, 非極性面では, 有効質量や光学選択側の面内異方性によって, レーザ発振の低閾キャリア密度化が期待できることも理論予測[8]されている.

そこで, 本シンポジウムでは, 有機金属気相成長法による極性および非極性 AlGa_xN 量子井戸構造の高品質化について述べたのちに, 発光ダイナミクスや偏光スイッチングの実験結果を示し, 独自にバルク GaN およびバルク AlN の歪印加光学測定の実験解析[9, 10]から導出した変形ポテンシャルを用いた物性予測がどこまで妥当性を示しているかについて議論する予定である.

- [1] 第 59 回応用物理学関係連合講演会 (2012 年早稲田大学), シンポジウム: 窒化物半導体における特異構造の理解と制御, 「近接場分光による局在・輻射・非輻射再結合ダイナミクスの評価」, 川上, 金田, 船戸 15p-F11-9
- [2] 第 60 回応用物理学関係連合講演会 (2013 年神奈川工科大), シンポジウム: ナノ光励起における揺らぎと動的相互作用がもたらす光・物質・情報の共創, 「ナノ光励起による窒化物半導体の発光機構解明と制御へのアプローチ」, 川上, 船戸, 金田, 27p-A4-1
- [3] 第 61 回応用物理学関係連合講演会 (2014 年青山学院大), シンポジウム: 窒化物半導体特異構造の科学~成長・作製と新機能の発現~「近接場分光法による窒化物半導体の再結合機構解明」, 川上, 船戸, 金田, 19p-E13-8
- [4] “Optical anisotropy in [0001]-oriented Al_xGa_{1-x}N/AlN quantum wells (x > 0.69)”, R. G. Banal, M. Funato, Y. Kawakami, Phys. Rev. B **79**, 121308, (2009).
- [5] “Optical Gain Characteristics in Al-rich AlGa_xN/AlN Quantum Wells”, T. Oto, R. G. Banal, M. Funato and Y. Kawakami, Appl. Phys. Lett. **104**, 181102, (2014).
- [6] “Strong optical polarization in nonpolar (1-100) Al_xGa_{1-x}N/AlN quantum wells”, M. Funato, K. Matsuda, R. G. Banal, R. Ishii, Y. Kawakami, Phys. Rev. B **87**, 041306, (2013).
- [7] “High quality semipolar (1-102) AlGa_xN/AlN quantum wells with remarkably enhanced optical transition probabilities”, S. Ichikawa, Y. Iwata, M. Funato, S. Nagata and Y. Kawakami, Appl. Phys. Lett. in press (2014).
- [8] “Impact of nonpolar AlGa_xN quantum wells on deep ultraviolet laser diodes”, K. Kojima, A. A. Yamaguchi, M. Funato, Y. Kawakami, S. Noda, J. Appl. Phys. **110**, 043115, (2011).
- [9] “All deformation potentials in GaN determined by reflectance spectroscopy under uniaxial stress: Definite breakdown of the quasicubic approximation”, R. Ishii, A. Kaneta, M. Funato, Y. Kawakami, A. A. Yamaguchi, Phys. Rev. B **81**, 155202, (2010).
- [10] “Complete set of deformation potentials for AlN determined by reflectance spectroscopy under uniaxial stress”, R. Ishii, A. Kaneta, M. Funato, Y. Kawakami, Phys. Rev. B **87**, 235201, (2013).