

極低窒素濃度化合物半導体混晶における アイソエレクトロニックトラップによる発光に関する研究

Photoluminescence from Isoelectronic Traps in Dilute Nitride Semiconductor Alloys

矢口裕之*, 青木貴嗣*

Hiroyuki YAGUCHI and Takashi AOKI

We have studied the photoluminescence from isoelectronic traps in dilute GaAsN alloys. A number of sharp luminescence peaks due to nitrogen pairs and their phonon replicas were observed. The energy differences between the luminescence peaks and phonon replicas were 36 meV, which is in agreement with the energy of the longitudinal optical phonon at the Γ point. This indicates that the formation of isoelectronic traps is largely affected by the conduction band state at the Γ point in dilute GaAsN alloys. We have also investigated the temperature dependence of the photoluminescence related to isoelectronic traps. The energy shift of the luminescence peaks with increasing temperature is found to be almost the same as that of E_0 gap of GaAs, also showing that the conduction band state at the Γ point significantly contributes to the formation of isoelectronic traps in dilute GaAsN alloys.

Keywords: isoelectronic trap, dilute nitride semiconductor alloy, photoluminescence, GaAsN

1. 研究の背景及び目的

GaP への窒素原子の添加によって形成されるアイソエレクトロニックトラップ¹⁾は電気陰性度の大きい窒素原子への電子の局在をもたらすことから、本来は間接遷移型半導体であるGaP の発光効率を大きく向上させる。この発光効率の向上のために、現在広く用いられている緑色発光ダイオードが実現している。アイソエレクトロニックトラップによる発光では鋭い発光線が見られることが特徴である。一方、GaP だけでなく、GaAs への窒素原子の添加によっても鋭い発光線が見られるようなアイソエレクトロニックトラップが形成されることが報告されている²⁾。アイソエ

レクトロニックトラップにおいては窒素原子あるいは窒素原子対が電子を束縛するのに十分な閉じ込めポテンシャルを形成するために、原子あるいは原子対そのものが一種の量子ドット構造になっていると考えることができる。我々は、この点に着目して、窒素原子および窒素原子対を基本的な単位構造とした半導体量子ナノ構造を作製し、特異な光物性を発現させ、物理的解明を行うことを目的として研究を進めている。最終的には、量子情報技術において重要な役割を果たすことが期待されている単一光子発生を制御するような新規素子の作製を行うことを目標としている。このような研究背景において、極低窒素濃度化合物半導体混晶におけるアイソエレクトロニックトラップによる発光に関する研究成果の一部である、極低窒素濃度GaAsN混晶についての研究結果について報告する。

2. 実験

本研究で用いた極低窒素濃度 GaAsN 混晶は有機金属気相

*埼玉大学 工学部 電気電子システム工学科

Department of Electrical and Electronic Systems,
Faculty of Engineering, Saitama University,
255 Shimo-Okubo, Sakura-ku, Saitama, Saitama, 338-8570,
Japan

エビタキシー法によって作製した³⁾。アイソエレクトロニックトラップによる発光特性を明らかにするために、主に顕微フォトルミネッセンス(PL)を用いて測定を行った。励起光源としてHe-Neレーザー($\lambda = 632.8$ nm)を用いた。測定は4.2 Kで行い、温度依存性を調べる際には70 Kまで温度を上昇させた。

3. 結果及び考察

窒素濃度0.099%のGaAsN混晶の4.2 Kにおける顕微PLスペクトルをFig. 1に示す。

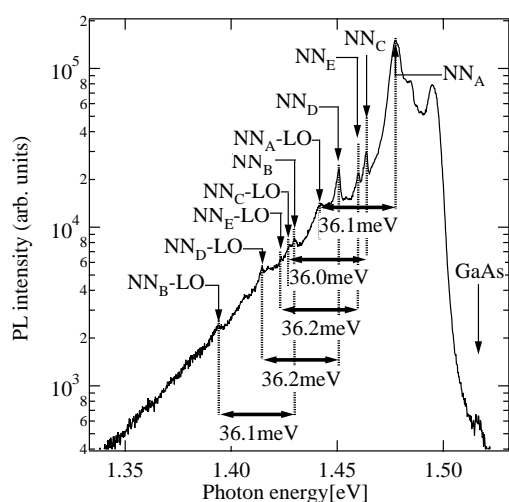


Fig. 1 Micro photoluminescence spectrum of $\text{GaAs}_{1-x}\text{N}_x$ ($x=0.099\%$).

窒素の形成する準位による鋭い発光がいくつか見られる。いずれもGaAsからの発光よりも低エネルギー側にある。このことから窒素の形成する準位はGaAsのバンドギャップ内にあり、アイソエレクトロニックトラップとなっていることがわかる。Fig. 1に示すアイソエレクトロニックトラップによる発光のエネルギーはSaito等²⁾によって報告されている窒素対の形成するアイソエレクトロニックトラップによる発光エネルギーとよく一致している。図中に示した $\text{NN}_A, \text{NN}_B, \dots$ というラベルはSaito等²⁾によるものに合わせである。窒素対によって形成されるアイソエレクトロニックトラップは、窒素原子間距離に応じて束縛エネルギーが異なるため、発光エネルギーも異なってくる。PLスペクトルを注意深く見ると、 $\text{NN}_A, \text{NN}_B, \dots$ といった発光ピークとともなって、その低エネルギー側にほぼ同じだけのエネルギー差の位置に発光ピークが必ず存在することがわかる。こ

のエネルギー差は図中に示したとおり 36.1 ± 0.1 meVであり、GaAsの Γ 点における縦光学(LO)フォノンのエネルギー⁴⁾と一致する。このことから $\text{NN}_A, \text{NN}_B, \dots$ にともなって低エネルギー側に見られる発光ピークはフォノンレプリカによるものであることがわかる。また、 Γ 点におけるLOフォノンのエネルギーに一致することからアイソエレクトロニックトラップの形成には Γ 点における伝導帯の電子状態が大きく関与していることがわかる。また、アイソエレクトロニックトラップによる発光ピークエネルギーの温度依存性を調べた結果、温度変化にともなうシフトはGaAsの E_0 ギャップの温度依存性とほぼ同じであった。このことから Γ 点における伝導帯の電子状態が極低窒素濃度GaAsN混晶におけるアイソエレクトロニックトラップの形成に関係していることがわかる。

4. まとめ

極低窒素濃度GaAsN混晶のPLスペクトルにおいて、アイソエレクトロニックトラップによる発光ピークとともに、 Γ 点におけるLOフォノンが関与するフォノンレプリカが見られた。またアイソエレクトロニックからの発光ピークの温度変化によるシフトはGaAsの E_0 ギャップの温度依存性とほぼ一致した。これらのことはアイソエレクトロニックトラップの形成に Γ 点における伝導帯の電子状態が大きく関与していることを示している。

謝辞

本研究の一部は、平成16年度埼玉大学工学部教員研究費補助経費によって実施した。ここに謝意を表す。

参考文献

- 1) Thomas D. G and Hopfield J. J., Phys. Rev. **150**, 680 (1966).
- 2) Saito H., Makimoto T., Kobayashi N., J. Crystal Growth **170**, 372 (1997).
- 3) Onabe K., Aoki D., Wu J., Yaguchi H., and Shiraki Y., Phys. Stat. Sol. (a), **176**, 231 (1999).
- 4) Strauch D. and Dorner B., J. Phys. Condens. Matter **2**, 1457 (1990).