

## InN の近赤外領域における光吸収

足達摩維<sup>A</sup>、淀徳男<sup>B</sup>、中田博保<sup>A</sup>

<sup>A</sup>大阪教育大学教養学科

<sup>B</sup>大阪工業大学工学部電子情報通信工学科

### Optical absorption of InN in near infra-red

M.Adachi<sup>A</sup>, T.Yodo<sup>B</sup> and H.Nakata<sup>A</sup>

<sup>A</sup>Department of Arts and Sciences, Osaka Kyoiku University

<sup>B</sup>Electronics, Information and Communication Engineering, Osaka Institute of Technology

We observed near infra-red absorption of InN layer on Si at 300K. The energy gap of InN is estimated to be 0.67eV from its root square dependence on photon energy. Several structures in absorption spectrum may be due to impurities or defects.

#### 1、はじめに

GaNを中心としたⅢ族窒化物系半導体ファミリーは、InN禁制帯幅がおよそ0.7eVと従来報告値よりきわめて小さいことが報告されて以来、深紫外から近赤外まで、きわめて広い波長範囲をカバーできる材料系として期待されている。[1]

そのⅢ族窒化物半導体の一つであるInNは電子移動度が大きいため、HEMT(High Electron Mobility Transistor)用材料として興味を持たれてきた。また、InGaN三元混晶の組織制御材料として、GaN/InGaN系発光ダイオードの発光波長制御のための重要な構成材料としても使われてきた。

しかし、InNは結晶成長が難しく、高品質かつ高純度の結晶がなかなか得られなかったことから、低純度の多結晶試料を用いた物性評価が一般的であった。

そのため、エネルギーバンドギャップのような極めて基礎的な物性を含め、物性評価が遅れていた。

InN のバンドギャップエネルギーは、長い

間約1.9eV と多くの研究者の間で議論されてきたが、2001～2002年ころに、0.7eV程度と、それまでに測定されてきた値とは大きく異なる値が報告された。

現段階で報告されている物性評価として、吉川らは、バンドギャップエネルギーは室温で0.63eV、低温で0.67eVであることを明らかにした。[2]

本研究では、すでに報告されているバンドギャップエネルギーを含め物性の評価を行っていくことで、未だ明らかにされていない物性の評価を明らかにすることを目的とする。

#### 2、試料と実験方法

本研究で用いた試料は、Si薄膜上にInNを成長させたものである。

InNのバンドギャップエネルギーは赤外範囲にあるため、検出器としては赤外範囲の吸収を測定できるInAsを使用した。

光源をハロゲンランプとしたときの光起電

力曲線は図1のようになる。

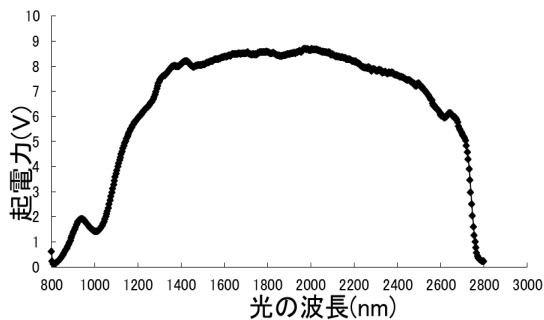


図1：InN検出器の感度曲線

以上の結果から、測定は波長が1300nm～2600nmの範囲で行った。吸収の測定は、ハロゲンランプの光を試料に照射した後、分光してInAs検出器で検出するという方法で行った。この時、必要でない光が入射する可能性があるため、波長1300nm以下の光を遮断する短波長カットフィルターと10%のNDフィルターを光源と試料の間に挿入した。

### 3、実験結果と考察

InNは直接遷移型半導体なので、吸収係数 $\alpha$ は、光のエネルギーを $h\nu$ 、バンドギャップを $E_g$ 、 $A$ を定数として、以下の式で求められる。

$$\alpha = A\sqrt{h\nu - E_g} \quad (1)$$

また、吸収係数 $\alpha$ で厚さが $d$ の媒質を通過する光の強度 $I$ は、入射光強度 $I_0$ として、

$$I = I_0 e^{-\alpha d} \quad (2)$$

よって、

$$\alpha = -\frac{1}{d} \ln \frac{I}{I_0} \quad (3)$$

となる。

ただし、今回使用した試料は膜厚が分から

ないため、

$$\alpha d = -\ln \frac{I}{I_0} \quad (4)$$

(3)式ではなく、(4)式を利用した。

以上より、検出した結果から $\alpha^2$ とエネルギーの関係をグラフに表すと、図2のような結果が得られ、エネルギー0.7～0.9eVの部分を拡大すると、図3のような結果となった。

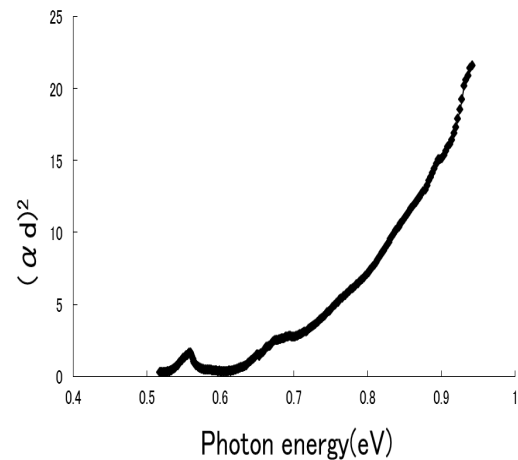


図2：吸収係数 $(\alpha d)^2$ の光エネルギー依存性

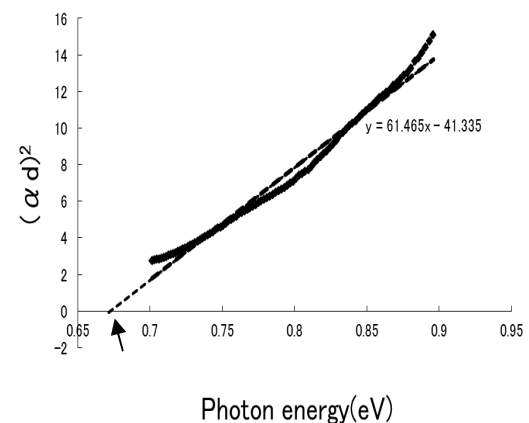


図3：吸収係数 $(\alpha d)^2$ の光エネルギー依存性 (エネルギー：0.7～0.9eVの範囲)

上の図より近似曲線と横軸の交点を計算するとおよそ0.67eVとなる。

$(\alpha d)^2$ のグラフは直線的なグラフにならず、

曲線的なグラフとなっている。

この原因を探るため、まず初めに光量の制限を行った。というのも、必要でない光がサンプルに照射されると、余計な電子の励起が生じて、本来電子を励起する波長の光が照射されたときに、その励起を妨げることになるからである。

光量を制限して実験を再度行った結果が図2や図3である。

結果を分析すると、所々に微小ながらもピークがみられた。それぞれのピークは何が原因なのかを調べるために、干渉の実験と反射の実験を行った。

干渉、または反射による影響が、実験結果に悪影響を及ぼしていると考え、サンプルに照射する光の角度を変化させることによって、これらの影響があるかどうかを分析した。

まず、干渉の実験を行ったところ、図4のような結果となった。

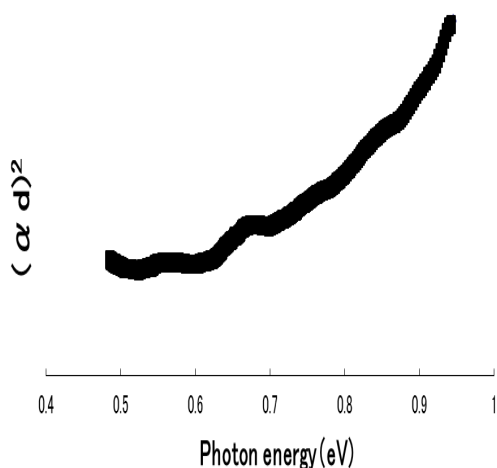


図4：吸収係数 $(\alpha d)^2$ の光エネルギー依存性

上の結果はサンプルを垂直においた時と、少し傾けている時とを比較した結果だが、サンプルを傾けることによって変化は現れず、垂直に置いた時とグラフはちょうど重なりあった。干渉が原因であれば、ピーク

の位置に変化が現れるはずなので、干渉が原因ではないと考えられる。

次に反射の実験を行った。

反射率が大きければ反射の影響とも考えられたのだが、反射の実験を行った結果、反射率は10%以下となった。結果は図5のとおりである。

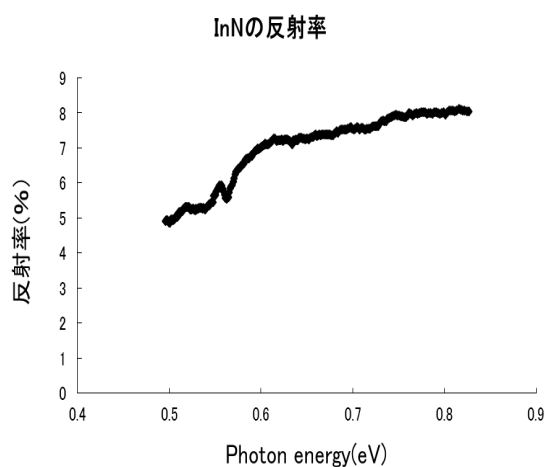


図5：InNの反射率

10%以下であれば、今の段階では気にしなくても良いほどの効果なので、以上より、今回は反射の影響はほとんど吸収の測定結果に与えていないものとして考えた。

以上の結果から、 $(\alpha d)$ の2乗とエネルギーの依存の関係において、干渉と反射は影響を及ぼさないことが分かった。

他の原因として考えられるのは、他の研究者の間でも議論されていることだが、InN 欠陥準位や残留電子密度、バンド構造によるものである。残留ドナーの起源として、酸素や水素などの可能性もあるが、高エネルギー粒子照射により、結晶中に生成された欠陥準位の検討からInNの固有欠陥が主なドナーになっていることが示されている。<sup>[6]</sup>

他の研究者による実験で明らかとなってい

るが、実際に自分で実験や分析などを行うことによって明らかにはできていないので、今後の課題にしていきたい。

また、図2でバンドギャップ付近に見られるピークがある。

ここで、InNの電子の有効質量は  $m^*=0.11m_0$ 、比誘電率  $\epsilon=15.3$  であり、ドナーのイオン化エネルギーは

$$E_n = 13.6 \times \frac{1}{\epsilon r^2} \times \frac{m^*}{m_0} \times \frac{1}{n^2} \text{ (eV)} \quad (4)$$

で求められるので、 $n=1$ の場合で値をそれぞれ代入すると、 $\Delta E=6.39\text{meV}$ となる。

この値とバンドギャップの値  $0.67\text{eV}$  から差し引くと、 $0.664\text{eV}$  となり、この値が価電子帯とドナー準位間のエネルギーだといえる。よって、図4のバンドギャップ付近に見られるピークは、ドナー準位によるものだとはいえる。

そして、図2の photon energy が  $0.6\text{eV}$  よりも小さいところにもピークが見られる。

これは、アクセプター準位ではないかと考えられ、 $0.8\sim 0.9\text{eV}$  付近に見られるブロードなピークに関しては結晶の欠陥によるものではないかと考えている。

#### 4、まとめ

サンプルに照射する光を可能な限り少なくすることで、必要としていない波長の光をサンプルに照射することを防ぐことができた。それにより、InNのバンドギャップの値が  $0.67\text{eV}$  と求めることができた。

ただし、この値は吉川らが分析した値の室温で  $0.63\text{eV}$ 、低温で  $0.67\text{eV}$  と比較すると、低温の時の値となっている。<sup>[2]</sup>

また、グラフの形状が直線的ではなく、曲線的になる原因も明らかになっていない。欠陥準位などバンド構造に原因があると考

えられが、これらのことについては今後、温度変化による値の変化などから、原因に追及していく。

#### 参考文献

- [1] A.Yosikawa, S.Chie, S.Wan “応用物理” 482-487 (2007)
- [2] A.Yosikawa, “戦力的創造研究推進事業” 642-687 (2008)
- [3] A.Kasic, M.Schubert, Y.Saito, Y.Nanishi and G.Wagner “Effective electron mass and phonon modes in n-type hexagonal InN” Rhys.Rev.B65 115206 (2002).
- [4] T.Inudhima, V.V.Mamutin, V.A.Vekshin, S.V.Ivanov, T.Sakon, M.Motokawa and S.Ohoya : J.Cryst.Growth 227/228, 481 (2001).
- [5] V.Yu.Davydov, A.A.Klochikhin, R.P.Seisyan, V.V.Emtsev, S.V.Ivanov, F.Beechstedt, J.Furthmuller, H.Harima, A.V.Mudryi, J.Aderhold, O.Semchinova and J.Graul : Phys.Status Solidi b 229 (2002).
- [6] S.X.Li, K.M.Yu, J.Wu, R.E.Jones, W.Walukiewicz, J.W.Ager, WShan, E.E.Haller, H.Lu and W.J.Schaff : Phys.Rev.B 71 161201 (2005).