

## 硬 X 線光電子分光による無極性窒化ガリウム/電極界面の解析 HX-PES analysis on interfaces between non-polar GaN layers and electrodes

京野孝史, 足立真寛, 徳山慎司, 齋藤吉広, 飯原順次, 山口浩司

Takashi Kyono, Masahiro Adachi, Shinji Tokuyama, Yoshihiro Saito, Junji Iihara, Koji Yamaguchi

住友電気工業(株)

Sumitomo Electric Industries, LTD

無極性 m 面窒化ガリウム(GaN)は、可視長波長領域における高輝度発光素子向けに開発が活発化する一方、従来の c 面 GaN に比べて駆動電圧が高い課題がある。これは m 面上の方が p-GaN と電極との接触抵抗が高いためである。我々は、このメカニズムを明確にするために、c 面および m 面 GaN 基板上に作製した p-GaN 薄膜と電極の界面を硬 X 線光電子分光(HX-PES)によって解析した。その結果、電極として用いた Ni/Au の合金化の挙動が面方位によって異なることが判明した。

**キーワード：** GaN、無極性、m 面、Ni/Au、硬 X 線光電子分光

### 背景と研究目的：

近年、TV やプロジェクタへの応用に向けて半導体緑色レーザの開発が活発化しており、従来の c 面窒化ガリウム(GaN : Gallium Nitride)から 90 度傾いた m 面 GaN がそのキーマテリアルとして注目されている[1][2]。c 面上では極性によって緑色領域での発光効率が低下したり電流の印加に伴い波長が短波長化したりする問題があるのに対し、m 面上では結晶成長方向に関して無極性であるからである。これによって緑色レーザが実現されれば、光の 3 原色(赤、緑、青)をすべて小型化・低消費電力化に有利な半導体でカバーできることになり、産業的に非常に大きな波及効果をもたらすものと期待できる。しかし、m 面上では p-GaN と電極との接触抵抗が高いことに起因して、駆動電圧が増大するという問題がある。理由として、ダングリングボンド、結晶表面の不純物濃度、表面酸化皮膜などの面方位による違いが考えられるが、詳細な原因は解明されていない。今回、そのメカニズムを明らかにするために、硬 X 線光電子分光(HX-PES : Hard X-ray PhotoElectron Spectroscopy)によって p-GaN/電極界面の状態の面方位依存性を調査した。

### 実験：

Fig.1 にサンプル構造を示す。c 面 GaN 基板および m 面 GaN 基板の上に有機金属気相成長法によって n-GaN:Si と p-GaN:Mg の薄膜を成長した。続いて、真空蒸着によって Ni/Au 電極を形成し、オーミック接触を得るために酸素雰囲気中で合金化アニールを実施した。酸素雰囲気中で行う理

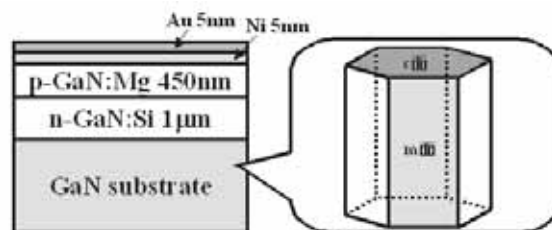


Fig.1 : サンプル構造。

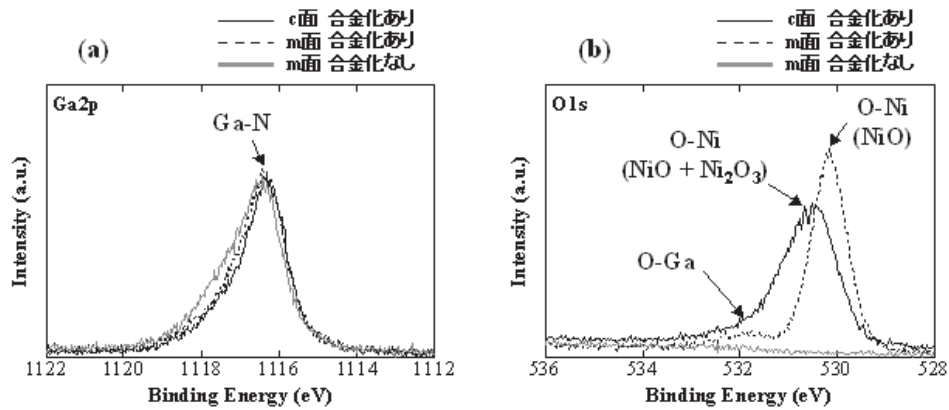


Fig.2 : (a)Ga2p<sub>3/2</sub> と(b)O1s の光電子スペクトル。

由は、Ni を酸化させるためである。Ni が酸化する過程で Au と配置が入れ替わり、仕事関数の大きな Au と p-GaN との接触が低い抵抗を提供すると報告されている[3]。合金化アニール前後の変化を追うために、HX-PES 測定にはアニールを施していないサンプルも供した。HX-PES 測定は BL46XU にて実施した。励起 X 線エネルギーは 7.9 keV、取り出し角は 80° とした。

#### 結果および考察：

Fig.2 に、(a)Ga2p<sub>3/2</sub> と(b)O1s の光電子スペクトルを示す。まず、(a)Ga2p<sub>3/2</sub> に注目すると、c 面上と m 面上とでピークエネルギーはほぼ同じであった。これは、p-GaN 中の有効キャリア濃度がほぼ同等であることを意味しており、Mg の活性化は面方位に大きく依存しないことが分かった。すなわち、接触抵抗の差異の起源は p-GaN/電極界面にあると考えて良い。次に、合金化有無のスペクトルを比較すると、合金化によって高エネルギー側のサブピークの強度が減少していることが分かる。この変化はオーミック接触に近づく過程を反映しているはずであり、起源としては(1)Ga の酸化物と(2)p-GaN のバンド曲がりの 2 点が考えられた。

これらを切り分けるために、(b)O1s のスペクトルを比較した。酸素雰囲気中での合金化アニールによって、O-Ga と O-Ni の両方の信号強度が増加していた。これより、前出の Ga2p<sub>3/2</sub> のサブピークは(1)Ga の酸化物ではなく、(2)p-GaN のバンド曲がりに起因していると考えられる。これは、齋藤ら[4]の解析と一致している。もう一点着目すべき結果として、c 面上と m 面上とで O-Ni のエネルギーに差があることが挙げられる。これは、面方位によって Ni/Au の合金化の挙動が異なることを示唆しており、これが例えば Au と p-GaN との接触面積の差異という形で接触抵抗の違いにつながっている可能性がある。以上より、Ni/Au の形成方法や合金化条件に接触抵抗改善のポイントがあるという結論が得られた。この結果を受け、今後 Ni/Au の組織観察なども進める予定である。

#### 今後の課題：

バンド曲がりは接触抵抗と密接に関連しているはずであるが、その全体像を把握するためには光電子スペクトルの取り出し角依存性を検討する必要がある。

#### 参考文献：

- [1] K. Okamoto et. al., Appl. Phys. Lett., 94, 071105 (2009).
- [2] Y. Tsuda et. al., Appl. Phys. Express, 1 011104 (2008).
- [3] D. Qiao et. al., J. Appl. Phys., 88, 4196 (2000).
- [4] 齋藤 他, SPring-8 産業利用報告会 2005B0807.