

課題番号 : F-16-GA-0022  
利用形態 : 技術代行  
利用課題名(日本語) : GaN 系半導体の電気特性の評価に関する研究  
Program Title (English) : Evaluation of electrical characteristics of GaN-based semiconductors  
利用者名(日本語) : 横川俊哉  
Username (English) : T. Yokogawa  
所属名(日本語) : 山口大学工学部  
Affiliation (English) : Faculty of Engineering, Yamaguchi University

## 1. 概要(Summary)

窒化物系半導体を用いたパワーデバイスや高出力 LED の開発が活発に行われている。このデバイスの大電流動作では多くの発熱を伴うため、効率的な熱放散が必要とされる。カーボンナノチューブ(CNT)は極めて高い熱伝導率と電気伝導率を持ち、電極や配線材料として期待される。例えば金は熱伝導率が  $320\text{W/m}\cdot\text{K}$  であるが、CNT は一桁大きい  $3000\sim 5500\text{W/m}\cdot\text{K}$  とされる。以前我々は n 型 GaN 上の金属性多層カーボンナノチューブ電極におけるショットキー電極特性から障壁高さおよび仕事関数を見積もった。その結果から従来の p-GaN に対して用いられる Ni や Pd などに近い仕事関数であることが分かった。

そこで今回、p-GaN 上に金属性多層カーボンナノチューブ電極を形成し、そのコンタクト抵抗などの評価を行った。GaN 系半導体の電気特性を評価するため、フォトリソグラフィ露光装置を用いてレジストのパターンニングを行い、そのパターンを用いて GaN 系半導体上に電極の形成を行う。この電極によって電気特性を測定し、カーボンナノチューブと GaN 系半導体間の導電機構を明らかにした。本研究では特に金属製カーボンナノチューブ(CNT)電極と Ni 電極の比較を行った。CNT 電極で接触抵抗率  $\rho_c$  を求めると、 $2.58\times 10^{-3}\ \Omega\text{cm}^2$  となり従来の Ni 電極には及ばずともデバイスへの実用に足る値が得られた。

## 2. 実験(Experimental)

### 【利用した主な装置】

マスクレス露光装置(大日本科研社製, MX-1204)

### 【実験方法】

CNT は、 $\text{H}_2\text{O}$  中に分散された金属性多層カーボンナノチューブを用いた。p-GaN は、サファイア上にアンドー

プ GaN を  $3.5\mu\text{m}$  厚成長し、その上に Mg を濃度  $9\times 10^{19}\text{cm}^3$  ドープし  $0.4\mu\text{m}$  厚成長し、その上に  $2\times 10^{20}\text{cm}^3$  ドープし  $10\text{nm}$  厚成長した膜を用いた。Fig.1 にエピ成長膜の構造を示す。成長直後に p-GaN 表面にカーボンナノチューブを形成した場合と、塩酸処理を行った場合と、BHF 処理を行った場合との比較を行った。CNT の膜の形成はスピン塗布法を用いた。比較のため同 p-GaN に Ni 電極を形成し、 $500^\circ\text{C}$ 、10 分熱処理を行った電極も評価した。

コンタクト抵抗は TLM(Transmission Line Method)法を用いて測定を行った。CNT 電極は CNT 分散液を基板にスピン塗布し形成した。その後バーコーダーを使い、CNT 分散液を平坦化した。その後  $500^\circ\text{C}$ 、20 分間 RTA で熱処理を行い溶媒の除去を行った。その後、電子ビーム蒸着装置を使用し、カーボンナノチューブ層上に  $50\text{nm}$  厚の Au を蒸着した。そしてレジスト塗布後フォトリソグラフィにより TLM パターンを作成した。その後塩素ガスによる ICPドライエッチング装置により Au をドライエッチングした。その後 Au をマスクとして酸素アッシング装置で、カーボンナノチューブのパターンニングを行った。パターンニングの為のフォトマスクは、香川大学のマスクレス露光装置にて作製した。Fig.2 に電極構造を示す。

## 3. 結果と考察(Results and Discussion)

表面処理の違いでコンタクト抵抗は大きく変化した。表面処理を行わない場合は、 $8.8\times 10^{-3}\ \Omega\text{cm}^2$  であった。一方 BHF 処理を行うとコンタクト抵抗は悪化し、 $2.2\times 10^{-2}\ \Omega\text{cm}^2$  であった。しかし、塩酸処理を行った場合、 $2.6\times 10^{-3}\ \Omega\text{cm}^2$  と最も良好な値が得られた。Fig.3 に同一 p-GaN に従来の Ni 電極と CNT 電極(塩酸表面処理)を形成した場合の電流-電圧特性の比較を示す。CNT 電極においては Ni に比べ一桁程度電流値が低下した。また TLM 法によるコンタクト抵抗率は Ni の場合

$3.9 \times 10^{-4} \Omega \text{cm}^2$  であり、一方 CNT の場合  $2.6 \times 10^{-3} \Omega \text{cm}^2$  であり一桁程度高い値であった。今回の結果においては、CNT 電極は Ni 電極のレベルには達しなかったが、表面処理による依存性が大きいことも判明し、今後表面処理の最適化を行えば Ni 電極のレベルが達成できると期待する。

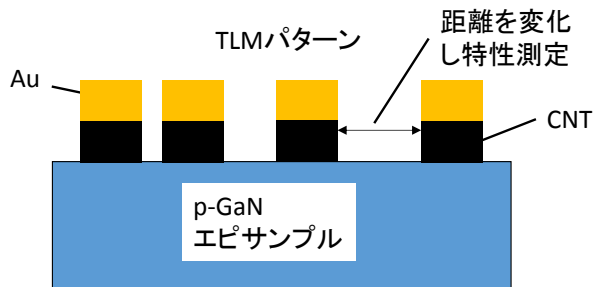


Fig.1 Structure of p-GaN epi-layer.

p-GaN 10nm (Mg : $2 \times 10^{20}$ )
p-GaN 0.4 $\mu\text{m}$ (Mg : $9 \times 10^{19}$ )
u-GaN 3.5 $\mu\text{m}$
sapphire

Fig.2 TLM pattern of CNT electrode structure.

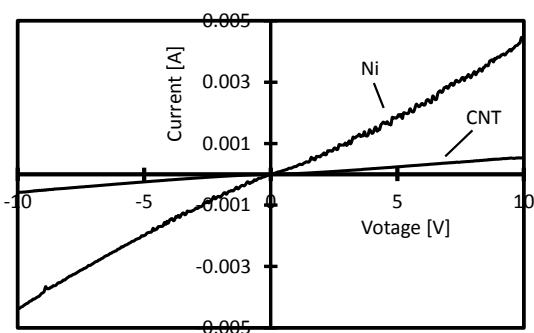


Fig.3 Current–Voltage characteristics of Ni/p-GaN and CNT/p-GaN structure.

#### 4. その他・特記事項 (Others)

なし。

#### 5. 論文・学会発表 (Publication/Presentation)

- (1) T. Yokogawa, S. Miyake, A. Yamashita “Characterization of electrical property and band-structure in carbon nanotube/GaN hetero-interface” NANOTECH 2016 CONFERENCE & EXPO, May 22-25, 2016, Washington DC (TechConnect), Carbon Nano Structures & Devices, Carbon Nano Structures: Electronics Applications, Tuesday May 24, 2:30 p.76-78 TechConnect Briefs 2016, TechConnect.org, ISBN 978-0-9975-1170-3
- (2) 横川 俊哉、三宅 祥太、毛利 裕治、中山 雅晴 “カーボンナノチューブ/GaN 界面 p-GaN 電極への応用” 第 77 回応用物理学会秋季学術講演会、朱鷺メッセ、2016 年 9 月 16 日 (金) 9:30 ~ 11:30 [16a-p5-24].
- (3) 横川 俊哉、三宅 祥太、山下 輝、毛利 裕治、中山 雅晴 “カーボンナノチューブ/GaN 界面の電気特性とバンド構造の評価” 第 63 回応用物理学会春季学術講演会、東工大大岡山キャンパス、2016 年 3 月 19 日 (土) 17:30 ~ 17:45 [19p-H121-15]

#### 6. 関連特許 (Patent)

なし。