



半導体フォトカソード電子源の表面観測

西谷智博¹、佐藤大樹²、本田善央³、天野浩³

1 名古屋大学シンクロトロン光研究センター、2 名古屋大学工学研究科、3 名古屋大学 未来材料・システムデバイス研究所

1. 背景と研究目的

半導体フォトカソードは、微細加工や観測手法や産業の基盤技術である電子ビームの次世代技術として期待されている。しかしながら、半導体フォトカソードは負電子親和力状態の機能性表面（negative electron affinity, NEA 表面）を用いており、その耐久性が最大の課題として残されている。近年、このような半導体フォトカソード上の NEA 表面は青色半導体である GaN 系半導体を用いることで、大幅に耐久性が向上することが明らかにされている¹⁾。そこで、本研究では、GaN 半導体上に形成された NEA 表面の仕事関数の観測を通して、電子源機能の劣化からその回復までの条件を追求する。

2. 実験内容

超高真空中で機能性表面処理を施した p-GaN 半導体フォトカソードを大気暴露したサンプルに対して、あいちシンクロトロン光センターの BL7U の光電子分光装置内でアニール処理過程における表面元素の化学状態および仕事関数の変化を観測した。光源は X 線 ($h\nu = 120\text{eV}$, 700eV) と 365nmLED を用いた。ここで本実験における仕事関数測定は、次のような手法を用いている。光電子分光を電子の Kinetic energy のスペクトラムとしたとき、低エネルギー側の立ち上がりは、真空準位に対して運動エネルギー 0eV を持つ試料内で発生した二次電子の立ち上がりと考えることができる。そこで本実験では、サンプルの仕事関数のアニールによる変化を見るために、サンプルとアナライザーのフェルミ準位のエネルギー差を 20eV となるように、サンプルとアナライザー間にバイアス電圧 -20V を印加した。これにより、例えばサンプル(A)の光電子分光の Kinetic energy スペクトラムにおける二次電子の立ち上がりを 20eV の Kinetic energy を持つと仮定すると、このサンプル(A)よりも仕事関数の 1eV 小さいサンプル(B)を接触させ、サンプル B の二次電子の立ち上がりは 19eV と測定されることになる。

すなわち、この手法によりサンプル間の仕事関数差やサンプルの仕事関数の変化が測定可能となる。

3. 結果および考察

図 1 に各温度でアニールした後に、Cs-GaN に 365nmLED を照射した時の二次電子立ち上がり付近の光電子分光スペクトラムを示す。アニール前からアニール温度の上昇とともに二次電子の立ち上がりは低エネルギー側へシフトしかつ強度も上昇した。サンプルを 500°C アニールすることで、アニール前と比べて電子の立ち上がりは 0.37eV シフトし、強度は一桁上昇した。一方で、光電子分光による化学状態として、機能性表面処理した大気暴露サンプルは、Cs4d、Ga3d および O1s の結合エネルギー付近にピークを持ち、アニール温度の上昇にともない Cs4d 及び Ga3d の結合エネルギーは高エネルギー側へ、O1s は低エネルギー側へシフトすることがわかった。機能性表面を構成するセシウムおよびガリウム元素は、大気暴露により酸化物を形成しており、これらの酸化物はアニールにより減少することも観測できた。以上のことから、NEA 表面を形成した GaN は大気暴露により完全には表面機能を失わず、大気暴露により生成された NEA 状態を阻害するセシウム酸化物が真空中でアニールすることで減少し、その結果、仕事関数が下がり、再び表面機能を回復する特性を持つことを明らかにした。

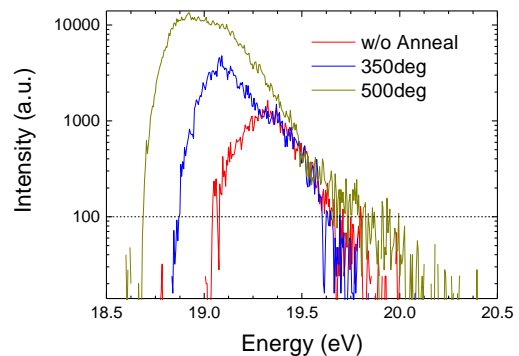


図 1. Cs-GaN に -20V を印加し 365nmLED を照射した時の二次電子の立ち上がり付近の光電子分光スペクトラム。

文献 1) T. Nishitani, M. Tabuchi, H. Amano, T. Maekawa, M. Kuwahara and T. Meguro, "Photoemission lifetime of a negative electron affinity gallium nitride photocathode" *Journal of Vacuum Science & Technology B* 32, 06F901 (5 pages) (2014)