

# 酸化亜鉛系分極不整合界面の2次元伝導と 導電性高分子を用いた伝導性制御

塚崎 敦<sup>1)</sup> 中野 匡規<sup>2)</sup> 大友 明<sup>3)</sup>  
 上野 和紀<sup>1)</sup>\* 赤坂 俊輔<sup>1)</sup>\*\* 湯地 洋行<sup>1)</sup>\*\*\*  
 中原 健<sup>1)</sup>\* 福村 知昭<sup>3)</sup> 川崎 雅司<sup>4), 2)</sup>\*\*\*\*

## 1. はじめに

近年、ウルツ鉱構造を有する窒化ガリウム(GaN)と酸化亜鉛(ZnO)において、直接遷移型のバンド構造を活用した短波長発光素子応用が研究されている<sup>(1)-(4)</sup>。その一方、電界効果トランジスタ応用も盛んに研究されている<sup>(5)-(6)</sup>。なぜなら、高移動度トランジスタとして知られる砒化ガリウム(GaAs)系の半導体ヘテロ構造と比較して、ワイドギャップであるため、絶縁破壊電界が大きく、かつ高い飽和電子速度を有することから高周波・高出力トランジスタへの応用が期待できるからである。このトランジスタの伝導性を担う電子の生成においては、ウルツ鉱構造に由来する自発分極が大きな役割を果たしている<sup>(7)-(9)</sup>。図1(a)に[1120]方向から見たZnOの結晶構造を示す。[0001]方向に沿って酸素原子面(-2価面)と亜鉛原子面(+2価面)の積層構造を有している。この-2価と+2価の原子面の存在が自発分極の要因となっており、亜鉛原子を取り囲む酸素原子の四面体構造の重心位置と亜鉛原子の位置とのずれが、自発分極の大きさを決定する。そして、GaNやZnOはそれぞれアルミニウムやマグネシウムを添加することで、ウルツ鉱構造を維持したままバンドギャップと自発分極量の制御が可能である<sup>(7)(8)</sup>。自発分極量の異なる層から成るヘテロ界面を形成すると、界面に分極量の不整合が発生し、それを打ち消すために2次元電子ガス(2DEG)の蓄積を生じる。すなわち、精密制御されたナノ界面に金属的な伝導が観測される。

ここで導電性高分子 PEDOT : PSS, (poly(3,4-ethylene-dioxythiophene) : poly(styrenesulfonate))を用いたショットキー接合について紹介する。一般に、仕事関数の大きい金属材料(例えば, Au や Pt)を用いて ZnO に良好なショットキー接合を作製することは容易ではない。そこで我々は PEDOT : PSS の仕事関数(5.0 eV)に着目して、PEDOT :

PSS と ZnO の電極接触を検討したところ、接合の特性を決める順バイアスと逆バイアス印加時の電流比が10桁に及ぶ良好なショットキー接合となることを見出した<sup>(10)</sup>。PEDOT : PSS 電極は ZnO 以外にも様々な酸化物半導体に対してショットキー接合を形成できるため、非常に有効な電極形成技術の一つと言える。

本稿では ZnO 系ヘテロ界面における 2DEG 輸送を導電性高分子との接合によって制御した研究について紹介する<sup>(11)</sup>。

## 2. 試料構造

図1(b)に模式的な素子断面図を示す。ZnO とマグネシウム添加酸化亜鉛(MgZnO)の積層構造におけるナノ界面の分極差を利用するためには、不純物濃度が極めて低く、原子レベルで急峻な界面を作製する必要がある。そのために、我々は分子線エピタキシー法を適用し、成長温度とカチオン/アニオン供給比の最適条件下において、マグネシウム濃度5%のMgZnOをZnO上に100 nmもしくは300 nm積層した<sup>(12)</sup>。その結果、電子移動度は酸化物では最高水準の約20,000 cm<sup>2</sup> V<sup>-1</sup> s<sup>-1</sup>に達し、品質としては従来の化合物半導体ヘテロ接合界面の水準に近づきつつあると言える。このヘテロ接合を作製した後、PEDOT : PSSをスピコート法で形成した。PEDOT : PSSは、市販のポリマー水溶液を使い、室温空气中でスピコートし、真空オープンで200°C 30分乾燥することにより、高い伝導度(数百 Scm<sup>-1</sup>)の膜を得ることができる。フォトリソグラフィを活用した素子加工も可能であり、本実験ではホールバー形状の素子加工を行った。

## 3. 伝導性制御

ショットキー接合を用いてヘテロ界面に電界を印加し、2DEG伝導の制御を試みた。まず、ゲート電圧を印加した際

\* 東北大学金属材料研究所; 1)助教 2)博士課程 3)准教授 4)教授(〒980-8577 仙台市青葉区片平2-1-1)

\*\* 東北大学原子分子材料科学高等研究機構; 1)助教 2)教授

\*\*\* ローム株式会社; 1)研究員 \*\*\*\* 科学技術振興機構 CREST

Two-dimensional Transport at Polar-heterointerface Based on ZnO and Electric-field Control with a Conducting Polymer; Atsushi Tsukazaki\*, Masaki Nakano\*, Akira Ohtomo\*, Kazunori Ueno\*\*, Shunsuke Akasaka\*\*\*, Hiroyuki Yuji\*\*\*, Ken Nakahara\*\*, Tomoteru Fukumura\*, Masashi Kawasaki\*.\*.\*.\*.\* (Institute for Materials Research, Tohoku University, Sendai. \*\*WPI-AIMR, Tohoku University, Sendai. \*\*\*ROHM Co. Ltd., Kyoto. \*\*\*\*JST CREST, Tokyo)

Keywords: ZnO, spontaneous polarization, nano-interface, two-dimensional electron gas

2010年3月12日受理

