

常圧非平衡プラズマを用いて作製した高抵抗 ZnO 薄膜の電子状態

Electronic state of highly resistive ZnO films grown by nonequilibrium plasma generated near atmospheric pressure

阪府大院工¹, 積水化学²

○野瀬 幸則¹, 木口 拓也¹, 岩崎 裕徳¹, 吉村 武¹, 芦田 淳¹, 上原 剛², 藤村 紀文¹

Osaka Prefecture Univ.¹, Sekisui Chemical Co., LTD.²

○Y. Nose¹, T. Kiguchi¹, H. Iwasaki¹, T. Yoshimura¹, A. Ashida¹, T. Uehara², N. Fujimura¹

E-mail: fujim@pe.osakafu-u.ac.jp

【はじめに】

ワイドバンドギャップ半導体である酸化亜鉛 (ZnO) は、その優れた透明性や電子移動度、圧電性を利用した電子・光・圧電デバイス等への応用が期待されているものの、薄膜化した際に生じる残留ドナーの低減という課題の解決が望まれている。理論・実験両面からこの問題を俯瞰すると、高い酸化力を有する活性種を利用した常圧プロセスが効果的であると考えられる。我々はこれまで N_2/O_2 混合ガスを用いた常圧非平衡プラズマ CVD 法を用いて $10^6 \Omega\text{cm}$ を超える高い比抵抗を有する ZnO 薄膜の低温形成が可能であることを報告し、熱刺激電流 (TSC) 測定によって、亜鉛空孔 (V_{Zn}) アクセプタの存在が示唆されている。¹⁾ しかしながら、高抵抗化の起源に関して、その電子状態を考慮した考察には至っていない。今回、高抵抗 ZnO 薄膜の電子状態を評価し、本プロセスが残留ドナー濃度の低減や窒素ドーピングに対してどのような役割を果たしているかを考察したので報告する。

【実験方法と結果】

ZnO 薄膜の成長はプラズマ中に基板を設置するダイレクト方式で行った。²⁾ 基板には c 面サファイア基板を用い、成長温度は 300, 400 °C とした。成長後 X 線回折測定から薄膜の結晶構造評価を行った結果、30° 回転ドメインの混在は認められず、ZnO 薄膜がシングルドメインでエピタキシャル成長していることを確認した。薄膜中の欠陥準位を評価するためにフォトルミネッセンス測定を行った結果、既存の真空プロセスで作製した ZnO 薄膜や ZnO 単結晶基板で確認される酸素空孔 (V_{O}) ドナーに起因する 2.3 eV 近傍の欠陥発光は確認されなかった。一方、亜鉛空孔 (V_{Zn}) アクセプタの存在を示唆する 1.8 eV 近傍の発光が観測された。ZnO 薄膜の高抵抗化の起源を伝導の観点から評価するために、薄膜をホールバー形状に加工し、ホール効果測定を行った。すべての試料は n 型を示したものの、400 K においても電子濃度が $4 \times 10^{15} \text{ cm}^{-3}$ 以下であり、高抵抗の起源は極めて低い電子濃度に起因することが明らかになった。(Fig.) 電子濃度の温度依存性からドナー準位とキャリア補償度の解析を行ない、SIMS による不純物分析やラマン分光法による窒素アクセプタの分析結果と併せて考察した結果、残留電子の供給源は浅い準位ではなく、 $E_c - 300 \text{ meV}$ の深いドナー準位であり、 V_{Zn} 等のアクセプタ性真性欠陥による強補償が高抵抗の起源であると結論した。講演では高抵抗化の起源と電子状態について示し、残留電子濃度の低減や窒素ドーピングに向けた本プロセスの有用性に言及する。

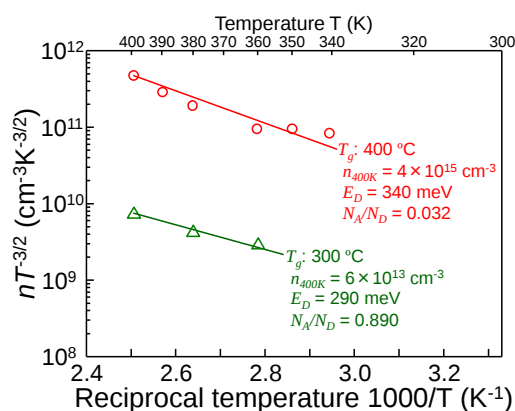


Fig. Temperature dependence of $nT^{3/2}$ for highly resistive ZnO epitaxial films. Activation energy of dominant donor E_D and compensation ratio N_A/N_D are deduced from the slope and intercept of this plot, respectively.

【参考文献】

- 1) Y. Nose et al., *Thin Solid Films* (submitted).
- 2) Y. Nose et al., *Jpn. J. Appl. Phys.* **52**, 01AC03 (2013).