

非平衡状態を利用した窒化物結晶の合成と応用

Synthesis and Application of Nitride Crystals Using Non-Equilibrium States

東京大学生産技術研究所 ○藤岡洋, 上野耕平, 小林篤

○Hiroshi Fujioka, Kohei Ueno, Atsushi Kobayashi

Institute of Industrial Science, The University of Tokyo

E-mail: hfujioka@iis.u-tokyo.ac.jp

【はじめに】 窒化物半導体は、青色を中心とする短波長光源や、高周波・パワートランジスタを実現するワイドギャップ材料として広く活用されている。しかしながらそのプロセス技術はSiなど他の実用半導体材料に比べ未熟であり、プロセス技術の開発が強く望まれている。一般に窒化物半導体の様なワイドギャップ半導体を構成する原子は結晶中で強く結合されているため、熱エネルギーのみでのプロセスには温度等の条件に制約が多い。この制約から逃れて自由度を高めるためには、放電や紫外線など、高いエネルギーを供給する手法を併用した非平衡状態でのプロセスが有効と期待される。我々はこれまで、パルス動作させたスパッタリング (PSD 法) を用いた窒化物半導体の結晶成長技術を開発してきた。この手法では、III 族元素とV族元素の供給を制御することによって結晶成長の低温化が実現し、さらに、放電からの真空紫外光照射による補償欠陥の導入の抑制効果が期待できる。本講演では、PSD 法によって作製した窒化物結晶の特性とその応用について最近の成果を報告する。

【結晶の評価と応用】 PSD 法によって成長したノンドープの GaN 結晶中の残留不純物元素濃度はSIMS 測定の結果から 10^{15} cm^{-3} 台あるいはそれ以下であることがわかった。また、低温 PL の最大のピークが自由励起子に起因するものであることから高純度の結晶が成長していることが確認された。この成長技術はドナーやアクセプターを添加した結晶の成長にも有効で、Si を添加することによって室温で $1240 \text{ cm}^2/\text{Vs}$ という高い移動度を持った n 型結晶を得ている。[1] また、同様に Mg を添加した p 型結晶を用いてショットキー接合を作製したところ、理想係数が 1 に近い高品質ダイオードが初めて実現した。[2-3] 高品位 p 型ショットキーの実現は、エンハンスメント型 HEMT のゲート構造等への応用の観点から重要と思われる。また、PSD 法は、非平衡性の高い状態で結晶を合成でき、補償欠陥の導入も抑制できることから高濃度低抵抗の結晶の合成に適している。実際、Si を 10^{20} cm^{-3} 台まで導入しても、100%に近い Si ドナーが伝導帯に電子を供給しており、 $1.6 \times 10^{-4} \Omega \text{ cm}$ と極めて抵抗率の低い結晶が実現している。[3] この様な低抵抗の GaN 結晶はトランジスタのソース・ドレイン材料として有望であるばかりでなく、LED の透明電極としても有用であることがわかっている。また、PSD 法による高濃度 pn 接合は優れたトンネル特性を示すことが知られており、マイクロ LED を実現するためのタンデム型カスケード LED 構造への応用が検討されている。この様な応用技術の詳細は当日報告する。

【謝辞】 本講演で用いられたデータの一部は JSPS 科研費 JP16H06414 の助成を受けて取得されたものである。

【参考文献】 [1] K. Ueno *et al.*, AIP Advances **9**, 075123 (2019). [2] Y. Arakawa *et al.*, APL Materials **4**, 086103 (2016). [3] K. Ueno *et al.*, accepted for press in Appl. Phys. Lett. (2021). [4] K. Ueno *et al.*, APL Materials **5**, 126102 (2017).