

AlGaN 系窒化物スパッタエピプロセスの開発 Development of sputtering epitaxial growth processes for AlGaN

東大生研¹, JST-ACCEL²,

○藤岡洋^{1,2}, 櫻井 悠也¹, 上野 耕平¹, 小林 篤¹

IIS, the University of Tokyo¹, JST-ACCEL²,

○Hiroshi Fujioka^{1,2}, Yuya Sakurai¹, Kohei Ueno¹, Atsushi Kobayashi¹

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

窒化物エレクトロニクスが結晶欠陥の抑制技術の開発とともに発展してきたことはよく知られた事実である。しかしながら、作製した素子の特性の観点から見直してみると、完全性の高い結晶の中にヘテロ界面やナノ構造など広い意味での結晶欠陥（非完全性）が共存することが素子の機能を発現させる上で重要なポイントとなっていることがわかる。この様に完全性と非完全性が共存する構造（特異構造）を理解し、制御していくことが、今後の新機能素子の開発にとって重要になると考えられる。

[1] 特に窒化物半導体は結晶の対称性が低いため、ピエゾ効果などとの協奏的效果で、Si などの立方晶系の半導体に比べ複雑で多彩な特異的物性の発現が見られ、窒化物素子における特異構造の役割を理解することは極めて興味深い。窒化物半導体の中でも高 Al 濃度 AlGaN 系材料の結晶成長は技術的難度が高く、解決すべき多くの問題を抱えている。特に AlGaN 系材料の電気特性の制御はドナーやアクセプターのイオン化エネルギーの増大や DX センターの生成、補償欠陥の導入などの諸問題から困難であり、新しいプロセス技術の開発が求められている。

我々の研究グループは低圧プラズマを用いた非平衡プロセスでの特異構造の作製を試みており、特にスパッタリングプロセスの利用について検討を進めている。[2] 本講演では低温非平衡下での AlGaN 系結晶の成長と成長中の特異構造導入について議論する。窒化物半導体中の特異構造の最も単純な例として、ドナーやアクセプターのドーピングを取り上げる。不純物ドーピングでは補償する準位を導入することなく浅い準位のみを効率良く導入することが求められる。一般に、成長中に浅いドナー（アクセプター）を導入するとフェルミレベルが高く（低く）なり、補償アクセプター（ドナー）の生成エネルギーが小さくなる。この結果、補償準位の濃度は高くなるが、これがキャリア濃度を下げる働きをするので、ワイドギャップ半導体の高濃度のドーピングは難しいとされている。また、補償準位はイオン化不純物散乱の中心となってキャリアの移動度を下げるので素子抵抗の観点からも好ましくない。これまで補償準位の導入は避けられないものと考えられていたが、最近、バンドギャップ以上のエネルギーを持った紫外線を照射することによって補償欠陥の擬フェルミレベル制御が可能であり、補償欠陥濃度を抑制できることが示された。[3] この現象は紫外線照射のみならず、イオンや電子線の照射衝撃によっても起きうると考えられ、プラズマ中に基板を直接浸漬するスパッタリングにおいてはより顕著にその効果が現れるのではと期待される。これまでに、GaN や AlN、AlGaIn などのドーピングを試みそのキャリア濃度と補償の程度をホール効果温度依存測定、光学測定、SIMS 測定などで見積もった。その結果、スパッタリング法を用いると容易に高濃度まで不純物を導入でき、補償の程度も低く保てるため、高い移動度が得られることがわかった。このようなプラズマを用いた不純物添加窒化物の成長技術は作製した素子の寄生抵抗を下げるなど有用であるため、今後、発光素子や電子素子の作製への応用が期待される。

参考文献： [1] <http://tokui.org/index.html> [2] K. Ueno *et al.*, APL Materials 5, 126102 (2017). [3] P. Reddy *et al.*, Appl. Phys. Lett 111, 152101 (2017).

謝辞： 本研究の一部は JSPS 科研費新学術領域 JP16H06414 の助成を受けて行われたものである。