

## Ga<sub>2</sub>O<sub>3</sub> イオン注入技術の進展とデバイスプロセスへの適用

### Advancement in Ga<sub>2</sub>O<sub>3</sub> Ion-Implantation Technologies and Their Applications to Device Processing

情通機構<sup>1</sup>, ノベルクリスタルテクノロジー<sup>2</sup>, 東京農工大院工<sup>3</sup>, タムラ製作所<sup>4</sup>

○東脇 正高<sup>1</sup>, ワン マンホイ<sup>1</sup>, 林 家弘<sup>1</sup>, 佐々木 公平<sup>2</sup>, 後藤 健<sup>2,3,4</sup>,

倉又 朗人<sup>2</sup>, 山腰 茂伸<sup>2,4</sup>, 村上 尚<sup>3</sup>, 熊谷 義直<sup>3</sup>

NICT<sup>1</sup>, Novel Crystal Technology<sup>2</sup>, Tokyo Univ. of Agri. & Tech.<sup>3</sup>, Tamura Corp.<sup>4</sup>

○Masataka Higashiwaki<sup>1</sup>, Man Hoi Wong<sup>1</sup>, Chia-Hung Lin<sup>1</sup>, Kohei Sasaki<sup>2</sup>, Ken Goto<sup>2,3</sup>,

Akito Kuramata<sup>2</sup>, Shigenobu Yamakoshi<sup>4</sup>, Hisashi Murakami<sup>3</sup>, Yoshinao Kumagai<sup>3</sup>

E-mail: mhigashi@nict.go.jp

酸化ガリウム (Ga<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) は、その 4.5 eV と非常に大きなバンドギャップエネルギー、および融液成長バルクから製造可能な高品質単結晶基板の存在から、次世代パワーエレクトロニクス材料として注目を集めている。また余り知られていないが、他のワイドバンドギャップ半導体とは異なり、活性化アニールが比較的低温で可能なこと、高い活性化率が得られることなど、化合物半導体の中では優れたイオン注入プロセス適用性を有する。本講演では、我々がこれまでに開発してきた *n*, *p* 両型イオン注入ドーピング技術、およびそれらを適用して作製に成功した縦型トランジスタについて報告する。

*n* 型イオン注入ドーピングには、我々は現状ドーパントとしてシリコン (Si) を用いている [1]。Si は、Ga<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 中で真性活性化エネルギーが約 50 meV の浅いドナー準位を形成し、室温ではほぼ 100%イオン化する [2]。また、イオン注入後 900–1000°C 程度でのアニール処理により高い活性化率を実現することができる。なお、イオン注入ドーピングで作製した *n*-Ga<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 層の電気的特性は、MBE, HVPE 等でホモエピタキシャル成長中にドーピングした膜と比較しても遜色が無い。

一方、最近我々は窒素 (N) を用いた *p* 型イオン注入ドーピング技術の開発にも成功した [3]。N は、Ga<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 中で少なくとも活性化エネルギー 1 eV 以上の深いアクセプタ準位を形成することが理論的に予測されている [4]。なお、他の Mg 等のアクセプタ候補の場合も、総じて同様の深い準位を形成すると予想されている。そのため、十分なホール伝導性を有する *p*-Ga<sub>2</sub>O<sub>3</sub> を得ることは非常に困難であると考えられる。我々は現在までに、(1) *n*-Ga<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 層に N ドーピングを行うと、(おそらく補償効果により) 電子濃度が大幅に減少すること、(2) Si ドープ *n*-Ga<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/N ドープ *p*-Ga<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 接合により大きなエネルギー障壁が形成され、イオン注入により形成した N ドープ Ga<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 領域を電流ブロック層として利用できることを実験的に確認した。ただ、N ドープ Ga<sub>2</sub>O<sub>3</sub> の物性については全くの未解明であり、今後の基礎的な研究が不可欠である。

最後に、Si, N イオン注入ドーピングを用いて作製した縦型ノーモリーオン Ga<sub>2</sub>O<sub>3</sub> MOSFET のデバイスプロセス、デバイス特性について紹介する [5]。

本研究の一部は、総合科学技術・イノベーション会議の SIP (戦略的イノベーション創造プログラム) 「次世代パワーエレクトロニクス」(管理法人: NEDO) によって実施されました。

[1] K. Sasaki *et al.*, Appl. Phys. Express **6**, 086502 (2013), [2] K. Goto *et al.*, Thin Solid Films **666**, 182 (2018), [3] M. H. Wong *et al.*, Appl. Phys. Lett. **113**, 102103 (2018), [4] J. L. Lyons, Semicond. Sci. Technol. **33**, 05LT02 (2018), [5] M. H. Wong *et al.*, IEEE Electron Device. Lett. **40**, *in press* (2019).