GaN 系絶縁膜制御技術

Control techniques of gate dielectrics for GaN-based semiconductors

物質・材料研究機構, °小出康夫, 生田目俊秀, 色川芳宏, 三石和貴

National Institute for Materials Science (NIMS), °Y. Koide, T. Nabatame, Y. Irokawa, K. Mitsuishi

E-mail: koide.yasuo@nims.go.jp

近年 n-GaN エピ基板の上に作製した p-GaN 領域の MOS 反転電子層をチャンネルに利用した縦型パワー MOSFET を開発する研究が活発化している。結晶欠陥の無い大面積 GaN ウェハの開発と高性能な縦型パワートランジスタの開発が世界的な課題となっている。物質・材料研究機構 (NIMS) は、この目的に沿った文科省事業「省エネルギー社会の実現に資する次世代半導体研究開発」を通して、GaN ウェハ結晶や MOS 界面および MOS デバイス構造の評価を進めており、機構内組織として新たに「窒化ガリウム評価基盤領域」を設立し、評価・計測組織 28 名の研究者を結集して取り組んでいる [1]。本シンポジウムでは、GaN 系絶縁膜制御技術として MOS ゲート絶縁膜や MOS 界面構造、および GaN 自然酸化膜構造を含めた最新研究動向を述べる。

GaN MOSFET やノーマリオフ型ヘテロ接合 FET の絶縁ゲート材料としては、これまで SiO_2 、 Al_2O_3 、および SiN_x が報告されている。絶縁膜の作製方法は、プラズマ CVD 法および ALD 法が試され、ポストアニリングと組み合わせることによって n-GaN MOS 界面においては、界面準位密度が低く良好な界面特性が得られている。その詳細な微細構造は不明であったが近年、厚さ数分子層の結晶性の酸化ガリウムが介在していることが明らかになりつつある [2]。また、絶縁膜作製におけるプロセス条件からアモルファス層介在層も見出されており、p-GaN MOSFET への影響として膜厚が薄いほど実効移動度が増加することが報告されている [3]。NIMS においても SiO_2 と GaN の界面を超高分解能電子顕微鏡で観察したところ、1.5 nm 程度の非常に薄い、GaN とエピタキシャル関係を持つ原子レベルで平坦な結晶状の ϵ 相 Ga_2O_3 層の存在が観察され、全体として酸化ガリウムは ϵ 相が主相で γ 相とが混在した構造であることも明らかとなった [4]。

一方、近年自立 GaN 基板表面の自然酸化膜の微細構造も明らかにされつつある。NIMS において低速イオン散乱分光および反射高速電子線回折解析を用いて調べたところ、表面が自然に酸化されることで生じたエピタキシャルな準安定 Ga_2O_3 結晶が存在することが明らかとなった [5]。同様に高分解能電子顕微鏡観察から、2 分子層のエピタキシャルな β 相 Ga_2O_3 の観察も報告されている [6]。これらが同じ構造かどうかは今後の観察により明らかにする必要があるが、結晶状の準安定酸化ガリウム層が幅広い条件で存在することを示している。更に、n-GaN MOS デバイスで報告されている低い界面準位密度をもたらす要因との関連性も興味もたれる。

【参考文献】

- [1]. NIMS 窒化ガリウム評価基盤領域 : <http://www.nims.go.jp/gan/>
- [2]. M. Hua, J. Wei, G. Tang, Z. Zhang, Q. Qian, X. Cai, N. Wang, and K. J. Chen, *IEEE-EDL*, **38** 929 (2017).
- [3]. 田中亮、高島信也、上野勝典、松山秀昭、江戸雅晴、中川清和、第 65 回応用物理学会春季学術講演、早大、19p-C302-5 (2018).
- [4]. K. Mitsuishi, K. Kimoto, Y. Irokawa, T. Suzuki, K. Yuge, T. Nabatame, S. Takashima, K. Ueno, M. Edo, K. Nakagawa, and Y. Koide, *Jpn. J. Appl. Phys.* **56**, 110312 (2017).
- [5]. Y. Irokawa, T. Suzuki, K. Yuge, A. Ohi, T. Nabatame, K. Kimoto, T. Ohnishi, K. Mitsuishi, and Y. Koide, *Jpn. J. Appl. Phys.* **56**, 128004 (2017).
- [6]. J. H. Dycus, K. J. Mirrieles, E. D. Grimley, R. Kirste, S. Mita, Z. Sitar, R. Collazo, D. L. Irving, and J. M. LeBeau, *ACS Appl. Mater. Interfaces*, **10**, 10607 (2018).