

Summary of Doctoral Thesis

Title of Doctoral Thesis: Reliability of SiO₂/GaN metal-oxide-semiconductor structure
(SiO₂/GaN MOS 構造の信頼性に関する研究)

Name: Lin Tengda

Summary of Doctoral Thesis:

GaN based MOSFETs were intensively investigated as a promising power switching device. Yet, in view of commercialization, there are big concerns about the reliability issues. The inhibition of traps at the interface or inside bulk dielectric present as big challenge. A research of SiO₂/GaN MOS capacitors' physical and electrical properties can help to understand and further control the reliability of the devices.

Chapter 2 covers the experimental details, focusing firstly on dielectric deposition method and post deposition annealing method of high pressure water vapor annealing (HPWVA). In the following, the interface states extraction methods, the space charge controlled field emission (SCC-FE) model, the reliability characterization methods and mathematics of first order kinetics are introduced.

In chapter 3, capacitance-voltage ($C-V$) and reliability measurements were carried out for evaluating the effect of HPWVA on the reliability of SiO₂/GaN structures. A multi-trapping analytical model applying first-order rate kinetics is employed to analyze the dynamics of intrinsic and generated traps. FT-IR measurement is also conducted, which supports that HPWVA can help to reduce the -OH contents and relax the stretched Si-O bond. Finally, a reaction model of HPWVA is proposed.

Chapter 4 introduces the degradation phenomena of SiO₂/GaN capacitors with aging in air. The $C-V$ and reliability measurements with different aging periods were investigated. The SCC-FE model was employed to simulate measured current-voltage ($I-V$) curves. The simulations were carried out by assuming the sheet charge density and electron injection barrier height as a function of applying voltage. A possible degradation mechanism is proposed at the end of this chapter.

Chapter 5 shows the summary of the presented results and directions for future research. HPWVA can be a promising post deposition annealing method for improving the reliability of GaN MOS device, however, several issues need also be considered for the commercialization of GaN MOSFET technology.

名前	Lin Tengda
----	------------

論文審査結果の要旨

近年、窒化ガリウム(GaN)は、その優れた物理的特性より、有望な次世代パワーエレクトロニクス材料として、期待されている。GaN はこれまで青色発光ダイオードなど光学素子材料として活用が広がってきた。しかし、GaN の持つ高い電子移動度や広い禁制帯幅から、通信基地局など高出力で高速な半導体素子への応用が実用化されつつある。しかし、これまで用いられてきた構造は、ショットキー入力型であり、入力電圧の振幅が低く、またリーク電流の低減が困難であった。そこで、これらの問題を克服するために、金属/絶縁物/半導体(MOS)構造が提案されている。本研究では、高品質の MOS 構造を実現するために、高圧水蒸気処理(HPWVA)を施し、信頼性への効果を定量的に分析する手法を提案した。また、HPWVA 処理が、MOS 界面に及ぼすメカニズムを議論した。

本研究では、 SiO_2/GaN からなる MOS 構造を作製し、HPWVA 処理条件を最適化した。この試料の電流特性や容量特性など電気的な分析手法を用いて、界面準位、経時絶縁破壊特性、リーク電流特性などを評価した。特に、ここで、定電流や定電圧印加時のリーク電流の変化に対し、マルチトラップ解析モデルを適用し、電子トラップの挙動を定量的に分析した。この結果、HPWVA 処理により、電子トラップの生成率やトラップ密度が約 70%低減できることを確認した。

さらにこれらの試料において、二次イオン質量分析(SIMS)、熱脱着スペクトル分析(TDS)から、MOS 界面における化学反応を物理的に考察した。HPWVA 処理は、界面における Si-O 結合の強さを補強し、酸素欠陥を補完することで、電子トラップの発生を抑制していると推察した。フーリエ変換赤外分光測定から、Si-O-Si 結合の変化についても考察し、HPWVA の効果を明らかにすることができた。

このように、本論文は高圧水蒸気処理が MOS 界面に及ぼす効果を明らかにすることができ、学術的だけでなく、窒化ガリウムの産業応用にも価値が高いとして、審査員一同は、本論文が博士(工学)の学位論文として価値あるものと認めた。