SiO_2/GaN MOS デバイスにおける水素ガスアニール起因の異常な固定電荷生成のアニール温度依存性

Temperature Dependence of Anomalous Fixed Charge Generation due to Forming Gas Annealing in SiO_2/GaN MOS Devices

阪大院工 [1] ○溝端 秀聡 [1]，和田 悠平 [1]，野﨑 幹人 [1]，細井 卓治 [1]，志村 考功 [1]，渡部 平司 [1]

Osaka Univ. [1], ○Hidetoshi Mizobata[1], Yuhei Wada[1], Mikito Nozaki[1], Takuji Hosoi[1], Takayoshi Shimura[1], and Heiji Watanabe[1]

E-mail: mizobata@prec.eng.osaka-u.ac.jp

【はじめに】窒化ガリウム(GaN)は，次世代のパワーデバイス用半導体材料として盛んに研究されている。我々はこれまで，SiO_2 を絶縁膜に用いた SiO_2/GaN MOS デバイスの性能向上に取り組んできた。以前の報告において，SiO_2/GaN MOS 構造に水素ガスアニール（Forming Gas Annealing: FGA）を施すと，そのフラットバンド電圧（V_{FB}）が負バイアス方向へ大きくシフトすること，および，その要因となる固定電荷が SiO_2/GaN 界面に局在していることを明らかにした[1]。本研究では，V_{FB} の FGA 温度依存性を評価し，固定電荷の物理的起源について検討したので報告する。

【実験方法と結果】自立GaN基板上のn-GaNエピ層（Si濃度: 2×10^{16} cm^{-3}）を50% HFで洗浄後，プラズマCVDによりSiO_2層（膜厚~100 nm）を成膜した。このとき，後熱処理によるSiO_2中へのGa拡散を抑制するため，最初に極薄の窒素含有層（SiON: 膜厚~5 nm）を成膜した[2]。その後，酸素雰囲気下で800°C，30 minの熱酸化，および200°Cから800°Cの温度範囲で30 minのFGA（3% H_2/N_2）を行った。最後に，Niゲート電極およびAl裏面電極を真空蒸着し，SiO_2/GaN MOSキャパシタを作製した。作製したデバイスは，容量-電圧（*C-V*）測定により評価した。図1に，各温度でFGA処理した試料の双方向*C-V*カーブを示す。また，そのV_{FB}およびヒステリシスのFGA温度依存性を図2に示す。図1および図2(a)から，FGA温度が250°C を超えると負のV_{FB}シフトが顕著になり始めた。過去に，多結晶酸化ガリウム（β-Ga_2O_3）が280°C以上で水素と反応し，その結果としてH_2Oの脱離と酸素空孔の形成が生じることが報告されている[3]。また，作製したSiO_2/GaN MOSデバイスには, 800°C熱酸化により酸化ガリウム界面層（GaO_x）が形成されることがわかっている[2]。これらのことから，FGAによるV_{FB}の不安定性は， GaO_x界面層と水素との反応により形成された酸素空孔が原因であると考えられる。一方，図2(b)に示す*C-V*ヒステリシスのFGA温度依存性から，200°Cから400°Cの温度範囲でFGAを行うと，FGA未処理の試料（w/o）に対して一桁程度の大幅なヒステリシスの改善が見られた。これらの結果から，水素に対するGaO_x界面層の化学的不安定性のため，SiO_2/GaN MOSのFGA処理には注意を要するが，低温（~200°C）でのFGAはその性能向上に有効であることが明らかとなった。

【謝辞】本研究は，科研費（19H00767）および文部科学省「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」事業（JPJ005357）の助成を受けたものである。

【参考文献】[1] 溝端他, 第 67 回応用物理学会春季学術講演会, 13a-B401-4 (2020). [2] T. Yamada *et. al.*, Jpn. J. Appl. Phys. **58**, SCCD06 (2019). [3] W. Jochum *et. al.*, J. Catal. **256**, 268 (2008).

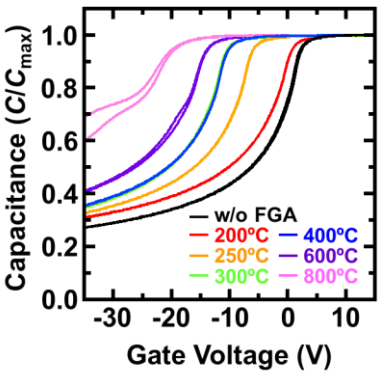

Fig. 1 Bidirectional C-V curves of SiO_2/GaN MOS capacitors subjected to FGA at different temperatures.

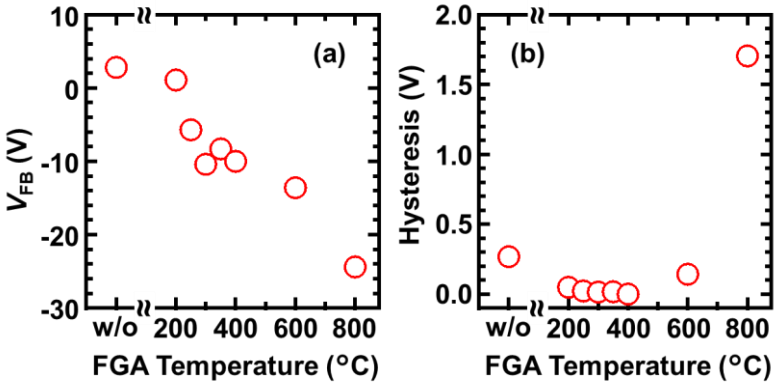

Fig. 2 FGA-temperature dependences of (a) V_{FB} and (b) *C-V* hysteresis in SiO_2/GaN MOS capacitors. Hysteresis values were evaluated at flatband capacitance.