

# KFM を用いた $\text{Si}_3\text{N}_4$ 膜中捕獲電荷の膜質劣化に伴う再分布特性変化の評価

## The Variation of Charge Redistribution Owing to Deterioration of $\text{Si}_3\text{N}_4$ Evaluated by KFM

筑波大学<sup>1</sup> ○小澤 航大<sup>1</sup>, 蓮沼 隆<sup>1</sup>

Univ. of Tsukuba<sup>1</sup>, <sup>○</sup>Koudai Ozawa<sup>1</sup>, and Ryu Hasunuma<sup>1</sup>

E-mail: bk201210980@s.bk.tsukuba.ac.jp

[研究背景・目的] MONOS (Metal/Oxide/Nitride/Oxide/Semiconductor) 型フラッシュメモリにおける電荷捕獲層として注目されている  $\text{Si}_3\text{N}_4$  は、膜中の欠陥準位に捕獲された電荷が閾値電圧を変化させてデータの記録・消去状態を識別できるが、膜中電荷分布変化が時間をかけて起こる点や、膜質の劣化に伴い電荷保持特性が変化する点において信頼性課題となりうる。これらに関する知見をナノスケールで得ることは、メモリの微細化を進めていくうえで非常に有益な情報をもたらすと見える。 $\text{Si}_3\text{N}_4$  膜中電荷の分布変化に関しては、走査プローブ顕微鏡の一種である KFM(Kelvin Force Microscopy)を用いることで試料表面の電位を 2 次元的に取得して評価された例が過去に報告されている[1, 2]。今回は電気的ストレスによる  $\text{Si}_3\text{N}_4$  膜の劣化に関して、KFM を用いて  $\text{Si}_3\text{N}_4$  膜中の電荷捕獲箇所の電位分布の経時変化を捉えることで調査した。

[実験方法] 評価試料は、Al/ $\text{Si}_3\text{N}_4$  (5nm)/p-Si(100)の MIS 構造について、電極面積が  $100\mu\text{m}^2$  である Al 電極に -7V を 1000 秒間印加し、 $\text{Si}_3\text{N}_4$  膜中にストレス電流を注入した電極と、ストレス注入していない電極が含まれる試料を用意した。次に試料を Ar 雰囲気、 $150^\circ\text{C}$  で 1 時間アニールし、ストレス注入した箇所の  $\text{Si}_3\text{N}_4$  膜中に捕獲されている電荷を十分に放出させた。その後パターンングによりキャパシタの電極を一部剥離し、 $\text{Si}_3\text{N}_4$  膜の表面を露出させた。露出させた  $\text{Si}_3\text{N}_4$  表面について、バイアス印加した Rh コートカンチレバーを接触させながら走査し、意図的に  $\text{Si}_3\text{N}_4$  膜中に電荷を注入した。 $\text{Si}_3\text{N}_4$  膜中に電荷捕獲させた領域を KFM で評価し、表面電位像を  $500\text{nm} \times 500\text{nm}$  のスキャン範囲で取得した。その後試料とカンチレバーの距離を離し、試料を  $110^\circ\text{C}$  でアニールした。アニール後に再度 KFM により表面の電位分布の変化を観察し、MIS 構造におけるストレス注入の有無による差異を調べた。

[実験結果・考察] Fig. 1 はカンチレバーにより  $\text{Si}_3\text{N}_4$  膜中に電荷捕獲させた後に得られる  $\text{Si}_3\text{N}_4$  表面電位像の、 $110^\circ\text{C}$  の熱処理に伴う分布変化を示す。-4V にバイアスしたカンチレバーを矢印の方向に走査させており、膜中に電子が捕獲されることがわかる。また電位像のほぼ同一箇所について X 軸方向について電位プロファイルを取得し、半値幅を算出した。得られた半値幅とアニール時間の関係を Fig. 2 に示す。MIS 構造における電気的ストレスを与えることで  $\text{Si}_3\text{N}_4$  膜中に新たな欠陥が生成され、その欠陥準位を介して捕獲電子が速く拡散することで半値幅の増大がより速く進行していることが考えられる。一方、 $\text{Si}_3\text{N}_4$  膜中捕獲電荷の拡散に伴う  $\text{Si}_3\text{N}_4$  表面の電位プロファイルについて、次のようなモデルを考えた。 $\text{Si}_3\text{N}_4$  膜中に電荷がシート状に均一に捕獲されたとし、捕獲電荷は膜に対して水平方向にのみ拡散していくと仮定する。このときある時刻、ある時間における電荷の濃度は、拡散方程式で表現される。拡散方程式を解くことで得られた濃度分布についてクーロンの法則を適用すれば  $\text{Si}_3\text{N}_4$  膜表面の電位プロファイルを計算することが出来る。当日はこのモデルを、KFM で得られた半値幅の増大速度にフィッティングすることで拡散係数を見積もり、温度依存性から活性化エネルギーを算出し、MIS 構造におけるストレス注入に伴う膜中捕獲電荷の拡散変化について議論する。

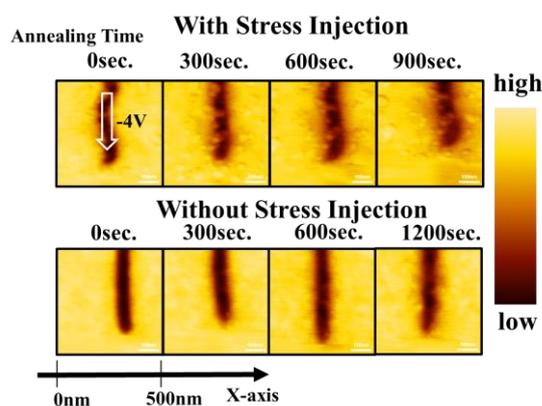


Fig. 1  $\text{Si}_3\text{N}_4$  膜に電子捕獲させた箇所における、 $110^\circ\text{C}$  のアニールに伴う電位分布変化。

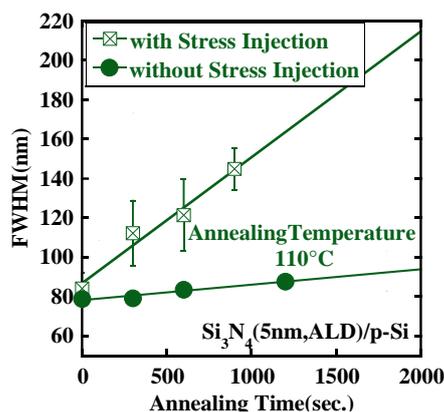


Fig. 2 電位像より得られる半値幅のアニールに伴う増大。MIS 構造におけるストレス注入を行った箇所は、半値幅がより速く増大する。

References:

- [1] S.-D. Tzeng and S. Gwo Appl. Phys. 100, 023711 (2006)
- [2] 小澤航大, 蓮沼隆, 第 78 回応用物理学会秋季学術講演会 5p-C-11-8 (2017)