硝酸酸化法によるシリコン基板と熱酸化膜の界面準位密度の低減

Decrease in Interface State Density of Thermal-SiO_2/Si(100) by The Nitric Acid Oxidation of Si (NAOS) Method

阪大産研　○市川 辰哉, 松本 健俊, 小林　光

ISIR, Osaka Univ., ○Tatsuya Ichikawa, Taketoshi Matsumoto, Hikaru Kobayashi

E-mail: h.kobayashi@sanken.osaka-u.ac.jp

我々はこれまでに、シリコンウェーハを高濃度(~70 wt%)硝酸に浸漬するだけで、極低界面準位と極低リーク電流を持つ SiO_2 膜が形成できる硝酸酸化法を実証してきた。本研究では、熱酸化膜を形成する前にシリコン表面に原子密度の高い硝酸酸化膜[1]を形成することにより、SiO_2/Si 界面の特性向上を試みた。

p 型 Si(100)基板を RCA 洗浄し、フッ化水素酸（HF）水溶液で酸化膜を除去した後、120°C の共沸硝酸に 10 分間浸漬して硝酸酸化膜を形成した。その後、酸素雰囲気中 800~1000℃で 10 分間加熱して熱酸化した。酸化膜厚は分光エリプソメトリーで測定した。<Al/SiO_2/Si(100)>ダイオード構造を形成し、コンダクタンス法を用いて界面準位を観測した。HF 水溶液で酸化膜を除去した後、原子間力顕微鏡(AFM)を用いて Si(100)表面の構造を観察した。

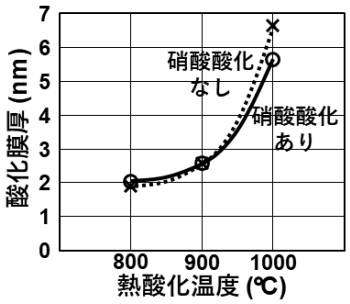

図１　熱酸化後の Si(100)表面の酸化膜厚と酸化温度の関係

図１に、酸化膜厚と熱酸化温度の関係を示す。800℃では硝酸酸化膜形成後に熱酸化した方が酸化膜が厚かったが、900℃では酸化膜の厚さが同じになり、1000℃では硝酸酸化せずに熱酸化した方が酸化膜が厚かった。

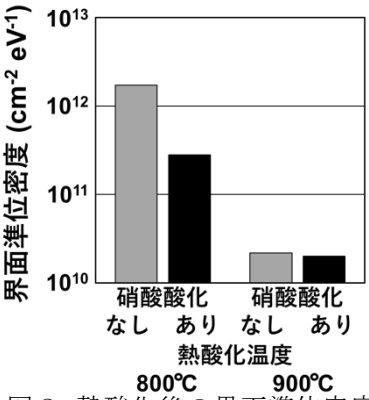

図２　熱酸化後の界面準位密度 (10kHz)

図２に、<Al/SiO_2/Si(100)>ダイオード構造について、コンダクタンス法により求めた界面準位密度を示す。800℃及び 900℃での熱酸化の前に硝酸酸化をすると、界面準位密度がそれぞれ 84%および 10%低減し、硝酸酸化膜により熱酸化後の SiO_2/Si(100)界面の特性が改善されることが分かった。

図３に、800℃での熱酸化後に HF 水溶液で酸化膜を除去した Si(100)表面の AFM 像を示す。熱酸化を行う前に硝酸酸化膜を形成した Si(100)表面では、凹凸が～1 nm であったが、それを形成しなかった Si(100)表面では、凹凸が～2 nm に増加した。

Si を熱酸化する場合、SiO_2 の形成によって体積が 2.2 倍に膨張する[2]。その結果、応力により Si が放出されたり、酸化が不均一に進んだりすると考えられている[3]。一方、熱酸化膜より原子密度の高い硝酸酸化膜[1]を低温で形成してから熱酸化すると、酸化速度が減少してシリコンの放出が抑制され、SiO_2/Si(100)界面が十分に再構成される際に、表面エネルギーがより低い平坦な表面が形成されやすくなると考えられる。このため、図３(a)の様により平坦な SiO_2/Si(100)界面が形成されたと考えられる。

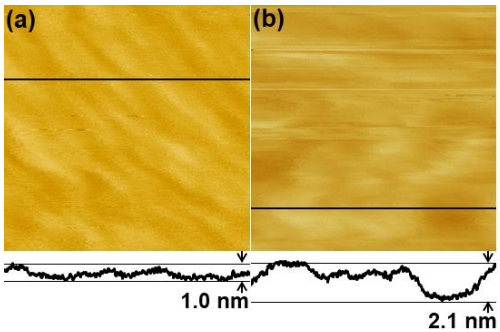

図３　800℃での熱酸化後に酸化膜を除去した Si(100)表面の AFM 像（200 nm ×200 nm）と断面 AFM 像。(a) 硝酸酸化あり、(b)硝酸酸化なし。

[1] H. Kobayashi et al., Appl. Phys. Lett. 81, 3410 (2010).
[2] C.H. Bjorkman et al., Appl. Phys. Lett. 56 (1990) 1983.
[3] K. Yamabe et al., Jpn. J. Appl. Phys. 52, 031301 (2013).

© 2018年 応用物理学会