Si ピラー酸化における Si ミッシングに関する理論検討 II

Theoretical study on Si missing in Si pillar oxidation II

影島博之 [1,4],白石賢二 [2,4], 遠藤哲郎 [3,4]
Hiroyuki Kageshima[1,4], Kenji Shiraishi[2,4], and Tetsuo Endoh[3,4]
1 島根大学, 2 名古屋大学, 3 東北大学, 4 JST-ACCEL
1 Shimane Univ., 2 Nagoya Univ., 3 Tohoku Univ., 4 JST-ACCEL
E-mail: kageshima@riko.shimane-u.ac.jp

縦型 BC-MOSFET は次世代デバイスとして大変有望であるが[1]、ゲート酸化膜形成のために縦型 Si ピラーを不用意に熱酸化すると Si が失われる Si ミッシングが発生してしまい、デバイス構造作成の障害となっている。Si ミッシング自体は以前から報告されている良く知られた現象で[2]、50-100nm 程度の直径の縦型 Si ピラーを熱酸化すると、形成された酸化膜の厚さが異常に薄くなり、酸化されただけでその場に残っているはずの Si の一部がどこかへ失われてしまう現象で、失われる量は 50%以上となることもある。我々はそれに加えて、Si ピラーの一部で過度にくびれてその場所の Si 芯が消失する現象が生じることがあることも確認している[3]。さらに我々は初期の直径と酸化膜厚、酸化温度によってどの程度消失量が変化するのかの詳細検討も行い、酸化温度 900℃で、初期直径 70nm から 100nm、酸化膜厚 20nm から 40nm の条件では、初期直径が 70nm で酸化膜厚が 40nm の時が最大の消失量となること、酸化膜厚を 40nm と固定すると初期直径が 70nm では酸化温度を 800℃より 1000℃の方が若干消失量が増えるのに対し、初期直径が 100nm では逆に消失量が減ることを見出している[4]。そして、基板の酸素濃度も消失量に関係があった。

これらの現象を予測し制御するために、我々は Si ミッシングの機構に関する理論検討を行ってきた[5]。Si ミッシングを説明しうる機構としては、(I) SiO 蒸発機構、(II) I_{Si} 拡散機構、(III) I_{SiO} 拡散機構、(IV) 酸化膜粘性流動機構、の 4 つの機構が考え得る（図）。(I)は、Si が酸化膜表面から気相中へ昇華して失われる、と考えるものである。 (II)は、Si 芯の内部を格子間 Si 原子(I_{Si})が拡散して、取り付け部から基板へ Si が失われる、と考えるものである。 (III)は、酸化膜の内部を格子間 SiO 分子(I_{SiO})が拡散して、取り付け部から基板平坦部の酸化膜へ Si が失われる、と考えるものである。(IV)は、界面付近の酸化膜が何らかの理由で極めて粘性流動性が上がり、硬い Si 芯と硬い表面酸化膜に挟まれることで絞り出されるように取り付け部から基板へ流れ出す、と考えるものである。

我々の実験結果は、界面に蓄積する応力が Si 消失量と関係していることを強く示唆している。それは、初期直径が小さいほど、酸化膜厚が厚いほど、界面に蓄積する応力は大きいはずであり、また、酸化温度が高いほど酸化膜は柔らかくなり、界面に蓄積する応力が小さくなるはずであるためである。ただし酸化速度や Si 基板の酸素濃度も Si 消失量に関係がありそうである。前回は(IV)酸化膜粘性流動機構が最も有望である理由について報告したが[6]、今回はそれ以外の 3 つの機構が考えにくい理由を中心に報告する。

謝辞) 本研究は JST-ACCEL「縦型 BC-MOSFET による三次元集積工学と応用展開」(研究代表者: 遠藤哲郎) (JPMJAC1301)の助成を受けて実施した。

[1] T. Endoh et al, IEICE Trans. Electron. **E93-C**, 557 (2010).
[2] H. I. Liu et al., J. Vac. Sci. Techol. B **11**, 2532 (1993).
[3] H. Kageshima, K. Shiraishi, and T. Endoh, Jpn. J. Appl. Phys. **55**, 08PE02 (2016).
[4] E. Fukuda et al., e-J. Surf. Sci. Nanotechnol. **15**, 127 (2017).
[5] H. Kageshima et al, Jpn. J. Appl. Phys. **57**, 06KD02 (2018).
[6] 影島他、応用物理学会 2018 年秋季学術講演会.

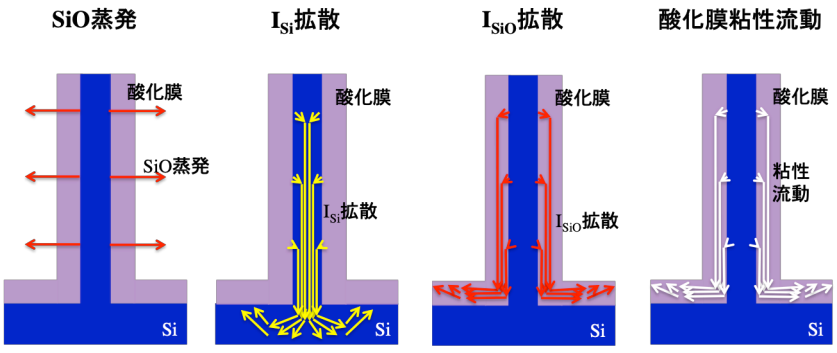

図. Si ミッシングの機構の候補。

© 2019年 応用物理学会