

Si ピラー酸化における Si ミッシングに関する理論検討

Theoretical study on Si missing in Si pillar oxidation

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[1]。しかし、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ることがわかっている。そこで、Si ミッシングの起源について、理論検討を行った[2]。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ある[3,4]。50-100nm 程度の径の縦型 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る現象で、酸化されたはずの Si の半分以上がどこかへ失われてしまう。我々はさらに、場合によっては Si ピラーの一部で過度にくびれてその場所の Si 芯が消失する現象も確認している[5]。

Si ミッシングを説明する機構としては、(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1)。(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。Si は O と反応して SiO 分子を形成すると気体となって昇華しうが、このような SiO 分子が形成されるのは一般に酸素の圧力が低い場合である。実際には、Si 界面が酸化されるほど酸素の圧力が高いのであるから、よほど表面の Si の圧力が高くなると SiO 分子が形成されるとは考えにくい。(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。しかし、これほど多量の Si が格子間に固溶して流出するとなると、Si 芯に転位などの結晶欠陥が生じておかしくないが、そのような欠陥は実験的には確認されない。また、この機構では過度のくびれが発生するとくびれより上のピラーでは Si ミッシングが抑制されるはずであるが、そのようなことも実験的には確認されていない。(III)は、酸化膜の内部を格子間 SiO 分子(I_{SiO})が拡散して、取り付け部から平坦部の酸化膜へ Si が失われる、と考えるものである。この場合、格子間に固溶した SiO が大変な速度で酸化膜中を拡散しないといけませんが、SiO の酸化膜中の拡散自体は極めて遅いと考えられるため、多量の Si 消失を説明出来ない。

残された可能性は(IV)である。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(図2)。粘性流動性が上がる原因としては SiO の混入効果および圧力効果という二種類の原因が存在し、それらによる相乗効果も存在することが我々の最近の研究でわかっており[6,7]、(IV)の酸化膜粘性流動機構が現在の所最も有力と考えられる。

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, K. Sakui, and Y. Yasuda, IEICE Trans. Electron. **E93-C**, 557 (2010).

[2] H. Kageshima, K. Shiraishi, and T. Endoh, Jpn. J. Appl. Phys. **57**, 06KD02 (2018).

[3] H. I. Liu et al., J. Vac. Sci. Technol. B **11**, 2532 (1993).

[4] E. Fukuda et al., e-J. Surf. Sci. Nanotechnol. **15**, 127 (2017).

[5] H. Kageshima, K. Shiraishi, and T. Endoh, Jpn. J. Appl. Phys. **55**, 08PE02 (2016).

[6] Y. Yajima, K. Shiraishi, T. Endoh, and H. Kageshima, Jpn. J. Appl. Phys. **57**, 06KD01 (2018).

[7] 矢島、白石、遠藤、影島、応用物理学会 2018 年秋季学術講演会。

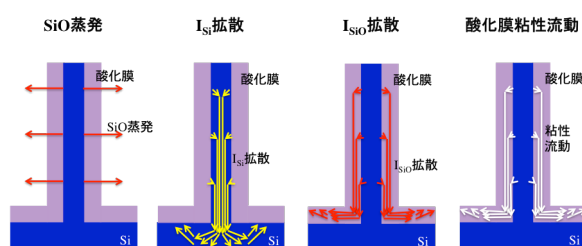


図 1. Si ミッシングの機構の候補。

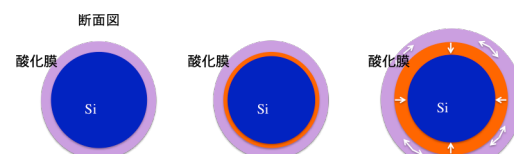


図 2. 酸化膜粘性流動機構の概念図。左から右へ時間が進むにつれて、界面に発生する新たな酸化膜が絞り出される。