

Si(110)面の酸化初期過程の放射光光電子分光解析 SR-photoemission studies on the initial oxidation of Si(110)

末光眞希^a、富樫秀晃^a、成田 克^a、加藤 篤^a、寺岡有殿^b、吉越章隆^b

Maki Suemitsu^a, Hideaki Togashi^a, Yuzuru Narita^a, Atsushi Kato^a, Yuden Teraoka^b, Akitaka Yoshigoe^b

^a 東北大学学際科学国際高等研究センター、^b 日本原子力研究開発機構

^a CIR, Tohoku Univ., ^b JAEA

次世代 CMOS テクノロジーのキーテクノロジーと目される Si(110)表面の初期ドライ酸化過程を、放射光光電子分光を用いて調べた。高温・低圧反応領域における Si(110)表面酸化物の時間発展は、3種類の時間領域からなることが明らかになった。これは従来の Si(001)表面が単独の時間領域を示すことと対照的である。Si(110)初期酸化の特徴は、同表面の原子構造によって理解可能である。

Initial kinetics in dry oxidation of Si(110) surface, a key technology in the next-generation CMOS technology, has been investigated by using synchrotron-radiation photoemission spectroscopy. As a result, the uptake curve of the Si(110) oxide in its high-pressure-low-temperature reaction regime is found to consist of three characteristic time domains, in sharp contrast with the single domain obtained on Si(001). The difference is understood in terms of the different atomistic arrangement on the surface.

背景と研究目的

Si(110)面では正孔移動度が(100)面に比して1.5~2.5倍程度大きいため[1]、より高速の電子デバイス動作が期待される。また3次元フィン型トランジスタ構造に用いられる面方位として高集積化の観点からも有望視され[2]、Si(110)面は高速化、高集積化の両者から注目を集めている。

このように次世代トランジスタ構造として重要な Si(110)面であるが、デバイス作製の鍵を握る極薄酸化膜の形成初期過程はこれまで全く解明されて来なかった。本研究は放射光光電子分光を用いることにより、Si(110)面

初期酸化の表面化学を解明することを目的とする。

実験

実験は BL23SU 表面化学実験ステーションを用いて行った。Si(110)基板をウェット洗浄した後、超高真空反応容器に導入し、600℃数時間のプリバークおよび数回の 1000-1200℃フラッシュアニールを行って清浄表面を得た。その後、基板温度を所望の酸化温度 (495-671℃) に冷却し、酸素を導入して酸化させた。酸素は指向性のないバックフィリングモードで $1.2 \times 10^{-6} - 3.2 \times 10^{-4}$ Pa の範囲で圧力を変

化させた。光電子分光は、エネルギー 684 eV の励起光を基板垂直から 53° の角度で入射させ、基板垂直方向に放出される光電子を検出して行った。

結果および考察

図 1 は、圧力 1×10^{-5} Pa の酸素分子照射下における O-1s スペクトル積分強度の時間発展である。基板温度は 671°C から 495°C まで変化させた。この結果、Si(110)表面上の酸化初期過程は従来の Si(001)表面と比べ、以下の点において際立った特徴を示すことが明らかになった。

- ① 時間発展が、(I) 表面の 1/4 ないし 1/3 が酸素導入直後に急速に酸化される急速初期酸化領域、(II)ラングミュア型の時間発展を示す飽和吸着酸化領域、(III)ラングミュア型から漸増する内部酸化領域、の 3 段階を示す。
- ② 急速初期酸化領域(I)で形成される酸化物被覆率は、ごく弱い温度依存性を示す。
- ③ 飽和吸着酸化領域(II)の飽和値は大きな温度依存性を示し、低温になるに従って増大する。

Si(001)酸化はこの温度・圧力領域で (II)の飽和吸着酸化領域のみを示し[3]、またその飽和値は温度依存性を示さない[4]。これに対し

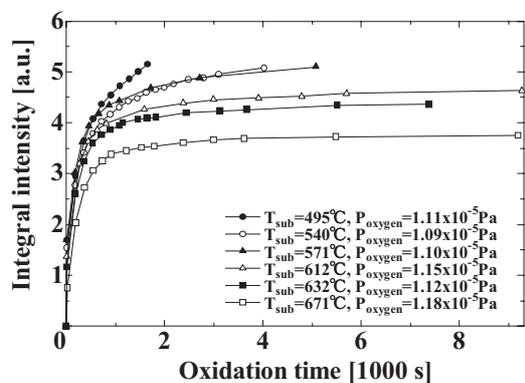


図 1 O-1s 強度の時間発展。酸化条件は基板温度 $T_{\text{sub}}=495\text{--}671^\circ\text{C}$ 、酸素圧力 $P_{\text{oxygen}}=1 \times 10^{-5}$ Pa である。

Si(110)酸化の飽和値が酸化温度の低下と共に増大することは、基板表面に酸化種の前駆体が存在し、この前駆体が関与する酸化反応と前駆体の再脱離とが競合していることを強く示唆する。このように Si(110)酸化の時間発展は Si(001)表面のそれと大きく異なることが本研究の結果、明らかになった。

図 2 は、基板温度 540°C、酸素圧力 1.1×10^{-5} Pa で酸化させた場合の O-1s スペクトルの酸素暴露量依存性を示す。急速初期酸化領域(I)にある 15 L ($1\text{L}=1.3 \times 10^{-4}$ Pa·s)では、その後と比べ、有意にピーク位置が高エネルギー側にシフトしている。ピーク分離の結果(挿入図)、このスペクトルは 154.4 及び 153.9 eV にそれぞれピークを持つ 2 成分から成ることが分かった。急速初期酸化は、高エネルギーの 154.4 eV 成分の支配によって特徴付けられている。このピークは、酸化前の Si(110)- 16×2 清浄表面に存在する Si-atom のバックボンド酸化に対応すると考えられる。

結論および今後の課題

Si(110)表面の初期酸化カイネティクスが、

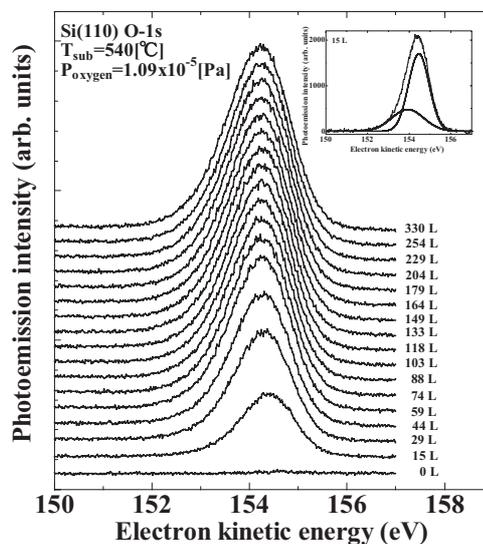


図 2 O-1s スペクトルの酸素被曝量依存性。挿入図はスペクトルのピーク分離結果である。

従来用いられてきた Si(001)表面と大きく異なることが明らかになった。こうした Si(110)初期酸化の特徴は、同表面の原子構造によって理解可能である。今後 Si(110)初期酸化過程をより詳細に解明することで、次世代 CMOS プロセスに重要な指針が得られるものと期待される。

参考文献

- 1) T. Sato, Y. Takeishi, H. Hara, Y. Okamoto, Phys. Rev. B **4** (1971) 1950.
- 2) R. Izawa, T. Kuse, S. Iijima, E. Takeda, IEDM Tech. Dig. (1987) 38.
- 3) A. Yoshigoe, K. Moritani, and Y. Teraoka: Jpn. J. Appl. Phys., **42** (2003) 4676.
- 4) M. Suemitsu, Y. Enta, and Y. Miyanishi: Phys. Rev. Lett., **82** (1999) 2334.