

顕微フォトリフレクタンス分光法を用いた Si 深掘り孔側壁に形成されるプラズマ誘起欠陥層の電子状態解析 Electronic State Analysis of Plasma-Damaged Layers at the Sidewalls of Si Deep-RIE Holes Using Micro Photorelectance Spectroscopy

京大院工¹, 学振特別研究員 DC² ◦濱野 誉^{1,2}, 占部 継一郎¹, 江利口 浩二¹

Kyoto Univ.¹, JSPS Research Fellow², ◦Takashi Hamano^{1,2}, Keiichiro Urabe¹, and Koji Eriguchi¹

E-mail: hamano.takashi.35c@st.kyoto-u.ac.jp

1. はじめに

半導体デバイスの微細化に伴い、プラズマプロセス時に固体材料表面近傍に導入される欠陥(プラズマ誘起欠陥)が、デバイス性能、信頼性に影響を及ぼしている。近年デバイス構造の3次元立体化に伴い、複雑な3次元構造作製過程における欠陥形成が懸念されている[1]。例えばトレンチ側壁における確率的欠陥形成など3次元特有の欠陥形成機構が予測され[2]、その実験的解析が期待されている。一方、微細構造体内部の局所領域における電子状態変化の同定は難しく、報告例は少ない。本研究では半導体表面の欠陥準位を非接触、高感度に評価可能な顕微フォトリフレクタンス分光法[3]を応用して、Si 深孔側壁に形成されるプラズマ誘起欠陥層の解析を試みた。

2. 顕微フォトリフレクタンス分光法による欠陥層の電子状態解析

Fig. 1(a)に示すように、プローブ光および周期的にチョップされた変調レーザー光が対物レンズを通じてSi表面に集光される。Siの表面電界が変調されることで表面領域(〜10 nm)の誘電関数が変調し、プローブ光の反射率変化が誘起される。Fig. 1(b)にArまたはSF₆プラズマに曝露したp型低抵抗Si基板に対する反射率変化の波長スペクトル(PRスペクトル)を示す。SF₆の場合のみ、特異なピークが確認される。次に上記に対応するMOS構造の電気容量特性をFig. 1(c)に示す。ガス種に依存して大きく異なる周波数分散が見られ、この特性は欠陥のバンドギャップ内エネルギー準位分布の違いに由来することが数値計算により示唆されている[4]。以上の結果は、PRスペクトルの評価により欠陥層の電子状態を高感度に解析可能であることを意味する。

3. Si 深孔側壁表面の欠陥準位評価

Boschプロセス(SF₆, C₄F₈ガス)を用いてp型低抵抗Si基板内に深孔(30 μm角, 深さ150 μm)を作製し、その後SF₆プラズマに15秒曝露した。プローブ光のスポット径を25 μmとし、孔側壁の中央領域を測定した。Fig. 1(d)にPRスペクトルを示す。特異なピークの発現が見られ、側壁への確率的イオン衝撃に伴う微量の欠陥準位形成(電子状態変化)が確認できる。

4. おわりに

高性能デバイス設計には、材料内に残留する欠陥の本質的特性である電子状態の解明が不可欠である。本研究では、光学的欠陥解析手法を駆使してSi深掘り孔側壁での欠陥準位形成を同定した。本手法は、3次元微細構造におけるプラズマ誘起欠陥層形成機構の理解に有用である。

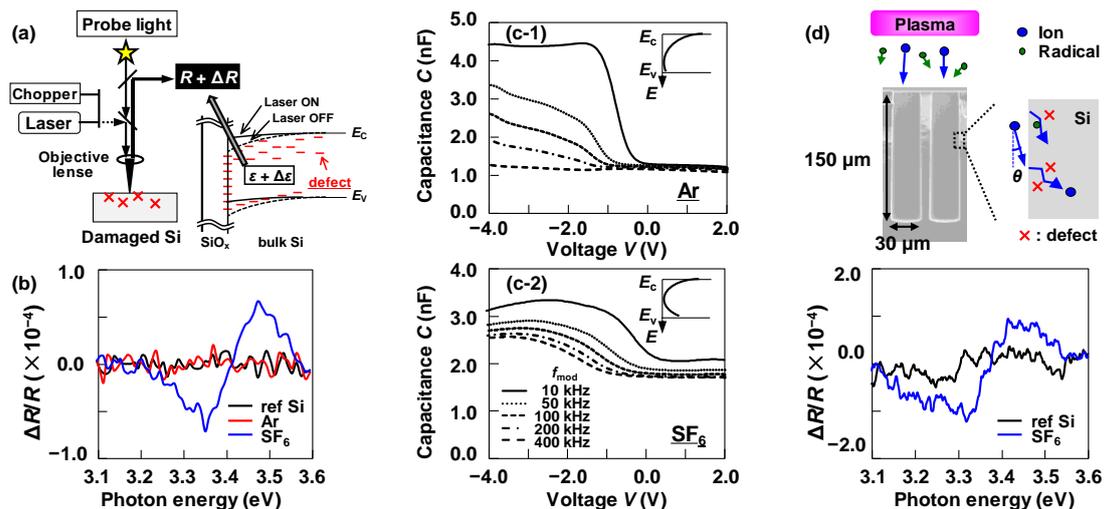


Fig. 1 (a) Schematics of micro photorelectance (PR) spectroscopy. (b) PR spectra for damaged Si substrates.

(c) $C-V$ characteristics of damaged MOS structures by (1) Ar and (2) SF₆ plasma exposures.

(d) PR spectra of a sidewall of a Si hole after SF₆ plasma exposure.

謝辞 本研究の一部は科研費(20J22727)の助成を受けて行われた。また、名古屋大学低温プラズマ科学研究センター、京都大学微細加工プラットフォームの支援を受けて実施された。

参考文献

- [1] K. Eriguchi, Jpn. J. Appl. Phys. **60**, 040101 (2021). [2] K. Eriguchi *et al.*, Jpn. J. Appl. Phys. **53**, 03DE02 (2014). [3] A. Matsuda *et al.*, Jpn. J. Appl. Phys. **53**, 03DF01 (2014). [4] T. Hamano *et al.*, Proc. SISPAD, 125 (2020).