

ラマン分光法および PL 法を用いた Si トレンチ加工による結晶欠陥評価 Evaluation of crystal defects by Si trench processing using Raman and photoluminescence spectroscopy

○小原 賢聖¹、佐竹 雄太¹、吉際 潤²、嵯峨 幸一郎²、岩元 勇人²、
門 龍翔¹、澤本 直美^{1,3}、横川 凌^{1,3}、小椋 厚志^{1,3}、

(1. 明治大理工、2. ソニーセミコンダクタソリューションズ(株)、

3. 再生可能エネルギー研究インスティテュート)

○M. Koharada¹, Y. Satake¹, J. Yoshigiwa², K. Saga², H. Iwamoto²,

L. Men¹, N. Sawamoto^{1,3}, R. Yokogawa^{1,3}, and A. Ogura^{1,3},

(1. Meiji Univ. 2. Sony Semiconductor Solutions 3. Meiji Renewable Energy Laboratory)

E-mail: ce191023@meiji.ac.jp

【背景と目的】 FinFETの形成工程において、Si をトレンチ状に加工するが、トレンチ側壁にはゲート絶縁膜を形成するため、Siの側壁の加工ダメージの低減が必要とされている[1,2]。また、トレンチ加工プロセスによって生じる欠陥を検出し、定量的に評価する手法の確立が求められている。そこで本研究では、Siトレンチ構造に対し、高空間分解能を有するラマン分光法およびフォトルミネッセンス(PL: Photoluminescence)法を用いてSi結晶の欠陥評価を試みた。

【実験】 Si基板にエッチングで幅 150 nm、深さ 1.5 μm のトレンチを作製した。この試料に対し、トレンチ加工によるダメージの回復を目的とした熱処理を施した。熱処理前後の Si 基板表面の歪および結晶状態はラマン分光測定で評価した。励起光源の波長は 355 nm であり、Si に対する侵入長は約 5 nm となり、試料最表面の情報を取得した。分光器の焦点距離は 2000 mm であり、0.1 cm^{-1} という高い波数分解能を得た。Si 結晶の欠陥準位は PL 装置を用いて測定した。励起光源の波長、試料ステージの温度はそれぞれ 532 nm、4 K とした。レーザーのスポット径は約 50 μm であり、トレンチの幅 150 nm に対し一度に複数のトレンチのデータを得た。また、トレンチの形状を走査型電子顕微鏡 (SEM: Scanning Electron Microscope) および断面透過型電子顕微鏡 (TEM: Transmission Electron Microscope) で評価した。

【結果・考察】 図 1 にトレンチ加工部分の Si のラマンスペクトルのラマンシフトと半値幅を示す。熱処理前の試料の半値幅の増大は低波数側へのブロードによるもので、結晶欠陥の増加を示しており、高波数側へのラマンシフトは欠陥による圧縮歪の発生を示していると考えられる。熱処理後の試料のラマンシフトは、結晶 Si と同等まで減少したが、半値幅は未回復であり欠陥が残留していることが示唆された。ラマンシフトは、歪から間接的に欠陥の存在を示すことができるが、欠陥以外の要因も考えられる。一方で、欠陥によって結晶内の運動量保存則の緩和が生じ、 Γ 点以外のフォノンが励起され、低波数側へブロードニングが生じることから、半値幅は欠陥の存在を直接的に示すことができる。ヘビードーピングや微細加工が原因でブロードニングが生じていると考えにくいことから、半値幅での議論が有意である。4 K の PL 測定で得られた、トレンチ加工部分の PL

スペクトルを図 2 に示す。波長 1220~1320 nm の領域に、熱処理前の試料にのみ複数のピークが確認された。長波長領域では感度向上のために、測定時の積算回数を 10 回から 1000 回に増やしたところ、Si のミッドギャップエネルギー付近の波長である 2050 nm にもピークが確認できた(図インセット)。これらのピークは熱処理により消滅した。エッチングによる Si 結晶のダメージが複数の欠陥準位を形成し、熱処理により結晶欠陥が回復したことを示している。以上より、トレンチ最表面のエッチングダメージを敏感に検出可能な UV ラマン分光法、および深い欠陥準位を検出可能な PL 法は、トレンチ加工によるエッチングと熱処理による影響を評価する手法として有効であると考えられる。

[1] 斧 高一 他, J. Plasma Fusion Res. vol. 85, no. 4, pp.165-176 (2009).

[2] K. Endo, *et al.*, IEEE Trans. Electron Device, vol. 53, no. 8, pp.1826-1833 (2006).

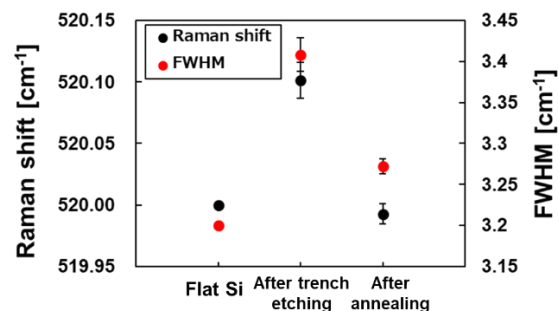


Fig. 1 Raman shifts and full width at half maximum of Si spectra of trench processing area by UV Raman spectroscopy.

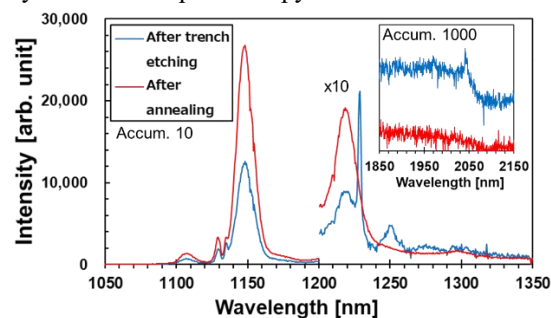


Fig. 2 Photoluminescence spectra of the trench processing area at 4 K.