

赤外パルスレーザー照射による SiO₂/Si 界面準位形成 SiO₂/Si Interface Trap Buildup Induced by Infrared Pulse Laser Irradiation

東大院工¹, JAXA 宇宙研²

○野村 啓太^{1,2}, 井辻 宏章^{1,2}, 小林 大輔^{1,2}, 廣瀬 和之^{1,2}

Univ. Tokyo¹, ISAS/JAXA²

◦Keita Nomura^{1,2}, Hiroaki Itsuji^{1,2}, Daisuke Kobayashi^{1,2}, and Kazuyuki Hirose^{1,2}

E-mail: k.nomura@ac.jaxa.jp, hirose@isas.jaxa.jp

【研究背景】

放射線環境下の半導体デバイスの劣化モードの一つに、トータルドーズ効果(TID: Total Ionizing Dose effect)がある。それはデバイスが累積的なダメージを受け諸特性が劣化する効果である。この効果はデバイス内に発生した電荷が絶縁酸化膜中の固定電荷や界面準位を発生させることに起因する。Si 系デバイスにおける放射線起因の SiO₂/Si 界面準位形成は、次の過程で起こると考えられている[1]。①入射箇所に電子正孔対が大量に発生する。②正孔が SiO₂中に存在する Si-H 基と反応し、プロトン(H⁺)を放出する。③界面に到達したプロトンが界面水素終端 Si-H 基と反応し、Si 未結合手(P_b⁺)を生成し、これが界面準位を形成する。このように、SiO₂由来のプロトンが重要な役割を果たしていると考えられている。この事は我々の XPS 実験でも確かめられている[2]。一方、民生用 p-MOSFET で顕在化している劣化モードである負バイアス温度不安定性(NBTI)では、ゲート負バイアスに起因して SiO₂/Si 界面近傍に生成される正孔が界面終端水素の結合を切断し、SiO₂/Si 界面準位が形成されると考えられている[3]。すなわち、プロトンを介さない界面準位形成の原理である。従って放射線起因の場合も②のプロトン放出過程を経ず、正孔が界面準位形成をする可能性があるが、それについてはこれまで検証されていない。そこで今回それを検証するため、SiO₂内にプロトン放出に繋がる電子正孔対を発生させず、Si 内のみ電子正孔対を発生させる赤外波長のレーザーを照射して、界面準位形成の有無を調べた。

【実験方法】

試料は熱酸化膜 3 nm の SiO₂/Si(100)を使用し、赤外フェムト秒パルスレーザー(λ=1.26 μm)を試料に照射した[4]。このパルスレーザーでは電子正孔対を二光子吸収過程で励起した。レーザーのスポットサイズはおよそ直径 1 μm である。三軸ステージ上に試料を固定し、ステージを動かしながら 1 mm × 1 mm の範囲にレーザーを照射した。その後、レーザーを照射した試料と照射していない試料に対して、ESCALAB220i_XL を用いて XPS 時間依存測定[5]を行い、界面準位密度を測定した。界面準位密度は、n, p 型の試料で基板 Si の Si2p_{3/2} 電子の結合エネルギーのリジッドシフトを測定し、界面付近の電荷の釣り合いから求めた。ただし、レーザー照射前後で電荷中性点は等しいとした。

【結果】

Fig.1 には、レーザー照射前後の XPS 時間依存測定における、X 線を当て続けた際の基板 Si の Si2p_{3/2} 電子の結合エネルギーの経時変化を示す。レーザー照射の結果 n 型において結合エネルギーの低下が見られた。回帰分析によって界面付近の初期結合エネルギー(Time=0 sec.)を求め、界面付近の電荷密度を推定し、界面準位密度を算出した。その結果を Table.1 に示す。プロトン生成の原因とされる SiO₂中での電子正孔対生成が無い実験条件であるにも関わらず、n 型において界面準位密度が一桁増加する結果が得られた。Si 中に生成された正孔が界面準位を形成している可能性を見出した。今後は p 型について検証し、バイアス起因でない正孔による界面準位形成の有無を検証する。また、測定回数を増加させることによって結合エネルギーの誤差を評価し、算出される界面準位密度の変化量について定量的に検証した結果を報告する予定である。

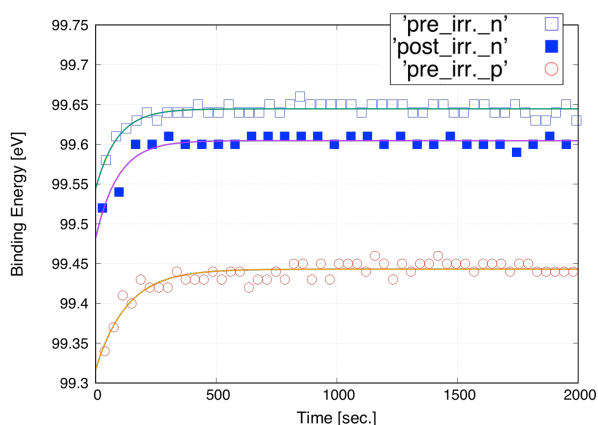


Table. 1. Binding energy and resultant interface trap density before and after laser irradiation for n-type and before laser irradiation for p-type Si.

	Binding Energy [eV]	Interface trap density [cm ⁻² eV ⁻¹]
Pre-irr. n-Si	99.54	3.53x10 ¹¹
Post-irr. n-Si	99.48	2.02x10 ¹²
Pre-irr. p-Si	99.31	3.53x10 ¹¹

*irr.: irradiation

Fig. 1. Time dependence of Si2p_{3/2} binding energy before and after laser irradiation for n-type Si and before laser irradiation for p-type Si.

[1] S. N. Rashkeev, *et al.*, *IEEE Trans. Nucl. Sci.*, 48 (6) 2001, pp. 2086-2092.

[2] S. Toguchi, *et al.*, *RADECS 2017*, to be presented.

[3] D. K. Schroder and J. F. Babcock, *J. Appl. Phys.*, 94 (1) 2003, pp. 1-18.

[4] H. Itsuji, *et al.*, *Jpn. J. Appl. Phys.* 56 (4S) 2017, p. 04CD16.

[5] K. Hirose, *et al.*, *Prog. Surf. Sci.*, 82 (1) 2007, pp. 3-54.