

X線照射による SiO₂ 表面帯電の自発的補償機構Self-compensation mechanism of X-ray induced charge-up on SiO₂ surface早大理工¹, 宇宙研²○張江 貴大^{1,2}, 津吹 優太², 岡田 啓太郎^{1,2}, 小林 大輔², 山本 知之¹, 廣瀬 和之^{1,2}Waseda Univ.¹, ISAS/JAXA²○Takahiro Harie^{1,2}, Yuta Tsubuki², Keitaro Okada^{1,2},Daisuke Kobayashi², Tomoyuki Yamamoto¹, Kazuyuki Hirose^{1,2}E-mail: takahiro.harie@ac.jaxa.jp, hirose@isas.jaxa.jp

【背景と目的】X線光電子分光法(XPS)は、Si系デバイスを構成する物質をはじめとする種々の物質の表面分析に広く用いられている。絶縁体試料のXPS測定の際にX線照射により生じる試料表面の帯電は測定に影響を与える。その帯電の補償に関する研究はこれまでに数多くされてきたが、そのメカニズムについては未だ明らかでない部分も多い。Cazauxは、試料が自発的に起こす帯電補償のモデルを提案している[1]。そのモデルでは、X線侵入深さ R_D が絶縁体の厚さより大きい場合、接地した試料ホルダから絶縁体に試料ホルダ内で励起された電子が自発的に注入され表面の帯電を低減していると説明している。ここで、X線侵入深さ R_D とは、X線が物質に侵入できる平均深さを表す。これまで我々は、Si基板上に形成した1 μm の熱酸化膜(SiO₂)を用い、X線侵入深さ R_D に対する帯電量の評価をXPSで行ってきた[2]。その結果から、X線侵入深さ R_D が熱酸化膜の厚さより大きい条件では、帯電がほぼ起きていないことを明らかにし、Si基板内でX線によって励起された電子がSiO₂表面の帯電を自発的に補償していることを示唆する知見を得た。表面の帯電を低減するために、Si基板内でX線によって励起されSi基板からSiO₂膜に注入される電子の量(注入電流)はX線侵入深さ R_D に依存すると考えられるが、その依存性は報告されていない。本研究では、両者の関係を検証することを目的とし、接地した試料ホルダからSi基板に流れ込む電流(試料電流)を定常状態では注入電流と等価であるとみなし、X線侵入深さ R_D に対する注入電流の大きさを評価した。

【実験方法】試料にはp型Si<100>基板上に形成した1 μm の熱酸化膜を用いた。試料電流の測定はUVSORのBL2Aで行った。X線の単色化には分光結晶InSb(111)を用い、X線の入射角度とエネルギーを変え、X線侵入深さ R_D に対する試料電流 I_s を測定した。ただし、Si 1s軌道の電子の結合エネルギーは約1840 eVであるため、この電子を励起できる1880 eVのX線の侵入長 R_L は1.76 μm であり、励起できない1820 eVのX線の侵入長 R_L は13.0 μm である。入射X線強度は、試料より光源側に設置した金メッシュで測定した。

【結果と考察】Fig. 1にX線侵入深さ R_D に対する試料電流 I_s を示す。これより、注入電流はX線侵入深さ R_D に依存することが明らかにできた。XPS測定でX線侵入深さ R_D が熱酸化膜厚(1 μm)より大きい条件では、帯電がほぼ起きず、X線侵入深さ R_D が熱酸化膜厚(1 μm)より小さい条件では、帯電があることがわかっている[2]。帯電しない条件における注入電流は、Si基板内でX線によって、励起された電子に起因すると考えられる。一方、帯電する条件では、X線侵入深さ R_D が酸化膜厚以下であるが、X線侵入深さ R_D はX線がSiO₂もしくはSiに侵入できる平均深さを表す値であるため、少なからずSi基板にX線は到達していると考えられる。このため、注入電流には、励起された電子に起因する成分と、帯電により表面ポテンシャルが大きくなったことによるリーク電流成分が含まれていると考えられる。

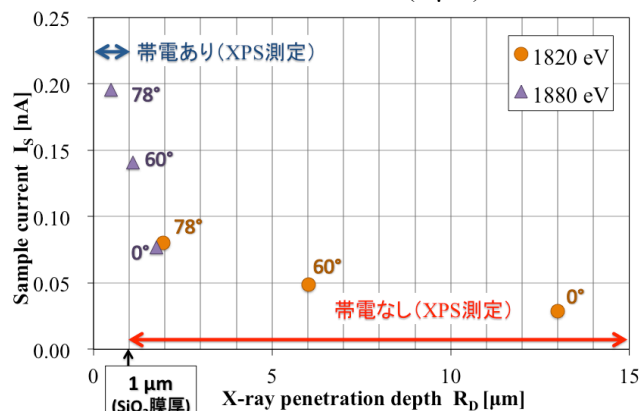


Fig. 1. Sample current I_s vs. X-ray penetration depth R_D (SiO₂ thickness: 1 μm).

[1] J. Cazaux, J. Electron Spectrosc. Relat. Phenom. **178-179** (2010) 357-372.

[2] 津吹優太, 小林大輔, 廣瀬和之, 秋季第76回応用物理学会学術講演会, 16a-2D-7, 2015年9月, 愛知.