

SiO₂/Si 構造の真空紫外光電子分光分析Vacuum Ultraviolet Photoelectron Spectroscopy Study of SiO₂/Si Structure名大院工¹, 産総研 GaN-OIL² °今川 拓哉¹, 大田 晃生¹, 田岡 紀之²,藤村 信幸¹, 池田 弥央¹, 牧原 克典¹, 宮崎 誠一¹Grad. School of Eng., Nagoya Univ.¹, AIST GaN-OIL² °T. Imagawa¹, A. Ohta¹, N. Taoka²,N. Fujimura¹, M. Ikeda¹, K. Makihara¹, S. Miyazaki¹

E-mail: imagawa.takuya@f.mbox.nagoya-u.ac.jp

序>これまで、Si や SiO₂ などの固体表面の真空準位(VL)から価電子帯上端位置までのエネルギー差は、He I(入射光エネルギー(hv): 21.2eV)および He II(hv: 40.8eV)を用いた紫外光電子分光(UPS: Ultraviolet Photoelectron Spectroscopy)により定量されている。さらに、X 線光電子分光法で評価した SiO₂/Si 界面の価電子帯オフセットを考慮し、VL の差を調べることで SiO₂/Si 界面のダイポールが評価できる[1]。分析深度の観点から、He I や He II を用いた UPS では光電子の脱出深さは表面数原子層に相当するため、数 nm の SiO₂ 越しに SiO₂/Si 界面を評価することは難しく、表面汚染の影響も受けやすい。そこで、本研究では、分析深度を大きくするために[2]、He I や He II よりも入射光エネルギーが小さい真空紫外光を用いた UPS により、SiO₂/Si 構造の電子状態および界面ダイポールの評価を行った。

実験方法>p型Si(111)基板(比抵抗: ~10 Ω·cm)を化学溶液洗浄により表面水素終端した後、1000°Cの熱酸化により厚さ~2.7 nmのSiO₂を成長した。その後、重水素ランプを単色化した真空紫外光(6.50~10.50 eV、エネルギー分解能<50 meV)を用いたUPSにより測定した。

結果及び考察>Fig.1 に、異なる入射光エネルギーで測定した水素終端 Si(111)の UPS スペクトルを示す。結合エネルギーは、試料のフェルミレベルを基準とするため、入射光エネルギーに依らず価電子帯信号の立ち上がりは一定であることが確認できる。また、入射光エネルギーの増大に対応して高結合エネルギー側の二次光電子信号がシフトし、UPS スペクトルのエネルギー幅が増大する。特に、二次光電子信号の最大強度の3%程度のエネルギー位置に注目すると、その立ち上がりは入射光エネルギーに比例してシフトする。入射光エネルギーと UPS 信号のエネルギー幅の差は VL から価電子帯上端位置までのエネルギー差に相当する。そこで、各スペクトルにおいて、価電子帯信号の立ち上がりを 0eV とし、二次光電子信号の最大強度の3%をしきい値として算出した測定信号のエネルギー幅を入射光エネルギーに対してまとめた(Fig.2)。最小二乗法により直線外挿し、エネルギー軸との切片より、水素終端 Si(111)の価電子帯上端位置は 5.00±0.05eV であることが分かった。また、入射光エネルギーが 8.5eV 以下で、厚さ 2.7 nm の SiO₂/Si(111)構造の UPS スペクトル幅は入射光エネルギーに比例して変化することから、SiO₂ 越しに下地 Si(111)の信号が検出されている。同様の直線外挿により見積もった下地 Si(111)の価電子帯上端位置は 5.20±0.05eV であり、水素終端 Si(111)と比べて 0.20eV 大きい。この差は、水素終端 Si(111)表面と熱酸化 SiO₂/Si 界面のダイポールの違いに起因すると考えられ、厚さ 2.7 nm の SiO₂ 越しに直接ダイポールによる電位変化を観察できることを示している。

結論>入射光エネルギー可変の真空紫外光を用いた UPS 分析により、水素終端 Si(111)表面の価電子帯上端位置を 5.00±0.05eV と定量し、厚さ 2.7 nm の熱酸化 SiO₂ 越しに評価することで SiO₂/Si 界面に 0.20±0.05eV の界面ダイポールが存在することを明らかにした。

謝辞>本研究の一部は、科学研究費補助金(15H05520)の支援を受けて行った。文献>[1] T. E. Cook Jr, J. Appl. Phys., **93**, 3995 (2003). [2] D. R. Penn, J. Electron Spectrosc. **9**, 29 (1976).

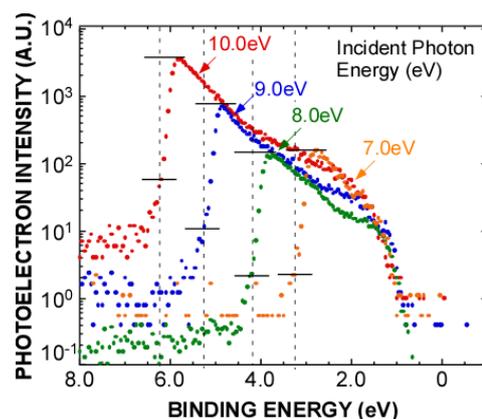


Fig. 1 UPS spectra taken for H-terminated p-type Si(111) surface measured at different incident energies.

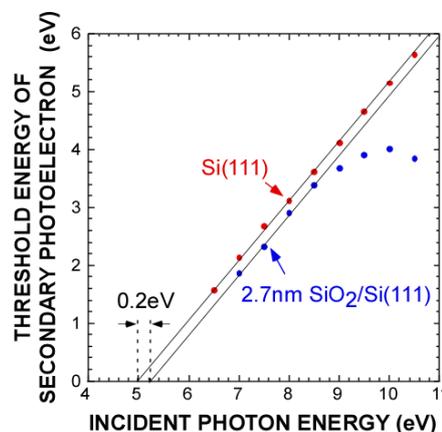


Fig. 2 Spectral width of UPS signals for 2.7-nm-thick thermally-grown SiO₂/Si(111) and H-terminated Si(111) surface.