

半導体原子欠陥とポテンシャルの揺らぎ 光 STM によるナノスケールでの計測と評価

筑波大理工, CREST 吉田昭二, 蟹谷裕也, 武内修, 重川秀実

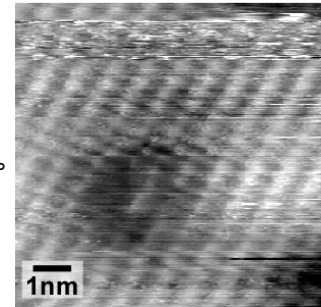
半導体エレクトロニクスでは、極微量の欠陥が素子の動作特性を大きく変動させることが知られているが、近年の半導体素子の微細化に伴い、個々の欠陥や不純物の特性を原子レベルで評価する必要性が更に高まってきている。走査トンネル顕微鏡(STM)はその高い空間分解能から欠陥の局所構造や電子状態の解析に用いられているが、III-V 族化合物半導体などでは劈開面を測定することで、表面欠陥に限らずバルク中の欠陥を観測することも可能であり非常に優れた手法と言える。

本研究では、光変調トンネル分光法¹を用いて n-GaAs(110)劈開面上で表面光起電力(SPV)計測を行った。劈開面上で現れる Ga 空孔及び原子ステップにより誘起される半導体中の静電ポテンシャル揺らぎを nm の空間分解能で計測し、個々の欠陥の電荷量を決定した。

図(a)に n-GaAs(110)(Si-doped $2.0 \times 10^{18} \text{cm}^{-3}$)における Ga 空孔の STM 像と図(b)に同領域にて計測した SPV 像($V_s = +1.7\text{V}$)を示す。図(a)のように filled state で空孔は欠陥中央の輝点の周囲が暗く観測される。SPV 像(図(b))では、空孔の持つ負電荷により生じた遮蔽クーロンポテンシャルを反映して、欠陥中央で極大値を持つ SPV が欠陥から離れるにつれて指数関数的に減衰する様子が観測されている。半導体表面上の遮蔽クーロンポテンシャルは、以下の式で表すことが出来る。(a)

$$\phi(r) = \frac{2ne}{4\pi\epsilon_0\epsilon_s r} \exp(-r/R_S)$$

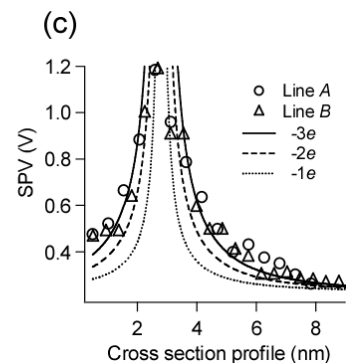
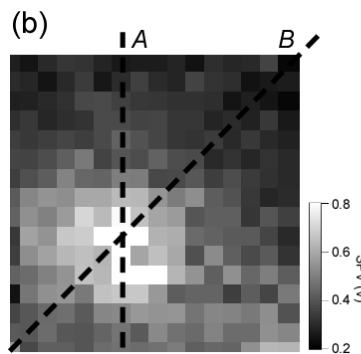
R_S は半導体のデバイ遮蔽長(= 4.4nm)、 n は欠陥の電荷量であり、n-GaAs 中の Ga 空孔の電荷量は理論的に $-1e \sim -3e$ の状態を取りうるかとされている。図(c)に示した SPV の断面プロファイルと遮蔽クーロンポテンシャルの計算結果を比較すると、SPV の断面プロファイルは電荷量 $-3e$ の計算結果と最もよく一致することが明らかになった。近年の陽電子消滅を用いた実験²でも同様の結果が得られていたが、本結果は、原子スケールで解析し



n-GaAs 上 Ga 空孔の STM 像
た初めての結果であり、Ga 空孔の電荷量は $-3e$ であると結論することが可能になった。発表では、原子ステップでの実験結果についても合わせて紹介する。

http://dora.bk.tsukuba.ac.jp/
参考文献:

1. S. Yoshida et al., Phys. Rev. Lett. 98, 26802 (2007)
2. J. Gebauer et al., Phys. Rev. B. 67, 235207 (2003)



(b) SPV 像($V_s = +1.7\text{V}$) (c) (b)より取得した SPV の断面プロファイル(○、△)と遮蔽クーロンポテンシャル(線)の計算結果