



## Si 中にドーピングした不純物の軟 X 線光電子分光

筒井一生<sup>1</sup>、高橋慶太<sup>1</sup>、下村勝<sup>2</sup>

<sup>1</sup>東京工業大学大学院総合理工学研究科、<sup>2</sup>静岡大学工学部

### 1. 背景と研究目的

Si の微細 C-MOS トランジスタでは、高濃度ドーピングした不純物を効率良く電氣的に活性化させる必要があるが、その活性化濃度には上限が存在する。この原因は不純物のクラスター化による不活性化にあると考えられているが、その構造を実験的に観測することはまだ困難である。この課題に対して、光電子ホログラフィーによる不純物の原子配列構造の解明を目指している。本研究では、まず、Si 中の As を対象にその異なる状態を検出し[1,2]、それらの成分毎に光電子回折現象を捉えることを目的とした。

### 2. 実験内容

Si ウエハ表面に、As をイオン注入 ( $3 \text{ keV}$ ,  $5 \times 10^{14} \text{ cm}^{-2}$  or  $1.5 \times 10^{15} \text{ cm}^{-2}$ ) してから spike-RTA (rapid thermal annealing)法による熱処理 (ピーク温度:  $1050 \text{ }^\circ\text{C}$  or  $1000 \text{ }^\circ\text{C}$ ) で活性化させた。これに、オゾン雰囲気中での表面酸化を用いる方法[1]で、表面から異なる深さにエッチングした試料を準備した。これらの試料を BL7U に設置されている光電子分光システムを用いて、入射光子エネルギー  $200 \sim 500 \text{ eV}$  で Si  $2p$  および As  $3d$  の内殻光電子分光を行った。そして、光電子検出角の  $\varphi$  ([100]方向) スキャン機能、および試料の傾斜角  $\theta$  ([010]方向) 変化を組み合わせ、光電子強度の取り出し方向の依存性を測定した。

### 3. 結果および考察

得られた As  $3d$  内殻光電子スペクトルの例を Fig.1 (a) (b)に示す。それぞれ、 $\theta=0^\circ$  および  $\theta=55^\circ$  (ダイヤモンド構造に対して回折ピークが期待される方向) で  $\varphi=0^\circ$  は共通である。試料は、ドーズ:

$5 \times 10^{14} \text{ cm}^{-2}$ 、熱処理温度:  $1050 \text{ }^\circ\text{C}$ で、表面エッチング無しのものである。As の三つの化学結合状態が分離できることが確かめられた。このうち、結合エネルギーの最も高い状態 (BEH) が活性な As に対応することが既に示されている[2]。各ピークの強度の  $\theta$  依存性を抽出した結果を Fig.1 (c)(d)に示す。スペクトル成分毎に分離した光電子強度の  $\theta$  依存性が観測された。しかし、この結果の範囲では S/N 比はまだ充分高く無いため、光電子回折に帰因する強度分布を正確に抽出するには至っていない。今回の測定では、As の活性化率の表面濃度依存性の基礎データを得ることもでき、光電子ホログラフィー観測に向けた試料条件の絞り込みに有用な結果を得た。なお、本実験の成果を基に新たな実験を実施し、2016年に Si 中 As の光電子ホログラフィー観測に成功した[3]。

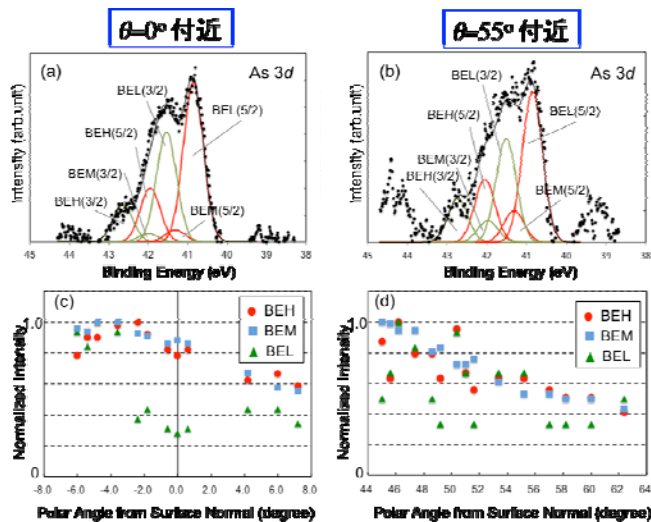


Fig.1 Si 中 As の As  $3d$  スペクトル(a)  $\theta=0^\circ$  (b)  $\theta=55^\circ$ 、および結合エネルギー成分 (BEH, BEM, BEL) ごとの積分強度 (最高値で規格化) の各  $\theta$  の中心値前後の  $\theta$  依存性 ((c), (d))。

### 4. 参考文献

1. K. Tsustui *et al.*, J. Appl. Phys., 104, 093709 (2008),
2. J. Kanehara *et al.*, Ext. Abs. Int. Conf. on Solid State Devices and Materials, Sept., 2011, Aichi, Japan. pp 28-29.
3. 名取 他、第 77 回秋季応用物理学会学術講演会、新潟、2016 年 9 月、16a-B10-3.