



# Si 中に超短時間熱処理でドーパされた As の活性化状態の軟 X 線光電子分光

筒井一生<sup>1</sup>、小川達博<sup>1</sup>、星井拓也<sup>1</sup>、永山勉<sup>2</sup>、樋口隆弘<sup>2</sup>、加藤慎一<sup>3</sup>、谷村英昭<sup>3</sup>

<sup>1</sup>東京工業大学、<sup>2</sup>日新イオン機器(株)、<sup>3</sup>(株)SCREEN セミコンダクターソリューションズ

キーワード：半導体，不純物ドーピング，Si, As, 電氣的活性化

## 1. 背景と研究目的

半導体 Si にドーパした不純物を電氣的に活性化させる濃度には上限がある。その制御技術の開発を最終目的として、光電子分光と光電子ホログラフィーの手法で不純物原子の Si 結晶中での原子レベルの構造評価を進めている[1]。今回は、非熱平衡的に高濃度活性化が可能なフラッシュランプアニール (FLA) 法で不純物 As の活性化処理をした試料を軟 X 線光電子分光で分析した。

## 2. 実験内容

Si(100)ウエハに As を 5 keV で  $1.5 \times 10^{15} \text{ cm}^{-2}$  で注入後、ピーク温度 1350 °C で FLA 処理したウエハを測定対象にした。このウエハを、オゾン雰囲気での表面酸化と形成された酸化膜をエッチングするプロセスを繰り返すステップエッチング法で、表面から 15 nm 程度まで段階的にエッチングした試料を準備した。これらの試料において BL7U の光電子分光システムを用いて As3d 内殻光電子スペクトルを測定した。

## 3. 結果および考察

例として、エッチング無しの試料と約 12 nm までエッチングした試料に対して得られた光電子スペクトルを図 1 に示す。(入射光子エネルギーは 350 eV) これまで、通常の高速度アニール (RTA) で処理された試料で観測されたのと同じく、FLA 試料でも BEH, BEM, BEL とラベリングした 3 つのピークが観測された。最近の光電子ホログラフィーによる分析から、BEH は Si 結晶の格子サイトにはいって電氣的に活性化 As、BEM は空孔を伴う  $\text{As}_n\text{V}$  ( $n=2\sim 4$ ) 形クラスター構造、BEL はランダム構造のいずれも不活性化 As 起因のピークであることが示されている[1]。

As3d のスペクトル全体の積分強度を、同ウエハで別途測定した As 濃度の SIMS プロファイルと合わせ込んで校正し、BEH (活性化成分と考えられる) の濃度プロファイルを求めて図 2 に示す。従来の通常アニール ( $\sim 1,000 \text{ }^\circ\text{C}$  の RTA) に比べて、特に表面付近では高い活性化率と活性化 As の濃度が得られていることがわかった。今後、不活性化クラスターも含めて、原子配列構造の評価に進められる基礎データが得られた。

## 4. 参考文献

1. K. Tsutsui *et al.*, Nano Lett., 17, 7533, (2017).

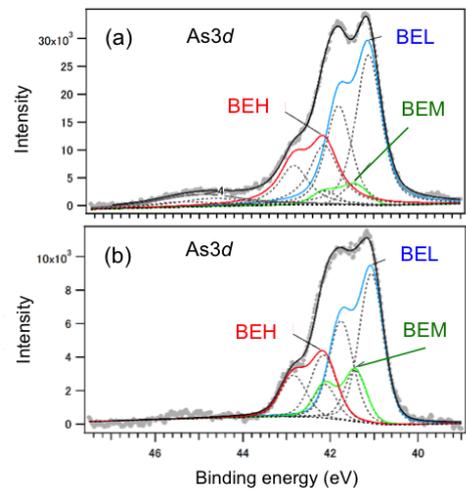


図 1 As3d 光電子スペクトル。(a) エッチング無し、(b) 12nm エッチング後

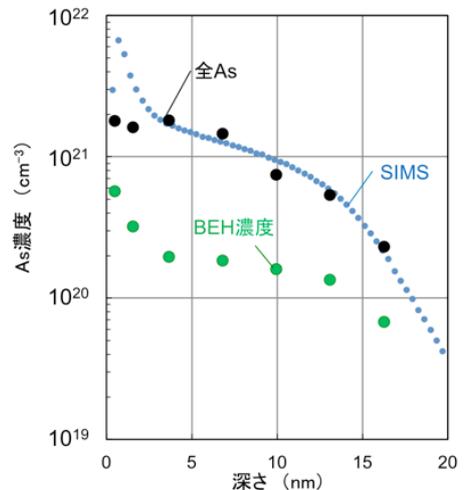


図 2 全 As 濃度および BEH ピークの As 濃度の深さ分布。SIMS プロファイルと合わせて表示