



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¹、名取 鼓太郎²

¹東京工業大学科学技術創成研究院、²東京工業大学工学院

キーワード：半導体、不純物ドーピング、Si, As, 不純物クラスター

1. 背景と研究目的

半導体にドーピングした不純物を電氣的に活性化できる濃度には上限があり、この原因は不純物のクラスター化にあると考えられている。その制御技術の開発にはその構造の直接観測が望まれる。我々は昨年、Si 中の As の原子配列を光電子ホログラフィーで捉えることに成功した。本研究は、この手法での構造解析の精度を上げ、クラスター形成を制御する技術の開発をめざし、プロセス条件に依存した異なる As のクラスター形成状態の試料を作製しその基礎データを取得す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 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°C or 1000°C) とさらに 1050°C -1 分、 700°C -10 分の追加熱処理で活性化させた。これらの複数条件で作製した試料を、表面から数 10nm エッチングし、BL7U にて軟 X 線光電子分光測定し、As3d の内殻スペクトルを観測した。この際、入射光子エネルギー ($200 \sim 500 \text{ eV}$) に依存したスペクトルの変化も観測した。

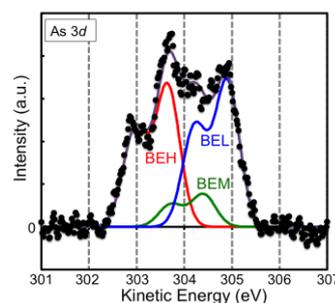


Fig.1 Si 中 As の内殻光電子スペクトル。 $h\nu=350\text{eV}$ で測定。

3. 結果および考察

As を $1.5 \times 10^{15} \text{ cm}^{-2}$ 注入し、 1000°C -RTA および 1050°C -1 分の熱処理後の試料に対して、入射光子エネルギー ($h\nu$) を 350 eV で測定した As3d の光電子スペクトルを Fig. 1 に示す。結合エネルギー (BE) の異なる 3 状態の As が存在することが観測された。光電子の運動エネルギー (KE) の小さい順 (BE の大きい順) に BEH, BEM, BEL のラベルを付けている。これまでの研究で、BEH が電氣的に活性、BEM と BEL は不活性であり、BEM は何らかの As のクラスター構造をとり、BEL は As の周りが局所的に格子が乱れたアモルファス状の構造であることが推測されている。

実験では、同一試料を異なる $h\nu$ で測定した。その結果、これら 3 種類のピークの相対強度 (3 種の強度の合計を 1.0 と規格化) が $h\nu$ に依存して変化することがわかった。その様子を Fig. 2 に示す。BEH と BEM (両者の強度比はほぼ一定) に対して BEL は逆の $h\nu$ 依存性を示しており、活性化した As (BEH) とクラスター化した As (BEM) がバルク中に広がっているのに対し、BEL に対応する As は表面近傍に局在している可能性を示している。

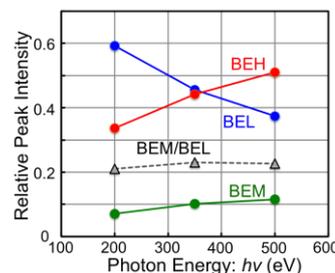


Fig.2 As の結合状態ごとの相対ピーク強度の $h\nu$ 依存性。BEM/BEL は強度比。

次に、いったん高温で活性化した As がその後の低温熱処理で活性化率が低減する現象が知られているが、 700°C -10 分の低温処理を加える前後の As の状態を比較した。この処理により、活性な BEH が減少し、クラスター構造をとる BEM が増加する傾向が確認できた。不規則構造をとる BEL は変化しなかった。今後、この不活性化現象が強く現れる条件での観測を通して、クラスター形成の過程を明らかにし、その制御技術に結び付けて行きたい。

4. 参考文献

名取 他, 第 64 回応用物理学会春期学術講演会, 14p-P3-2, 横浜, 2017 年 3 月 14-17 日。