



# Si 中にドーピングした As の軟 X 線光電子分光

筒井 一生<sup>1</sup>、星井 拓也<sup>2</sup>、名取 鼓太郎<sup>2</sup>

<sup>1</sup>東京工業大学科学技術創成研究院、<sup>2</sup>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 Si 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をめざし、不純物の原子レベル構造の直接観測として我々は昨年、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<sup>1</sup>。本研究はクラスター形成を制御する技術の開発をめざし、今回は、高温で活性化した As がその後の低温処理で不活性化する現象を原子配列構造と結び付けられる光電子分光で観測することを目的とした。

## 2. 実験内容

試料作製と測定プロセスを Fig.1 に示す。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) で活性化した。この試料の一部には保護膜形成として ALD (原子層堆積) 法で SiO<sub>2</sub> を堆積 (約 350°C に加熱) 後に剥離するプロセス、600°C 10 分間の低温熱処理を施し、これらの試料の表面から 2~10 nm エッチングし、BL7U にて軟 X 線光電子分光測定 (入射光子エネルギーは 350eV) を行い、As3d の内殻スペクトルを観測した。

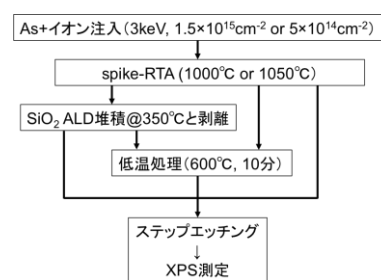


Fig.1 試料作製と測定プロセス。

## 3. 結果および考察

As を  $5 \times 10^{14} \text{ cm}^{-2}$  注入し、1050°C-RTA のみ、およびそのあとに 600°C の低温処理を加えた試料を表面から約 2 nm エッチングして測定した As3d の光電子スペクトルを Fig. 2 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。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 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わかっている<sup>1</sup>。Fig.2 の(a)と(b)の比較で、3 成分の相対濃度が低温処理により変化したことがわかる。活性の BEH が減り、不活性な BEL が増える傾向が見えている。

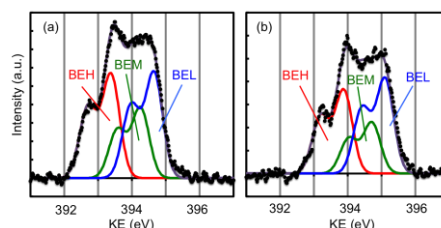


Fig.2 (a)低温処理なしと(b)低温処理後の As3d スペクトルの比較例。共通条件は本文記述参照。

同様の比較を、 $1.5 \times 10^{15} \text{ cm}^{-2}$ 、1000°C-RTA の試料や ALD プロセスを加えた場合でも行った結果を Fig.3 に示す。いずれも僅かではあるが、低温処理によって活性化 As (BEH) の割合が減少する傾向が認められた。

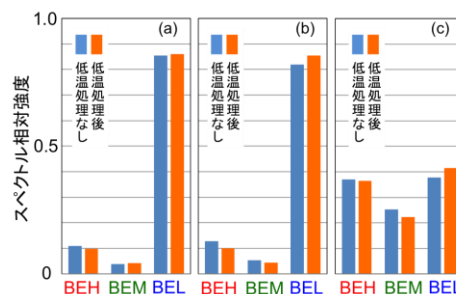


Fig.3 低温処理前後 As3d スペクトル相対強度の変化。(a)  $1.5 \times 10^{15} \text{ cm}^{-2}$ -1000°C、(b) (a) に加えて ALD あり、(c)  $5 \times 10^{14} \text{ cm}^{-2}$ -1050°C。

以上より、低温処理による As の不活性化が光電子分光でとらえられ、このとき不活性化する As のとる原子配列構造について情報が得られることがわかった。まだ低温処理による変化が僅かであるため、今後は最初の活性化をより高温短時間のプロセスで非平衡的に活性化させた試料を用いて現象をより明確に捉えることを計画する。

## 4. 参考文献

1. 小川 他、第 78 回応用物理学会秋季学術講演会、8a-C21-1、福岡、2017 年 9 月。