



Si 中に超短時間熱処理でドーピングされた As のポスト熱処理による不活性化現象の軟 X 線光電子分光

AichiSR

筒井一生¹、小川達博¹、星井拓也¹、永山勉²、樋口隆弘²、加藤慎一³、谷村英昭³¹東京工業大学、²日新イオン機器(株)、³(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 にドーピング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による不純物原子の 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、非熱平衡的なフラッシュランプアニール (FLA) 法で As を活性化したあとに低温長時間のポストアニールで不活性化を起こさせた状況を軟 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 処理したウエハにさらに 700 °C で 150 分間 (窒素雰囲気中) のポストアニールを加えた。これに、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、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 (入射光子エネルギーは 350 eV)。

3. 結果および考察

ポストアニールをしない状態について、既に実験番号 201705050 で同様の測定を行ったので、今回はそれらと比較してポストアニールによる状態の変化を観測した。例として、エッチングが 1 nm と 3 nm の場合で、得られた As3d スペクトルをこの比較として図 1 および図 2 に示す。BEH, BEM, BEL とラベル付けした 3 つの異なる化学シフトのピークが分離され、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 As_nV ($n = 2 \sim 4$) 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]。

まず、ポストアニールによって、BEH ピーク強度が顕著に減少したことがわかる。FLA でいったん活性化していた As がポストアニールによって不活性化したことを示している。これは、別途測定によるドーピング層の電氣的なシート抵抗がポストアニール後に 50%程度上昇したとことと合致する。光電子分光の観測領域である表面近くの As 濃度が高いところでの減少率がより大きいことも示唆された。次に、BEM に着目すると、ポストアニールによるピーク強度の増減が図 1 と図 2 で逆になっている。このような BEM 強度の増減は他のエッチング深さでも両方のケースが出現し、系統的な傾向が不明確であった。この点は、ピーク分離の精度も含めて今後さらに検討を要するが、不活性化する際のクラスター構造形成に複雑な要素が含まれている可能性もある。このあたりは今後の光電子ホログラフィーによる構造解析に期待するところで、その計画に向けて有用な基礎データが得られたと言える。

4. 参考文献 1. K. Tsutsui *et al.*, Nano Lett., 17, 7533, (2017).

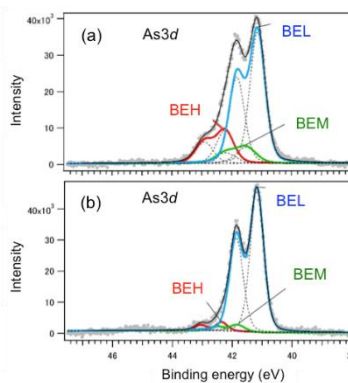


図 1 エッチング 1nm での光電子スペクトル (a)FLA 後 (b)ポストアニール後

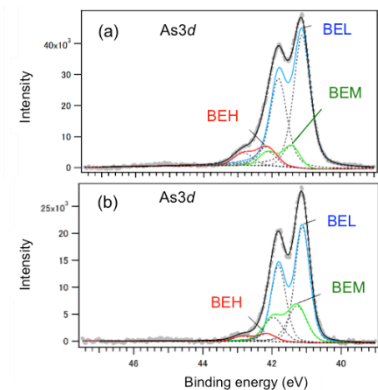


図 2 エッチング 3nm での光電子スペクトル (a)FLA 後 (b)ポストアニール後