フラッシュランプアニールおよびポストアニールで活性/不活性化した Si 中 As の軟 X 線光電子分光による評価

Analyses of As doped in Si activated and deactivated by flash lamp annealing and post annealing using soft X-ray photoelectron spectroscopy

東京工業大学¹, あいちシンクロトロン光センタ⁻², 日新付ン機器³, SCREEN セミコンタ^{*} クタ-ソリューションス^{* 4} [°]小川達博¹, 名取鼓太郎¹, 星井拓也¹, 仲武昌史², 渡辺義夫², 永山勉³, 樋口隆弘³, 加藤慎一⁴, 谷村英昭⁴, 角嶋邦之¹, 若林整¹, 筒井一生¹ Tokyo Tech¹, Aichi SR², Nissin Ion Equipment³, SCREEN Semiconductor Solutions⁴ [°]T. Ogawa¹, K. Natori¹, T. Hoshii¹, M. Nakatake², Y. Watanabe², T. Higuchi³, T. Nagayama³, S. Kato⁴, H. Tanimura⁴, K. Kakushima¹, H. Wakabayashi¹ and K. Tsutsui¹ E-mail: ogawa.t.aq@m.titech.ac.jp

[諸言] Si 中にドープした不純物の高濃度活性化には、不純物元素の原子サイトやクラスター構造の原子レベルでの観察が有用である. 我々は放射光を用いた光電子ホログラフィー技術[1]により, Si 中の As は 3 種類の化学結合状態が存在し,結合エネルギーが高い順に BEH, BEM, BEL とラベル付けした場合, BEH の As は Si の結晶格子を置換し電気的に活性, BEM では As がクラスター化し, BEL では As の周りの Si が不規則に配置され,ともに電気 的に不活性であることを示した[2].今回,非 熱平衡性の高いフラッシュランプアニール (FLA) 法で活性化処理した As の状態を,そ

(FLA)法で活性化処理した As の状態を, そ の後のポストアニールで不活性化する現象も 含めて, 内殻光電子分光で観測した.

[実験] p-Si(100) ウエハに As を 5keV, 1.5×10¹⁵cm⁻²の条件でイオン注入し,1350℃の FLA で活性化を行った.さらにこれに続いて Ar 雰囲気中 700℃で150min のポストアニール を加えた試料も作製した.これら試料の表面 を常温オゾン雰囲気での酸化と希HFによる剥 離を繰り返すオゾン酸化エッチング法で 1~15nm 程度エッチングし,測定表面を得た. 測定実験は四探針法によるシート抵抗測定, およびあいちシンクロトロン光センターの BL7Uビームラインで,As3dに対する軟X線光 電子分光測定を行った.入射フォトンエネル ギーは 350eV で、光電子の取り出し角は試料 面に垂直方向とした.

[結果と考察] Fig.1 にエッチング深さ 1nmに おける XPS スペクトルの測定結果を, Fig.2 に SIMS と XPS から得られた As の深さ方向分布 示す. 今回の測定結果から, Si 中の As では従 来の結果と類似の結合エネルギーの異なる 3 つの状態が存在していることが確認された. Fig.1 から,ポストアニール前後を比較すると, 活性化した As に対応すると考えられる BEH のピーク強度がポストアニール後に顕著に低 減したことがわかる. この傾向は Fig.2 に示す ように15nm程度までのより深い領域でも同様 に現れている. また,別途行った測定から,ド ープ層のシート抵抗がポストアニール後に 50%程度増大していた. この結果は BEH が活 性な As 由来のピークであることを支持するものといえる.

BEM や BEL については、従来よりもやや高 い結合エネルギー位置に現れており、FLA の プロセスにより、混在の可能性がある As_nV(*n*=2~4)型のクラスターの存在比が異なる、 あるいはさらに別の構造が現れている可能性 も考えられる.不活性化により減少した BEH は BEM や BEL へと変化しているはずである が、これらの構造については、光電子ホログラ フィーも含めてより詳細な検討を進めて行く. **謝辞**:本研究は科研費新学術領域研究「3D 活 性サイト科学」26105014 の助成を受けた.



Fig.2 Depth profiles of As concentration for all As and As of BEH peak before and after post annealing, calibrated by SIMS profile.

[参考文献]

- [1] 大門寛, 応用物理, 85(1), 21, (2016).
- [2] K. Tsutsui et al., Nano Lett., 17, 7533, (2017).