

XAFS による半導体中の微量ドーパントの状態評価

国須 正洋

表面科学研究部

要 旨 半導体へのドーパント添加は、電気特性を制御する上で非常に重要な技術であり、添加によるキャリア発生メカニズムは固体物理の理論に基づいて理解されているが、ドーパント元素における直接的な化学状態や配位環境の評価事例は少ない。元素ごとの状態評価は、XAFS により可能であるが、近年の検出器の感度向上などにより、微量のドーパント元素の化学状態や配位環境を感度よく観測できるようになってきた。本稿では、XAFS を用いたシリコン半導体に含まれるヒ素およびリンの状態評価の事例を紹介する。

1. はじめに

半導体への不純物ドーピング技術は、電気伝導度やホール特性などの電気特性を制御する非常に重要な技術であり、PN 接合を有するダイオードやトランジスタにおける、整流機構やスイッチング機能などのデバイス特性を制御する上でカギとなる技術である。半導体材料は、シリコンだけでなく、炭化ケイ素、窒化ガリウムなどのワイドギャップ材料から、有機物で構成させる材料まで広範囲にわたるが、どの半導体においても精密なドーピング制御技術は欠かせないものとなっている。

シリコン半導体において、n 型半導体形成のため微量のヒ素やリンが添加される。ヒ素やリン原子は V 族のため、IV 族のケイ素よりも電子を余分に含む。そのため、ケイ素の原子位置にこれらの添加元素が置き換わることにより、伝導帯の近くにドナー準位が形成され、熱エネルギーによりドナー準位の電子が伝導帯へ励起され、n 型キャリアとして電子が発生する。以上のようなキャリア生成メカニズムが多く半導体関係、固体物理関係の教科書に記載されている¹⁾。これらは、電気伝導度やホール特性などの実測などにより確認することが可能であるが、ドーパント元素そのものの状態や構造については、ドーパント濃度が低いため分析

手法に限られる。

添加元素の状態や構造評価方法の一つとして、X 線吸収微細構造 (X ray Absorption Fine Structure, XAFS) が挙げられる²⁾。本手法は着目元素ごとの化学状態や原子レベルでの配位環境評価が可能であり、微量のドーパント元素を調べる上で非常に有用な方法と考えられる。いくつかの XAFS 測定モードのうち、微量成分を評価する上では、感度の高い蛍光収量法が適切である。蛍光収量法で使用する検出器においても、従来のライトル検出器や半導体検出器から、より感度の高いシリコンドリフト検出器を利用することで、最近では微量成分を感度よく短時間で評価できるようになってきた。

本稿では、イオン注入によりシリコン半導体に添加された微量のヒ素およびリンにおいて、活性化アニール有無による化学状態や配位環境の違いを XAFS により評価した事例を紹介する。

2. 分析試料および実験手法

分析試料は、イオン注入にてヒ素(⁷⁵As)またはリン(³¹P)をドーピングしたシリコン基板を用いた。ドーピング量は、ヒ素が 1.0×10^{15} atoms/cm²、リンが 2.5×10^{15} atoms/cm² とした。アニールについて、ヒ素添加試料は 950°C 30 min で行い、アニール有無の 2 試料を比較した。一方、リン添加試料のアニールは、1050°C, 30 min にて行い、