

論文審査の結果の要旨

氏名 掛札 洋平

本論文は5章からなり、第1章は序論、第2章は掛札氏が設計・試作した微細構造作成・評価装置を含む超高真空システム、第3章は今回開発した装置を使って行う表面分析法の原理、第4章は本装置を使用してSi(100)表面に作製した鉄の微細構造とその評価、第5章はSi(100)に作製した鉄微細構造の加熱処理とその観察と評価、第6章は結論と今後の展望について述べられている。

第1章では、低エネルギー電子を用いた表面構造作製とその場観察の意義、および、近年注目を集めている鉄シリサイド系について簡単に述べられている。鉄シリサイドのうち β -FeSi₂は直接遷移型の半導体であり、Siデバイスとの融合が可能な光デバイス材料として期待されている。本研究では、微小スポット径の低エネルギー電子ビームを用い位置選択的に鉄シリサイドを形成することを目標とした。

第2章では、掛札氏が設計・構築した実験装置の詳細について述べられている。超高真空(UHV)チャンバー、サンプルホルダー、サンプル冷却システム、低エネルギー電子銃、オージェ電子分光(AES)や電子エネルギー損失分光(EELS)を行うための円筒鏡型電子分析器(CMA)、マイクロチャンネルプレート増幅型低速電子回折装置(LEED)、表面電気伝導測定装置、測定制御ソフトについて詳述されている。上記の装置のうち、UHVチャンバー、サンプルホルダー、LEED、電子分光検出系、表面電気伝導測定装置、測定制御ソフトは掛札氏が本研究で設計/試作したオリジナルなものである。低エネルギー電子銃、CMAは、購入品をUHVチャンバーに装着して使用した。上記の装置の性能は、シリコン表面を標準サンプルとして評価された。

第3章では、SEM、AES、EELSの測定原理についてやや詳しく述べられている。

第4章では、鉄カルボニルを低温の Si (100) 表面に凝集させ、意図した位置に電子ビームを照射して電子誘起反応によって鉄を任意の位置に堆積する実験について詳述されている。その実験手順は次の通りである：(1) Si (100) 表面を通電加熱法によって清浄化する。(2) 80K に冷却した Si 基板に鉄カルボニル多層膜を凝集させる。(3) 任意の位置に電子を照射する。(4) 基板を鉄カルボニル多層膜の脱離温度以上 (> 150K) に加熱する。このようなプロセスを経た後の試料表面を SEM で観察すると、電子照射位置のみに μm スケールの人工構造が確認された。電子照射位置および非照射位置に対して AES スペクトルを測定すると、電子照射位置においてのみ Fe MVV オーージェピークが観察され、ピークエネルギーより金属的な鉄が堆積していることが明らかとなった。さらに、Si 基板および鉄人工構造の試料抵抗 (温度依存性) を測定したところ、シリコン基板上に金属的な鉄が堆積されたことが解明された。

第5章では、第4章で構築した鉄人工構造の加熱処理による変化を、表面組成、表面モルフォロジーおよび電気伝導特性により調べた結果を詳述している。670K 以上の加熱によって鉄人工構造が部分的にシリサイド化していることを示唆された。さらに 970K に加熱したところ試料抵抗は大きく増大し、半導体的シリサイドが生成していることを示唆する結果を得た。

加熱処理温度を上昇させたときの人工構造の SEM 観察および AES 測定を行った。770K 以上の加熱によって Fe MVV オーージェ強度は徐々に減少し、1190K の加熱によって消失した。一方、Si LVV オーージェ強度は 770K 以上の加熱によって増加し、1190K 加熱後の強度は Si (100) 清浄表面のオーージェ強度と同等であった。なお、1070K 加熱時の Fe と Si のオーージェ強度比は $\beta\text{-FeSi}_2$ に対する過去の測定結果とよく一致した。加熱温度に対する人工構造の表面モルフォロジー変化を観察すると、1190K 加熱後も人工構造は存在していることがわかった。以上の実験結果から、1190K 加熱後、Si 基板に埋め込まれた鉄シリサイド人工構造が生成していると推察した。

以上のように、掛札氏は、低エネルギー電子ビームにより人工構造作製とその場評価を行える UHV 装置を構築し、シリコン基板表面に位置選択的に鉄を堆積させ、

その局所的な電子状態および電気伝導特性を測定することに成功した。さらに、作製した鉄構造を加熱することで局所的に鉄シリサイドが形成させることができ、1190K の加熱処理により埋め込まれた鉄シリサイドワイヤ構造が形成されたとの結論を得た。本研究は、装置作りから始め、その装置を使って低エネルギー電子ビーム誘起反応で局所的に鉄や鉄シリサイド人工構造を作製することを示したオリジナリティーの高い博士論文であると評価できる。

なお、本論文の第2，4，5章は、山下良之，向井孝三，吉信淳との共同研究であるが，論文提出者が主体となり実験装置の設計，組み立て，データの取得，解析および考察を行ったものであり，論文提出者の寄与が十分であると判断する。

したがって，博士（科学）の学位を授与できると認める。