

# はじめに

半導体デバイスは、高度情報化社会を支える電子・情報機器の中心となる役割を果たしている。環境負荷低減の立場から、集積回路では、高速化・低消費電力化が、パワー半導体では、高温動作、小型・低損失化が、強く望まれている。現在、トランジスタと配線・実装技術を専門とする技術者・研究者が連携してこれらの半導体デバイスの開発を進めている。しかし、上記課題を実現するには、現状の手法だけでは十分ではない。なぜならば、半導体シリコンそのものの特性は限界が近づいており、素子間を接続する配線や電極接合部の性能・信頼性の向上を図らなければ上記課題の実現は不可能であるためである。配線や接合部の性能・信頼性を決定するのは、素子間の電気信号を伝達する電極・配線材料の表面特性と界面構造および半導体実装材料の界面構造である。したがって、半導体デバイスの性能・信頼性を向上させることのできるような電極・配線および実装部の表面・界面構造の最適化が必要である。これが、本書で述べる半導体デバイスの最適な界面構造である。

半導体デバイスにおいて、特にナノレベルの材料界面を最適化するには、界面の評価技術および評価結果に基づいた界面モデルの構築、さらに界面モデルに基づいた製造プロセスの開発が重要である。すなわち、界面モデルの構築と実験による検証を繰り返すことによって、最適な界面技術と革新的高性能・高信頼性デバイスを開発できる。

一方、界面の評価およびモデル化には、界面の熱力学および材料組織学ならびに計算機実験の基礎的知識が必要である。さらに、これらを実用デバイスの界面に展開/応用する知識が必要になる。本書は、半導体デバイスの今後の発展に重要となる界面創製技術の手引きとなる書である。このために、1~4章(基礎)と5~8章(応用)に分け界面創製技術を解説する。

1~4章では、まず、半導体デバイスの製造プロセスを概説して、半導体デバイスが多くの界面から成り立っていることを述べる。次に、固体物性の基礎および界面の構造と熱力学を中心にした結晶組織学について述べ、実用デバイスの界面構造を理解する目を養うための基礎知識を与える。さらに、著者らが研究に用いたフェーズフィールド法、第一原理計算法を中心にした計算機実験の基礎について解説する。

5~8章では、まず、集積回路のCu配線、Al合金配線を例にとり、実験と計算機実験を繰り返して最適化した表面・界面構造による高性能化・高信頼化について述

## ii はじめに

べる。次に、パワーデバイスについても同様な界面創製技術について述べる。読者は、これらの例により、界面創製を行うためには実験と計算機実験の緊密な連携が不可欠であることを理解できると思う。

本書では、大学生の自習用、大学の講義用、一般の技術者の参考書として1~4章(基礎)を中心に学習し、必要に応じて5~8章(応用)の実例を適宜取り入れて、さらに学習するのがよいと思われる。

なお、各章の執筆は、「執筆者一覧」に示した各著者が担当した。その後、相互に読み合いまとめたのが本書である。

本書は、著者らがお世話になった多くの方々のおかげで世に出ることができました。東京芸術大学名誉教授北田正弘先生には、本書の企画段階から大変丁寧なご指導を頂きました。菅原良孝博士には、高温 SiC デバイスに関し、種々のご助言を頂きました。玉橋邦裕博士、伊藤雅彦博士、門田裕行博士、佐藤明博士には、電気めっき技術、3次元実装技術に関し、有益なご討論を頂きました。新電元工業株式会社上席執行役員佐々木正博博士、西智昭執行役員にはパワーデバイスに関し、有益なご討論を頂きました。千住金属工業株式会社常務取締役川又勇司博士には、高温はんだに関し、種々のアドバイスを頂きました。松田産業株式会社の新藤裕一郎執行役員には、硫酸銅の高純度化技術についてアドバイス頂きました。また、株式会社内田老鶴園の内田学社長には編集作業において大変お世話になりました。ここに厚く御礼申し上げます。

2021年3月

大貫 仁