

古くて新しい点欠陥 ～材料を越えた視点から見えてくるもの～

世話人：沓掛健太郎(東北大学)、小野敏昭(SUMCO)、片山竜二(大阪大学)、矢野裕司(筑波大学)

結晶工学分科会と講演会中分類(15.4Ⅲ-V 族窒化物結晶、15.6Ⅳ族化合物、15.8 結晶評価、不純物・結晶欠陥)の合同企画で、2016 年 9 月 13 日(火)に「古くて新しい点欠陥 ～材料を越えた視点から見えてくるもの～」シンポジウムが開催された。本シンポジウムの実施報告を以下に述べる。

原子空孔、格子間原子および不純物原子を含めた点欠陥は、格子欠陥の基本単位となる重要なものである。半導体結晶中では、点欠陥は強く相互作用しあい、それぞれの拡散や析出の挙動に影響を与え、結果的に材料物性やデバイス特性を大きく左右する。このような点欠陥の物性やその影響については長い研究の歴史があり、今日では産業応用で無視できない要素となっている。例えば、高純度かつ無転位の結晶が得られるシリコンでは、点欠陥濃度が精密に制御された完全結晶の育成が実現しており、さらに点欠陥の析出や不純物のゲッタリングは基板の品質制御に欠かせない技術となっている。また、窒化物や SiC などの化合物半導体結晶においても、転位や積層欠陥密度の低減にともなって、点欠陥の重要性はますます高まっている。このように様々な研究が盛んに行なわれているにもかかわらず、点欠陥の研究は多岐にわたるため、結晶材料、デバイス用途、研究手法ごとにまとまって発表されることが多く、横断的に議論する場は限られていた。研究が深化、細分化してきている近年は、ますますその傾向が高まっている印象である。

そこで本シンポジウムは、半導体結晶において共通に重要である点欠陥について、互いの研究成果を共有することを目的として企画された。Si、SiC、窒化物結晶などの幅広い材料・デバイスにおける点欠陥研究の第一人者をお招きし、研究の歴史やレビューから最先端の成果までを講演いただいた。また関連中分類からの一般講演も行なわれた。

東北大学の米永先生からは「点欠陥研究の現状とその課題」の講演をいただいた。点欠陥研究の基礎となる Si 結晶中の原子空孔と格子間原子の熱平衡濃度と拡散係数の決定について、1)実験的な方法、2)実験とシミュレーションを組合せた方法、3)第一原理計算による方法に分けて、わかりやすくレビューされた。また不純物の影響も含めて、研究の現状と課題が議論された。SUMCO の宝来氏からは「Si 結晶育成における点欠陥制御」の講演をいただいた。今日の産業で主流の Si 単結晶の CZ 成長において無欠陥結晶を得るための点欠陥制御について、歴史的な経緯と基礎物理が述べられ、さらに制御のための要素技術が示された。グローバル・ウェーハズ・ジャパンの荒木氏からは「超高温 RTP 技術による Si ウェーハの点欠陥制御」の講演をいただいた。成長後の結晶・ウェーハに対する熱処理も重要な点欠陥制御技術であり、中でも金属不純物のゲッタリングサイトとして酸素析出物を利用する技術は、今日の高性能デバイス開発で重要な役割を果たしている。講演では、

これらの背景技術が説明され、さらに超高温 RTP(Rapid Thermal Processing)の詳細とその効果が示された。岡山県立大学の末岡先生からは「第一原理計算による半導体結晶中の真性点欠陥に関する研究」の講演をいただいた。第一原理計算は点欠陥研究に欠かせない方法であるが、その基礎から手法の種類・注意点やメリットが分かりやすく解説された。また、点欠陥形成に与える不純物や歪みの効果が議論された。筑波大学の上殿先生からは「陽電子消滅による点欠陥の評価～Si、窒化物から金属、絶縁体まで～」の講演をいただいた。陽電子消滅の原理と応用が解説され、さらに様々な材料 (Si、GaN、Cu、低誘電率材料) について、それぞれの材料で特有の欠陥に対する評価事例が示された。京都大学の木本先生からは「SiC の材料・デバイス特性から見た点欠陥」の講演をいただいた。4H-SiC において最も高密度に観察され深い準位を形成する欠陥の特定とそのデバイス特性への影響が研究の歴史とともに示された。さらにその欠陥 (炭素空孔) を制御する技術の詳細とその効果が示された。以上の招待講演に加えて、一般講演として、Si 中のサーマルドナーや複合欠陥、SiC 中の B 関連準位、GaN 中欠陥でのキャリア再結合について幅広い議論がなされた。

点欠陥研究には長い研究の歴史があるが、本シンポジウムで述べられたように、測定・解析・計算技術の進展とともに、点欠陥評価の感度や精度は大きく向上してきている。同時に、点欠陥を制御する技術も、より精密な制御が実現されてきている。その結果、点欠陥制御は新たな段階に入り、単に密度を減らすだけでなく、密度を制御して析出させゲッターリングサイトとして利用するなどより高度な制御がなされている。現状では、点欠陥に関しては、Si 結晶での研究蓄積が最も多いが、今回の材料を横断したシンポジウムで示されたように、材料を越えて共通する知見は多くある。したがって、Si 結晶で得られている知見は、他の材料においても役立てられるはずであり、またその逆

もしかりである。このような点で本シンポジウムが新しい研究展開のきっかけとなれば幸いである。結晶工学分科会や講演会プログラム委員では今後もこのような分野融合シンポジウムを継続して企画していきたい。

最後に、本シンポジウムは、大ホール内の約 120 人が入る講演会場に 2 回椅子を追加し、それでも多くの立ち見があふれるほど盛況なシンポジウムとなった。また、分野横断のシンポジウムのため、招待講演の先生方には発表に背景や基礎を含めていただき、異分野の方にも分かりやすい内容にしていただいた。本誌面を借りて講演くださった先生方をはじめ関係各位に感謝申し上げる。



図 1 シンポジウムの様子