

結晶工学分科会・講演会中分類合同シンポジウム

## 「発光イメージングが切り拓く半導体結晶・デバイス評価の明るい未来」

分科会・中分類（世話人）

結晶工学分科会（東北大・杓掛健太郎）

13.10 化合物太陽電池（埼玉大・八木修平）

15.4 III-V族窒化物結晶（東北大・片山竜二）

15.6 IV族化合物（筑波大・矢野裕司）

15.8 結晶評価、不純物・結晶欠陥（東北大・杓掛健太郎）

16.3 シリコン系太陽電池（奈良先端大・石河泰明）

結晶工学分科会と講演会中分類（13.10 化合物太陽電池・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・16.3 シリコン系太陽電池）の合同企画で、2016年3月19日（土）に「発光イメージングが切り拓く半導体結晶・デバイス評価の明るい未来」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記す。

近年、発光イメージングを利用した半導体結晶・デバイス評価は著しい発展をとげている。半導体における発光イメージングとは、光や電子線、バイアス印加などによって半導体に生成・注入されたキャリアが再結合するときの発光の空間分布を、カメラ撮影やビーム走査によって2次元イメージとして取得するものである（図1）。非接触・非破壊・高速・高空間分解など様々な利点を持ち、これらの特徴を活かして太陽電池などのデバイス評価や、Si・SiC・窒化物・CIGSなどの結晶評価法としてそれぞれ独自に発展し、今日では、材料・デバイス開発に欠かせないツールとなっている。

本シンポジウムは、材料・デバイスごとに独自の進化を遂げてきた発光イメージングという評価法について、互いの研究成果を共有し、新しい研究展開のきっかけを作ることを目的に企画された（図2）。5件の招待講演と5件の一般講演では、各種太陽電池からSiC、窒化物、ナノ結晶までの幅広いデバイス・材料について、様々な発光イメージング（エレクトロルミネッセンス（EL）、フォトルミネッセンス（PL）、カソードルミネッセンス（CL）など）の最先端の研究を紹介いただいた（図3）。東京大学の秋山先生からは、「太陽電池の絶対エレクトロルミネッセンス画像計測法と応用」の講演をいただいた。発光強度を絶対値で測定する方法とその意義が示され、発光イメージから太陽電池のVocやJscなどの諸特性を求めることが多接合太陽電池セル、結晶シリコン太陽電池モジュールを例に示された。愛媛大学の白方先生からは、「フォトルミネッセンス・マッピング法によるCIGS太陽電池の評価」の講演をいただいた。太陽電池の開放・短絡時のPLマッピングとLBIC（光誘起電流）の同時測定結果が示され、それぞれから得られる情報が太陽電池デバイスをベースに議論された。電力中央研究所の土田氏からは「PLイメージングによる4H-SiC結晶欠陥の評価」の講演をいただいた。4H-SiC中の様々な結晶欠陥について、欠陥構造とPLイメージでの見え方の対応付けが詳細に示された。またイメージングの方法とし

て、2光子励起と第2高調波を利用する先駆的な方法が示され、欠陥評価の実例が紹介された。東北大学の秩父先生からは「時間空間分解カソードルミネッセンスによるIII族窒化物半導体の評価」の講演をいただいた。時間空間分解を可能にする装置の開発経緯と構成が説明され、さらに同装置を用いて明らかにされた窒化物半導体結晶中の欠陥個々の特性が示された。大阪大学の渡辺先生からは「Nanoprobe-CL法による半導体ナノ結晶の顕微物性評価」の講演をいただいた。ナノワイヤをナノマニピュレーションによって変形しながらCL評価することで、ナノ構造特有の弾塑性特性や歪み-バンドギャップ関係を明らかにした結果が示された。さらにナノワイヤのキャリア濃度分布のCL評価例が示された。

発光現象は半導体の極めて基礎的な物性であり、本シンポジウムはその発光の空間分布を得る「発光イメージング」という方法にフォーカスしたものである。本シンポジウムでは、単に発光強度の空間分布を得るというだけでなく、更に進んだイメージング+ $\alpha$ が示された。それは、温度変調やスペクトル測定にとどまらず、発光の絶対強度測定、デバイス特性解析への応用、2光子励起や第2高調波の利用、時間分解など、多くの先端技術や新しいアイデアであり、発光イメージングの可能性や応用性の広さを示すものであった。このように進展著しい発光イメージングであるが、共通の物理も見ることができた。例えば、キャリア拡散長と空間分解能の関係や、表面キャリア再結合の影響などは、いずれの材料・方法でも共通するものであった。このような点から、本シンポジウムは発光イメージングについての最新研究の情報交換に加えて、共通する物理の確認の意味でも重要な意義があったと考える。

次に、分野融合の重要性を述べる。講演会の15結晶工学大分類の中分類分けに見られるように、最近の研究発表は主に材料別になされ、ますます細分化し、横の情報交換が希薄化する傾向にあると感じる。しかし、今回のシンポジウムがそうであったように、材料の違いを超えた共通の物理は確かに存在し、そのような観点から捉え直すことではじめて見えてくるものもあるはずである。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と考えている。

最後に、本シンポジウムは、約150人が入る講演会場に多くの立ち見があふれ、非常に盛況なシンポジウムとなった。また、研究背景や測定法についての予備知識のない聴衆が多いことが予想されたため、招待講演の先生方にはお願いして他分野の方にも分かりやすい内容にしていた。大変好評であった。本誌面を借りて講演くださった先生方に感謝申し上げます。

## 発光イメージングの方法

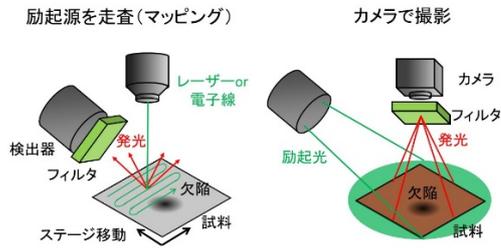


図1 発光イメージングの方法

## シンポジウムの趣旨

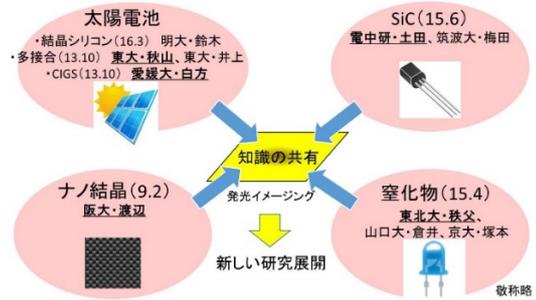


図2 シンポジウムの趣旨

## プログラム

- |  |              |
|--|--------------|
| 1) イントロダクトリートーク ~発光イメージングから見えるもの~                    | 沓掛 健太郎 (東北大) |
| 2) 【招待】太陽電池の絶対エレクトロルミネッセンス画像計測法と応用                   | 秋山 英文 (東大)   |
| 3) PLイメージングを用いた強制汚染およびゲッターリングによる多結晶Si中の鉄およびニッケルの影響評価 | 鈴木 涼太 (明治大)  |
| 4) 【招待】フォトルミネッセンス・マッピング法によるCIGS太陽電池の評価               | 白方 祥 (愛媛大)   |
| 5) EL測定を用いたGaAs太陽電池の構造評価と効率向上                        | 井上 智之 (東大)   |
| 休憩   |              |
| 6) 【招待】PLイメージングによる4H-SiC結晶欠陥の評価                      | 土田 秀一 (電中研)  |
| 7) 4H-SiC MOSFET中の単一表面欠陥の共焦点顕微鏡観察                    | 梅田 享英 (筑波大)  |
| 8) 【招待】時間空間分解カソードルミネッセンスによるIII族窒化物半導体の評価             | 秩父 重英 (東北大)  |
| 9) InGaN薄膜の分光CLマッピング像の温度依存性評価(2)                     | 倉井 聡 (山口大)   |
| 10) 近接場過渡レンズ法によるInGaN単一量子井戸におけるキャリアダイナミクスの評価         | 塚本 真大 (京大)   |
| 11) 【招待】Nanoprobe-CL法による半導体ナノ結晶の顕微物性評価               | 渡辺 健太郎 (阪大)  |

図3 シンポジウムプログラム