

提出日 2024年6月28日

氏名:浅見 明太

所属:先端研エネルギーシステム分野 杉山研

学年または身分:助教

研鑽タイトル Research Title

熱光学測定による化合物半導体結晶における電気エネルギー損失要因の解明:高性能次世代半導体デバイスの開発に向けた評価技術の確立と研鑽

渡航先 Visited Institution

オーストラリア ニューサウスウェールズ大学(UNSW)

渡航期間 Traveling Period

2024年6月10日-2024年6月22日

研修概要 Research outline

本研鑽プログラムでは、高性能次世代半導体デバイスの開発に向けた評価技術の確立と研鑽、ならびにオーストラリアの大学の研究者との交流・新規共同研究の立案を目的とした。スマートフォンやパソコンの普及、再生可能エネルギーや電気自動車の導入拡大に伴い、パワー半導体や太陽電池をはじめとした高性能次世代半導体デバイスの開発が求められている。新規デバイス開発では、試作したデバイス进行评估し、その結果をフィードバックして、次の試作を行うというプロセスが重要である。信頼・耐久性、作製時間・コスト、パッケージング、電気配線、酸化膜界面の品質などデバイスの評価項目は数多く存在するが、本研鑽プログラムでは化合物半導体結晶における電気エネルギー損失要因进行评估・解明するための技術の確立に取り組む。半導体結晶では結晶欠陥において電気エネルギーが熱エネルギーに変換されて、エネルギー損失が起こってしまう。この損失は半導体デバイスの性能を著しく低下させ、最悪の場合にはデバイスの熱暴走を引き起こす。したがって、デバイスの作製に用いる半導体結晶の結晶欠陥の評価を正確かつ簡便に行う手法の確立は結晶の品質向上、ひいてはデバイス開発において非常に意義があると言える。

本研修ではオーストラリアのニューサウスウェールズ大学(UNSW)のKampwerth博士のもとで、この手法の確立に取り組んだ。Kampwerth博士はUNSWに所属しながら、自身のベンチャー企業Open instruments(<https://www.openinstruments.com/>)を立ち上げ、評価装置の開発・販売も行っている。Open instruments社のPhotothermal Deflection

Spectroscopy (PDS)測定装置は、半導体で発生した熱を測定する装置である。その装置の原理については「研修内容」の項で説明する。PDS 装置では熱を PDS 信号として測定するのだが、その信号の線形性については十分な議論がなされておらず、各半導体で生じた熱の正しい比較ができない、という問題点があった。本研修では、半導体に照射する光の強度を変化させて PDS 測定を行うことで、PDS 信号が強度に応じて非線形に変化することを明らかにした。さらに、どうすれば、その非線形の効果まで含めて各半導体の PDS 信号を比較できるのかについても議論・考察した。本研修により、半導体の測定技術に関する理解を深めるとともに、高性能次世代半導体デバイスの開発に向けた評価技術の確立に必要な知見を得られた。

研修先について About the laboratory visited

Kampwerth 博士が PDS 測定装置を UNSW からマッコーリー大学に移設していたため、PDS 測定はマッコーリー大学で行った。マッコーリー大学はシドニーの北西部にあり、UNSW と比べると小さな大学であるが、学生が活発に実験を行っていた。ちょうど学生のテスト期間だったため、学生同士が”Good luck”と言いあって、試験会場に入っていくのをよく目にした。UNSW はマッコーリー大学と比べるとシドニーの中心部に近く、学生の数も多いため、活気に満ちていた。建物に太陽光パネルがついている建物も多くあり、さすが太陽光発電学部がある大学だと感じた。また、これはどちらの大学にも言えることであるが、緑や芝生が多く、キャンパスの雰囲気はどちらの大学も非常に良かった。

研修内容 What you learned

PDS 測定装置における PDS 信号の線形性の評価を行った。PDS 測定では半導体を特殊な溶液につけた状態で半導体に光を照射する。その光の一部は半導体で吸収され、電子正孔対を生じる。その電子正孔対の一部は発光再結合するが、そのほとんどは非発光再結合し、そのエネルギーは熱となる。このようにして半導体で生じた熱が溶液に伝わるのだが、屈折流には温度依存性があるため、その熱によって溶液の屈折率が変化する。その変化を、サンプル表面近傍を通過させたレーザー光の曲がり具合によって評価するのが PDS 測定である。レーザー光の曲がり具合はレーザー光の位置変化を測定できるフォトディテクターで評価している。フォトディテクターで検出するため、PDS 信号は電圧の単位で表示されるのだが、この PDS 信号の線形性が各半導体で生じる熱を比較する際に重要になる。本研究では照射光強度を変化させることで、この線形性を評価した。その結果、PDS 信号には強い非線形性があることに明らかになり、各半導体で生じる熱を正しく評価するためには、PDS 信

号を補正する必要があることを示した。その補正方法については Kampwerth 博士と引きつづき議論しており、今回得られた測定データの解析が進めることで確立できると期待している。より専門的な話については今後学術論文にまとめる予定である。

本研修では Kampwerth 博士以外にも多くの研究者と議論することができた。UNSW の Xiaojing Hao 教授とは CZTS 太陽電池に関する議論をすることができ、マッコーリー大学の Benish 教授とは量子構造を用いた格子冷却について議論できた。UNSW 大学の Robert Patterson 教授とは Si 上の III-V 化合物半導体成長について議論することができ、大変有意義であった。Patterson 教授は DFT(密度汎関数理論)を用いた材料探索を行っており、これまで私が考えたことのなかったような材料で Si 上 III-V 化合物半導体直接成長を実現させようとしており、勉強になった。

研修先で特に印象に残ったこと The most impressive thing

PDS 測定を行ったマッコーリー大学で特に印象に残っているのは、遅くまで実験をすることが厳しく制限されていることである。今回の研修では必ず 18:00 までに実験を終えなければならなかった。9:00 から 18:00 まで実験を行ったため、必要な測定は終えることができたが、いざとなった時でも実験時間を原則延長できない、というのはプレッシャーであった。ただし、このプレッシャーは良いプレッシャーであり、時間内に終えるために実験を効率よく行う工夫や Life Work Balance が取れたのは良かった。

もう一つ印象に残っているのは先生の呼び方である。基本的には下の名前で呼び合い、立場が対等なことが印象に残った。この原稿では Henner Kampwerth 氏のことを Kampwerth 博士と記したが、現地では彼のことを Henner と呼んでいた。Xiaojing Hao 教授のことはニックネームでジーナと呼んでいた。学生やスタッフと教授との距離が近い雰囲気は非常に良いと感じた。

※研修先でのご自分の写真を数枚添付してください。Please add your photos taken at the destination.

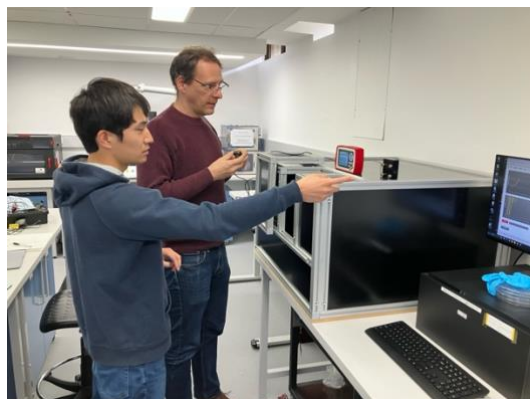


図 1. マッコーリー大学の実験室の様子

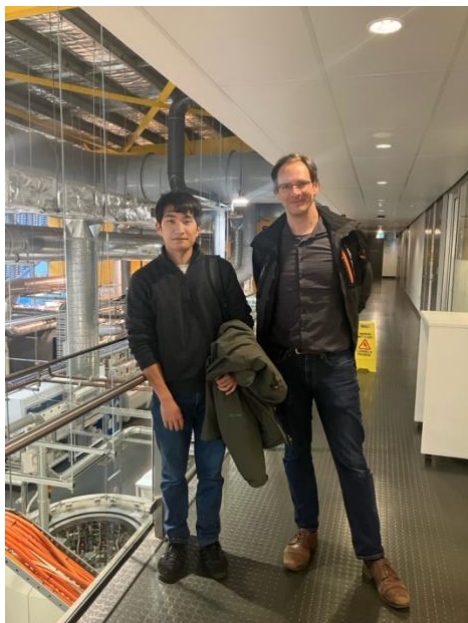


図 2. UNSW 大学の実験棟にて

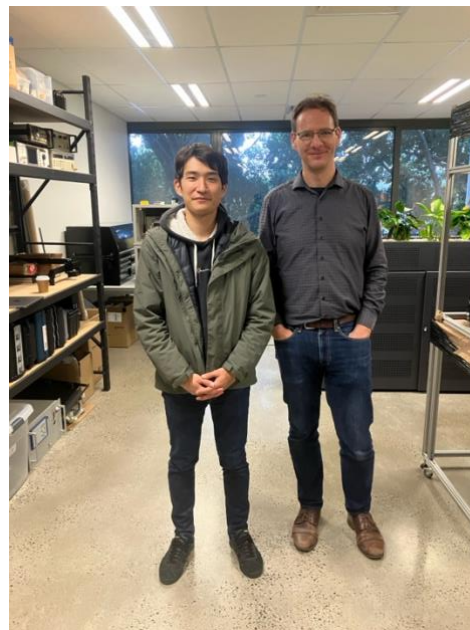


図 3. Open Instruments 社のオフィスにて