

CERN Summer Student Programme 2013 体験記

広島大学大学院理学研究科物理科学専攻

関畑 大貴

sekihata@hepl.hiroshima-u.ac.jp

2013年10月25日

1 はじめに

私は6月24日から8月30日までの10週間、CERN Summer Student Programme 2013に日本からの学生として参加しました。このプログラムはスイスのジュネーブ郊外にある欧州合同原子核研究所(CERN)に物理学、検出器開発、情報科学などを学ぶ世界各国の学生が集まって、世界最先端の研究所の仕事を体験するというものです。参加者は、あらかじめ用意された契約書に記載されているプロジェクトチームに配属されます。私はCMS(Compact Muon Solenoid)実験に所属し、半導体飛跡検出器について研究しました。具体的な研究内容はLHCのビーム輝度向上に合わせたプロジェクトで、放射線耐性のあるシリコンストリップ検出器への応用に向けた新しいタイプのダイオードの応答調査でした。また、7月3日から8月9日の午前中にはLecture Programmeという講義が開かれました。講義は素粒子物理学、国際線型加速器ILC、大型ハドロン衝突型加速器LHCアップグレード計画についてなどが用意されており、大変興味深い内容でした。さらに、このプログラムは世界各国の学生と交流できる機会でもあり、日本文化と海外文化の違いを話し合いました。以下では、私の研究内容やCERNでの生活について報告します。

2 活動内容

私はCMS実験の半導体飛跡検出器開発グループに配属されました。しかしオフィスにはATLAS実験に所属されている方もいらっしゃり、実際には実験の垣根を越えた「RD50 Collaboration」という半導体検出器開発を目的とするSSD Laboratory(Solid State Detector)の中で研究しました。私のプロジェクト内容は、「low gain diode」と呼ばれる新しいダイオードの特性調査でした。Low gain diodeとは標準的なダイオードに p^+ 層を移植した構造をもちます。逆バイアス電圧を印加すると、その p^+ 層内では、高い不純物濃度によって他

層よりも強い電場が形成され、それによって増幅機構を得ることができます。まずはじめに、 $20, 0, -20^\circ\text{C}$ で、

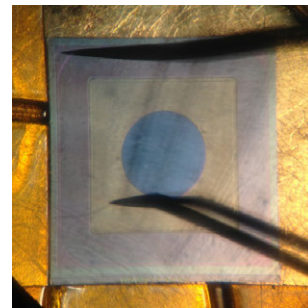


図 1: low gain diode の写真

CV/IV measurement と呼ばれる測定をしました。CV measurement はダイオードの全空乏化電圧 V_{dep} と全空乏化した時の静電容量 C_{dep} を知るためのテストで、IV measurement は漏れ電流のバイアス電圧依存性を測定します。 $C \propto \frac{1}{\sqrt{V_{bias}}}$ という関係があるので、静電容量はバイアス電圧の増加に伴って減少します。そして、ダイオードの厚さに達すると、それ以上空乏層の幅が厚くならないので、静電容量は一定値を取ります。一定値を取り始める電圧のことを全空乏化電圧と定義します。また、漏れ電流は温度が高いほど熱ノイズによって増加します。図1中の針はピコ電流計に繋がっていて漏れ電流を測定しています。奥側の金色の台座も接触端子になっており、そこから逆バイアス電圧を印加します。さらに、ある電圧を超えて印加すると、急激に漏れ電流が増加し、このことをbreak down と呼びます。CV/IV measurement は特性を知り、次の段階の測定を行う上で必要なもので、すべてのサンプルに対して行います。私は合計約40個のストリップセンサーとダイオードを測定しました。この中から全空乏化、かつ、漏れ電流が小さいサンプルを選定してTCT measurement を行います。TCTとは、「Transient Current Technique」の略称で、赤($\lambda = 660\text{nm}$)または、赤外($\lambda = 1060\text{nm}$)のピコ秒パルスレーザーを使って半導体センサー内部の電場情報を得る技術のことです。図

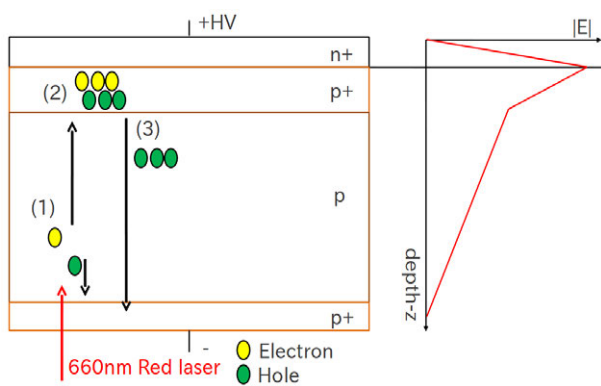


図 2: 内部電場とキャリアの移動の様子

2 はダイオードの層の概略図と内部電場の大きさを表しています。粒子の瞬間的な通過を再現するためにピコ秒パルスの赤色のレーザーをダイオード底面から照射して表面付近で電子・正孔対を生成し、電子は電場によって、陽極に向かってドリフトします (1)。次に、 p^+ 層の高電場領域で電子はアバランシェ増幅を起こし、新たに電子・正孔対を作ります (2)。増幅された正孔は陰極にドリフトして信号となります (3)。このため、図 3 の信号の形は時間的に早い成分が電子の信号、遅い成分が増幅された正孔による信号です。その境界は図 3 の角 (kink) として現れます。また、バイアス電圧を大きくすると、それらの信号の境界がドリフト速度の増加にともなって、左方向に移動して 24ns 付近に収束する事が分かります。

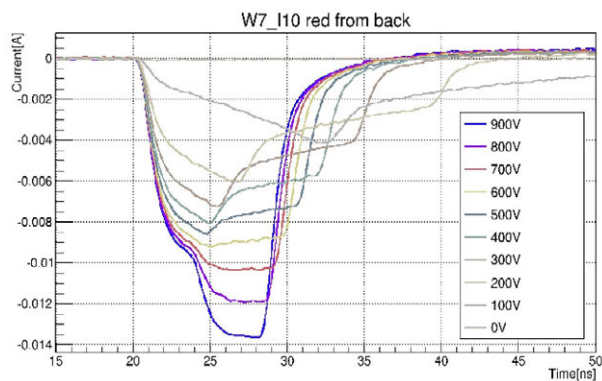


図 3: TCT measurement の測定結果

最後に私は low gain diode の増幅率を 2 つの方法で見積もりました。1 つ目は、増幅された正孔による信号の積分電荷を増幅される前の電子による信号で割る方法 (kink method) です。これで電子 1 個当たりいくつの電子・正孔対を生成できるのかを知ることができます。2 つ目は、増幅機構のないダイオードと low gain diode で全積分電荷量の比を取る方法 (CCE (Charge Collective Efficiency) method) です。後者は、似た性質をもつと考

えられる同じウェハーから取り出された素子同士で比較することが望めます。増幅率は測定した最大電圧 900V

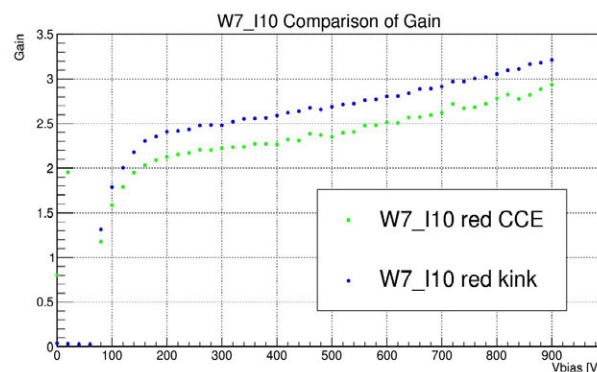


図 4: 増幅率のバイアス電圧依存性

では、図 4 のように、どのサンプルも約 3 倍に到達して、バイアス電圧に対して線型に変化することがわかりました。これらの結果を 8 月 7 日のポスターセッションで発表してたくさんの海外の学生と議論することができました。ポスターの準備の際には、オフィス内のたくさんの方々からコメントをいただき、コラボレーション外に発表することの大変さも感じました。最後の 1 週間はプロジェクトレポートを書く時間に費やしました。科学的な専門用語を使って書かなければならず、大変でしたが勉強して、語彙が増えるにつれて楽しくなっていました。私の担当だった Marcosさんは、8 月 21 日から 1 週間の休暇をとっていたので、同じオフィスの Christianさんに指導してもらって無事に締切に間に合わせる事ができました。

3 CERNでの生活

プロジェクト以外にも、7 月 3 日から 8 月 9 日までの毎日午前中には、ヨーロッパの様々な研究機関から来た講師の方による Lecture Programme という講義を受けました。この期間、サマースチューデントは午前中に講義を受けて、午後からオフィスで研究活動をするという生活を送りました。講義内容は、素粒子物理学だけでなく、検出器の原理や加速器の構造についてなど幅広い分野について用意されていました。講義は当然のことながら、すべて英語で、聞くのに苦労しましたが、内容がとても興味深く、特に、「LHC upgrade」の講義での、今後数十年かけた高輝度化、高エネルギー化についての LHC アップグレード計画についての説明は初めて聞く内容ばかりで、驚きの連続でした。また、素粒子物理学の「Beyond the Standard Model」の講義は、とても難しく、自分の勉強不足をひどく痛感しました。講義後の質疑応答の時間では、活発な議論がなされ、私のつたない

英語での質問にも快く答えてくださり、より理解が深まりました。さらに、自分のメインプロジェクト以外にも実験をすることができる機会としてワークショップも開かれ、泡箱実験や、LHCbのデータ解析なども用意されていました。それぞれの企画は人数制限があり、私はシンチレータ結晶内部で生じたシンチレーション光をどれだけ収集できるかについて学びました。光センサーとシンチレータ結晶の間の媒質の屈折率に注目し、収集光量を約3倍に増加させることができました。CERNの様々な実験施設を見学する機会も設けられており、ATLAS検出器やCMS検出器だけでなく、陽子ビームの初段加速器LINAC(LINEar ACcelerator)、鉛原子核を加速させるLEIR(Low Energy Ion Ring)、超電導磁石の冷却・圧力試験場SM18などを見学しました。ATLAS検出器とCMS検出器見学には必ずしも両方に行ける訳ではなく、私は抽選でCMS検出器見学グループに選ばれました。しかし、KEKの佐々木修先生に誘っていただき、ATLAS検出器も見学することができました。結果的に、両方の検出器を見学できたのは非常に幸運でした。ATLAS検出器の大きさに驚き、ATLAS検出器地下ホールの大きさは高層ビルが収まるのではないかと思うほどでした。ATLASやCMSなどの大型実験の検出器を見るのは初めてだったので胸が躍り、将来私もこのような実験に携わりたくと強く感じました。



図5: ジュネーブ旧市街に遊びに行った時の写真

さらに、オフィスアワー後には、多くのサマースチューデントがカフェテリアに集まって、それぞれの母国文化について話し、しばしば、深夜まで話しが続くこともありました。CERNに到着して第一週目の夕方にAlexander君とDhiyauddin君とサイクリングに行き道に迷ったのはよい思い出です。図5は、サマースチューデントの友達とジュネーブの旧市街に散歩に行った時の写真です。(左から、Alexander君、Srinidhi君、Petros君、Dhiyauddin君、私、Oguz君。)このように、オフィスでの研究活動だけでなく、講義、見学、小旅行などを通じてたくさんの

学生と交流を深め、これらの交流のおかげで私のコミュニケーション能力も向上したと期待しています。

4 今後の抱負

今年の夏は、今までで一番実りある夏になりました。世界中に同じ志をもった友達ができただけでなく、今夏で得られた一番の成果です。また、幅広い分野の研究者の方に会って、研究に対する意識についてお話できたことはとても有意義でした。他の学生は多くの知識を持ち、議論に対する強い意識をもっていると感じました。また、研究に対する視野が広く、「CERNには、面白いことがありすぎて困る」と言っていたAlexander君の言葉を思い出します。私が目指しているのは検出器の開発・運用にも精通し、測定から物理解析まで一貫して理解することのできる物理学者です。今回、CERN Summer Student Programme 2013という人生において二度とない貴重な機会に参加して、今まで体験したことのない半導体飛跡検出器のR&Dに携わることができたうえ、視野を広げることもできました。これからは、彼らをよく見習い、学んだことを生かして今まで以上に研究に励みたいのです。

5 今後の Summer Student Programme に望むこと

KEKの福田さんが内容について事前に十分説明して下さり、質問にも丁寧に答えてくださったので、準備段階に望むことはありません。しかし、最後のプロジェクトレポートを書かなければならない期間に、CERNのスーパーバイザーが夏休暇でいなくなったのは、ヨーロッパの国々との文化の違いなので仕方ないのかも知れませんが、とても不安に感じました。この点をもう少し考慮していただけるとよりよい活動ができると思います。

6 謝辞

今回はこのような貴重な機会を与えてくださった徳宿克夫先生、福田浩さん、現地でお世話して下さった吉田健一さん、そして、推薦状を書いて下さり、研究室で毎日ご指導して下さっている杉立徹先生に大変感謝申し上げます。また、サマースチューデントをサポートして下さったSharon Hobsonさん、Eva Tolosaさんをはじめ、すべての関係者にお礼申し上げます。そして、日本から派遣された安達俊介君、家城斉さん、山口大貴君、山道智博君と一緒にこれ以上ない楽しい思い出を作ることができました。ありがとうございました。