

2015 年 5 月
University of California, Berkeley
Department of Mechanical Engineering
PhD student 畠山大輝

留学報告書

2012 年の夏からカリフォルニア大学バークレー校 (UC バークレー) の博士課程に在籍している畠山大輝です。先日春学期の期末試験を終え、博士課程 3 年目が終わろうとしています。本報告書では過去半年の活動について振り返りたいと思います。

1. 今学期の授業について

バークレーの機械工学科博士課程は卒業までに 12 コマ受講することが求められます。学科によっては単位数で決められています。例えば卒業に必要な単位が 36 単位であれば、3 単位の科目を 12 コマ取らないといけません。しかし、4 単位の科目であれば 9 コマで卒業することができます。日本の授業であれば、1 学期に 12 コマ受講することも可能ですが、アメリカの授業は週に 2,3 回行われるので、感覚的には 1 学期に 3 コマ受けるとかなりきつくなります。もし 4 コマ受講するとなると、研究をする時間がなくなるのではないかと思います。そのため、1 学期に受講できるのは 2, 3 コマで、卒業必要単位を取り終えるのに最低 2 年はかかってしまう計算になります。

機械工学科の授業は 3 単位ですが、物理や電気は基本的に 4 単位です。単位数が多い分、宿題も多く実験があるなど苦労しますが、機械工学科では単位数は関係ないのでいくら電気の授業を取ってもあまりメリットはありません。しかし、私の研究テーマが電子工学に近いので、電気科の授業を多く取り、結果的に卒業必要単位以上の単位を取得することになってしまいました。

このようなデメリットもありますが、バークレーの機械工学科は卒業要件に TA の経験が含まれていないので、TA に時間を取られる心配がないのは有難いです。もし私が電気工学科に在籍していれば、TA を最低 2 学期行わないと卒業できません。また、機械工学科は、他学科の授業でも卒業必要科目に入れることができます。他学科でもできるだけ研究に近い科目を受講することができるのは良かった点だと思います。

ちなみにもし他の大学で機械工学の修士号を取った人であれば、その単位をバークレーにトランスファーすることができます。最高で 2 科目移すことができるので、上手くいけば 10 コマで卒業することができます。10 コマであれば 2 年で授業を取り終えることも可能なので、浮いた分の時間を研究に費やすことができます。私が東大修士課程で受けた授業をトランスファーしようとした際は、その授業の先生に「カリキュラムが違うし単位数も 2 単位じゃないか。」と言ってサインして貰えませんでした。そのため授業をひとつもトランスファーすることはありませんでした。アメリカの大学の授業

であれば同じ教科書を使っている可能性が高く、トランスファーもしやすいと思います。基礎的な学問であれば英語の名著を使っていることが多いので、日本の大学でも同じ教科書で勉強したと言えればなんとかなるかもしれません。

授業を通して新しい分野を勉強し、研究に生かせるのではないかと、大学院の授業ならかなり専門的な内容まで学べるのではないかという意見もありますが、自分で勉強した方が効率は良いので難しいところです。学部生の授業は宿題や試験が多くかなり時間を取られますし、学部生は本気でいい成績を狙っているので A も取りにくいです。やはり自分の興味のあるセミナーに行き、授業に出る代わりに論文を読んだ方が研究は進みそうな気がします。

とはいえ授業で知り合ったクラスメイト、TA、先生は自分の貴重な財産です。同じ授業を受けているということは研究分野も近いことが多く、授業が終わっても交流が続くことがあります。授業を通して仲良くなった先生もいるので、その方とは研究の面でもアドバイスを貰うことがあると思います。

今までは授業を受けながら研究をする日々でした。試験があろうと宿題の締め切りがあろうと研究の進捗を出さないといけないというプレッシャーの中、授業もあまりいい成績が出ず研究も思うように進まないこともありました。今後はより研究に時間を割くことができますが、授業を受けないためインプットの量は減ると思います。その分研究のインプットを増やし、質の高いアウトプットを出せるようにしたいです。

2. 研究活動について

前回の報告書から約半年が経過しましたが、その間に APS（アメリカ物理学会）、CLEO（アメリカ最大の光学系会議）での発表がありました。また、シドニー大学との共同研究で行った研究が META'15（メタマテリアルの国際会議）の招待講演に選ばれました。論文に関しては既にアクセプトされたものが一報、執筆中のものが一報あります。アクセプトされた論文は 2,3 ヶ月後に出版されると思います。

今回は私の研究について少しばかりまとめてみたいと思います。パソコンの IC チップなどに代表される半導体は如何に小さく作るかが鍵となっています。小さく作るほど一つのシリコン基板上に沢山のデバイスを作製することができ、コストダウンに繋がります。また、デバイスのサイズが小さければ、その中を移動する電気（電子）も短時間で移動することができ、より高速で計算などの処理を行うことができます。半導体のサイズはムーアの法則という経験則に従って 1 年半で約半分の面積に減少しています。電子デバイスの基本であるトランジスタのゲート長は現在 22 ナノメートルもしくは 14 ナノメートルであり、これは原子数十個程度の大きさです。既に原子数十個程度なのにこれ以上どうやって小さくするのか、というのが常に議論になっており、今後サイズを小さくするにはデバイスの構造と製造装置を刷新する必要があると言われていきます。半導体のサイズを小さくする方法も問題ですが、小さくすることで熱が発生する

ことも大きな問題です。トランジスタなどの電子デバイスは、配線の中を電子（電気）が流れる時に、熱が発生します。電気を流すと熱が出ることは、こたつやアイロンにとっては良いことですが、ノートパソコンが熱くなると使い物になりません。また、熱はエネルギーロスという意味でも重要な問題です。スーパーコンピュータ京の消費電力は3万世帯[1]、グーグルのデータセンターは20万世帯[2]の消費電力に相当します。熱が消費電力の全てではありませんが、熱の問題がなければ消費電力を大幅に下げることができます。

このような課題から、シリコンフォトニクスという分野が生まれました。シリコンフォトニクスは、シリコンという半導体の基本材料を用いて、基板上に光学デバイスを集積することを目的としています。現在の電気配線が全て光に代われば、熱の問題も起こりませんし、消費電力の低下にも繋がります。既にIntelはデータセンターやスーパーコンピュータの一部（チップ間のデータ伝送）を光で行う製品を開発しており[3,4]、今後はより多くの電子部品が光デバイスに置き換わることが期待されています。

シリコンフォトニクスには様々なデバイス・課題がありますが、問題の一つに非線形光学効果があります。具体的な式や説明は割愛しますが、物質にある周波数の光が入った時に、2倍3倍の周波数の光が出る現象や、屈折率が変化するなどの現象が（ごくわずかに）発生します。このような非線形光学効果は元の光の周波数が変化する、もしくは光が吸収されてしまうといった問題を引き起こす可能性があります。非線形光学効果はできるだけ避けたいものではありませんが、この効果を上手く利用することで周波数を変換することも可能です。現在このテーマで論文を書いているのですが、出版されるまでもう少し時間がかかると思います。最近アクセプトされた論文[5]は非線形光学効果によるロスをどうやって減らすかをテーマにしています。具体的には方向性結合器型の光変調器において（図1）、中央の光導波路の幅と他の導波路との距離を上手く調節

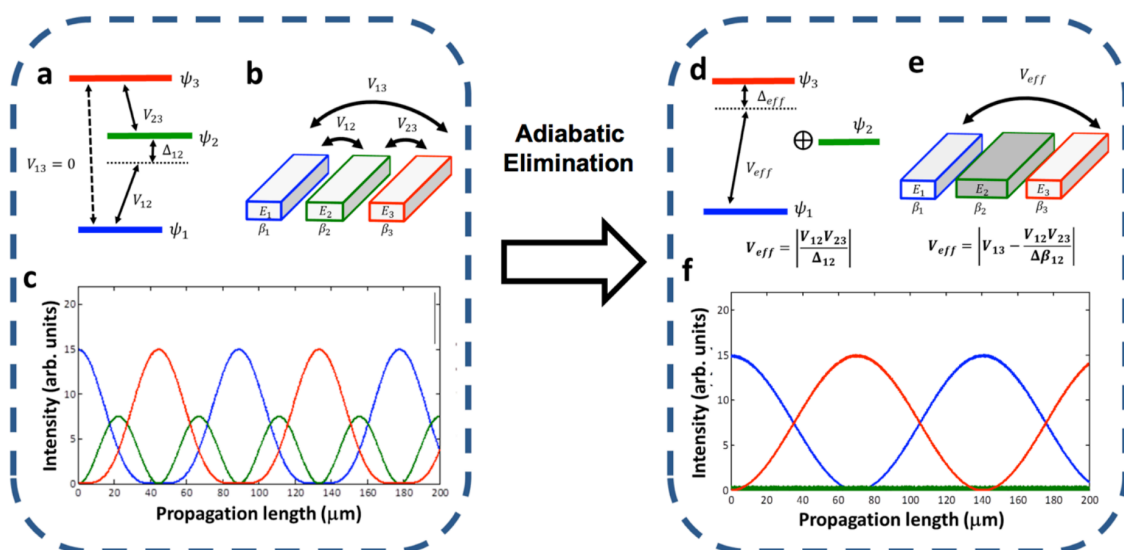


図1. 3つの光導波路における光のカップリング[5]

すると、ある条件で両端の導波路のみ光がカップリングする状態が起こります（具体的な内容が気になる方は論文を御覧ください）。この時中央の導波路には光が通らないので、中央の導波路の屈折率を変えても（ロスがあったとしても）他の導波路中を通る光が吸収されることはありません。これにより、光を変調させてもロスの少ない（エネルギー効率のいい）変調器を作製することに成功しました。今後は更なるロスの低減と、電氣的に動作可能なデバイスの作製を進めていく予定です。博士課程の残りの期間もシリコンフォトンクスにおいて非線形光学効果をどう利用していくかについて考えていきたいと思います。

参考文献

- [1] <http://www.fujitsu.com/jp/about/businesspolicy/tech/k/qa/k04.html>
- [2] <http://googleblog.blogspot.com/2011/09/how-our-cloud-does-more-with-less.html>
- [3] “Intel Silicon Photonics Research,” <http://www.intel.com/content/www/us/en/research/intel-labs-silicon-photonics-research.html>
- [4] “Silicon photonics will revolutionize data centers in 2015,” <http://www.techrepublic.com/article/silicon-photonics-will-revolutionize-data-centers-in-2015/>
- [5] <http://arxiv.org/abs/1501.04411>

3. 課外活動について

先月からジムに行き始めました。バークレーの学生はジムを1学期10ドルで使用できるのですが、今まで全く使ってきませんでした。今まで使ってこなかったのにジムに行こうと思ったのは体力の低下し、研究に支障が出るようになったからです。研究をするにも健康な体と長時間の実験に耐えられるタフネスが必要になります。最近家はキャンパスを行き来するだけになっていたので、運動といえば数十分のウォーキングしかしていない状態でした。このままでは研究のパフォーマンスも落としかねないですし、代謝の低下による体重の単調増加が看過できなくなってきたので、ジムに行くことを決意しました。

初めてジムに行った日は軽く筋力トレーニングをしたのですが、それでも全身が筋肉痛になり、その後数日は筋肉痛と体力の衰えによる絶望に苦しむことになりました。しかし2週3週と続けるにつれ、だんだんと回復のスピードも速くなり、実験も多少疲れにくくなったような気がします。食欲と筋肉は増えているのに体重は減りつつあり、やはりジムに行って良かったと思っています。10年前の筋力に戻すのに1ヶ月かかってしまいましたが、今後は更なる筋力の向上と健康の維持に努めていきたいと思っています。