

奨学生レポート

平成 27 年 1 月 2 日

スタンフォード大学電子工学科 Ph.D 課程

佐藤徳之



はじめに

早いもので Ph.D コースも三年目となりました。海外生活にもだいぶ慣れ、先日車を当てられた際にはアメリカ人特有の強い押しに負けずに交渉することができました。卒業もぼんやりと見えてきたので、現在までの進捗状況を書きたいと思います。私が所属する学科における卒業への流れは、授業単位を取得し、**Qualifying Examination** をパスし、研究成果を出すこと (**Defense** に合格すること) です。研究以外の二つに関してはこの秋学期に完了することが出来ました。**Qualifying Examination** については以前のレポートに記述したので、本レポートでは主に授業について書きたいと思います。

スタンフォード大学の電子工学科では、修士の学位をすでに持っている場合、**21** の授業単位を取得することが Ph.D 課程卒業のために必要です。そのうち **12** は電子工学科のクラスから、残り **9** 単位は他の自然科学系の学科から取得することが出来ます。基本的には **3** 単位/クラスなので、**7** クラス取れば良い計算になります。すぐに授業を取り終わり研究に専念したいと考え、始めのクォーターでは三つのクラスを同時に受講しましたが、あまりの課題の多さに途中で授業数を減らしました。その後は研究とのバランスを考えクォーター毎に基本的に一クラスずつ受講してきました。以下に、これまでの取得したクラスのうち幾つかについて、その内容と感想を書きます。詳しく内容が知りたい方は、**Stanford Coursework Explorer** と検索してみてください。

EE 212 (Integrated Circuit Fabrication Processes)

名前の通り、集積回路プロセスを学ぶクラスです。半導体工学の分野で有名な **Moore** の法則によれば、集積回路上のトランジスタ数は **18** ヶ月ごとに倍増します。すなわち、これを半導体産業の成長率と捉えるなら、毎週 **1%** 程度の驚異的な成長率が持続されていると言えます。当然この法則には原子サイズや熱ゆらぎのため限界はありますが、現在もなお産業界の指針となっています。例えば図 1

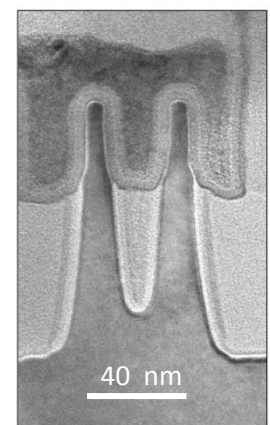


図 1. トランジスタの断面図
Ref.) Intel.com

はインテル社の 2nd generation 3D transistor と呼ばれる最新のトランジスタの断面図で、非常に微細な構造を有しており、かつ三次元構造になっています。このクラスでは、なぜ微細化や三次元化が重要であるのか、それらのための技術的課題、またプロセスシミュレーションについて学びました。クラスはよく考えられた構成で、はじめに一般的な半導体プロセス全体について解説を受けたあと、個々の微細加工工程 — 例えばエッチングやドーピング、またリソグラフィについて原理と最新技術について学びました。夏に経験した半導体関連会社でのインターン中に、これらの基礎的知識を理解しておくことが最先端技術の開発にも非常に重要であることを実感しました。私はインターン中に次世代半導体デバイスの開発に関わる研究を行ったのですが、このクラスで学んだ技術的課題を踏まえて、それらを改善するアイデアを提案することができました。

EE 222 & 223 (Applied Quantum Mechanics)

これは量子力学のクラスで、扱う内容としては日本の大学とほとんど変わらないと思います。シュレディンガー方程式を勉強して手計算が可能な箱型ポテンシャル問題を解くことから始まります。ただし、私がかつて日本で受講した量子力学のクラスと大きな違いがあり、それは最新の研究を題材とした計算問題を授業内で扱う点です。例えば、トランジスタ開発の大きな問題の一つである、ゲート酸化膜を通したリーク電流の計算について扱いました(図 2

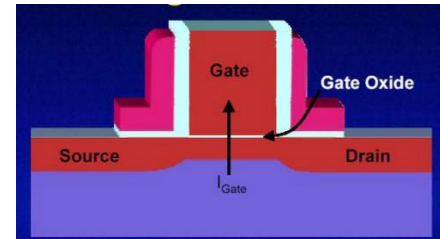


図 2. リーク電流 (I_{Gate}).
Ref.) Intel.com

中の I_{Gate} を計算)。計算自体は非常に単純化されたもので、酸化膜に掛かる電圧に依存したポテンシャルの形を考え、シュレディンガー方程式を解くだけです。しかしながら、実際に自分でプログラミングし、物理定数をいれるという作業によって理解度が高くなり、自分一人で行う場合躓いてしまいそうな細かいプログラミング時の注意点も学ぶことが出来ました(ちなみに私は Matlab を使いましたが教授は Mathematica を勧めていました)。この授業だけではなく、Stanford の授業の多くは、大学院生が研究で使えることを教えようとしている印象を受けます。

MATSCI 347 (Introduction to Magnetism and Magnetic Nanostructures)

このクラスは、最も直接的に私の研究に関連したクラスでした。日本語名は磁性とナノ磁性体入門といったところでしょうか。磁性のみを扱った授業は私の知る限りでは珍しいもので、他大学から受講しにきている学生もいました。磁性の起源から丁寧に解説し、ナノスケールの磁気デバイスである Magnetic Tunnel Junction やバイオセンシングに使われる磁気センサー等まで扱われました。上記の量子力学のクラスと同様に、プロジェクトでは実際のデバイスについてのシミュレーションが課題となりました。選択肢としては Maxwell 3D (電磁界シミュレータ)や OOMMF (マイクロ磁気シミュレータ)があり、私の場合は OOMMF を用いて Fluxgate

sensor のシミュレーションを行いました。OOMMF は Landau Liftshitz equation を有限要素法を用いて解くソフトウェアであり、図 3 に示すように、磁化のベクトルを表示させることができます。私はこれを用いてセンサーの感度をシミュレーションし、センサーサイズの最適化を行いました。このクラスで学んだシミュレーションやそれに関する物理的知識も、大学院生として研究する上で非常に役立つものとなりました。

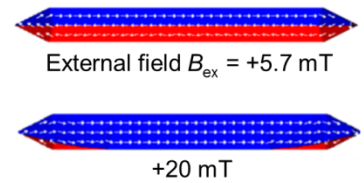


図 3. OOMMF シミュレーション結果の例。図中矢印は磁化の向きを表す。

まとめ

本レポートでは、これまでに行った授業のうち印象に残ったものについてまとめました。特に感じたのは、それぞれの授業が直接的に研究に役立つよう設計されていることです。来年は Teaching Assistant をする予定なので、その点に注意したいと思います。また、今後機会があれば全ての授業についてまとめたいと思います。Stanford の授業についてもし興味のある方は、Stanford Coursework Explorer と検索してみてください。