

International Training Program
オーストラリア 科学産業研究機構 物質科学工学研究所 派遣報告

名古屋大学工学研究科電子情報システム専攻
氏 名 宮脇雄大

今回、International Training Program (ITP) 長期派遣に参加いたしましたので、ここに報告させていただきます。

平成23年1月27日から3月28日までの2か月間、オーストラリア・ニューサウスウェールズ州シドニー市にある科学産業研究機構・物質科学工学研究所：The Commonwealth Scientific and Industrial Research Organization (CSIRO) Materials Science and EngineeringのKostya Ostrikov 教授の研究グループに所属し、研究活動に従事させていただきました。私は名古屋大学大学院、堀・関根研究室で新規フルオロカーボンガスの開発、絶縁膜エッチング特性評価およびエッチングメカニズムの解明に焦点を当てて研究をおこなっているわけですが、今回私がこのプログラムに参加させていただいた理由には、CSIROではプラズマを用いた絶縁膜エッチングのほか、カーボンナノ新材料の開発、ナノバイオテクノロジー等の研究をしており、私が絶縁膜エッチング以外の分野にも興味があったため、このプログラムに参加させていただきました。研究室では、Ostrikov 教授の他、Shailesh Kumar 博士、ポスドクの方、ドクターコースの学生の方々に大変親切にさせていただき、研究活動に集中することが出来たと感じています。

そして、この2か月間は経験的にも実務的にも私の今後の研究生活に対して、とても大きな影響を与えるばかりではなく、人としての成長を遂げるための大きなステップであったと確信しています。それは、研究室での単なる研究活動のみだけではなく、研究室や現地で出会った人々とのコミュニケーション・言語も異なる不慣れた土地での生活など、それらすべてが今回の長期派遣の重要な地位を占めていたのではないかと感じさせるほど有意義なものであったために他ならないからです。

また、CSIROにはオーストラリアのみならず、アメリカやヨーロッパ諸国、中国、韓国、インドなど、

様々な国からの研究者が集まって研究を行っているため、日本とオーストラリアなどの欧米諸国のみならず、アジア諸国の国々との文化的な違いも肌で感じ取ることが出来ました。特に、生活面においての違いは大きなものがありました。一般的に、日本人は勤勉であると言われますが、今回のオーストラリアでの2か月間を通して、どこの国の研究者も自分の研究に対して自信と高い誇りを持って、研究、実験に従事していました。また、研究者の皆さんは非常に勤勉であり、また非常に効率的な時間の使い方をすると思いました。そして、集中して研究を行うことで、余暇や自分の時間をうまく作り出していると感じました。

この文化的な違いを知ることは、コミュニケーションをしっかりと取るうえで非常に重要なことであったと感じさせられました。2か月間という長期間に渡ってオーストラリアで生活をするということは物資の購入や、食事ひとつをとったとしても言語の違いや文化の違いになど、多くの不安要素があり、これらを自分ひとりの力で解決しようとしていたら多大な困難に直面していたのではないかと感じられました。もちろん、困難に直面し、それらを自らの手で解決することは国際感覚を身につけ、世界で通用する研究者に成長するためには重要な要因の一つでもあると感じています。そして、異国での慣れない生活に大きな不自由をすることもなく、集中して研究活動に従事することが出来たのは、CSIROの方々の協力のおかげだと感謝しています。その上で、英語を用い、積極的に話しかけたことでコミュニケーションをうまく取ることが出来たと感じています。

オーストラリア到着時は、Ostrikov 教授およびKumar 博士ともに忙しく、迎えに行くことができないといわれ、あらかじめシドニー空港から我々のアパートおよびCSIROまでのアクセス方法を教えていただいていたので、アパートおよびCSIROへの

アクセスに困ることはありませんでした。CSIRO到着時はKumar 博士にCSIRO内への入管に必要なIDカード発行の手続きをしてもらい、CSIRO内の実験施設や装置、研究グループのメンバーの紹介等をしていただき、とても助かりました。また、CSIRO内の実験装置を使って実験をするには1か月半程度の研修を受けなければならないということも教えていただきました。Kumar 博士からのCSIRO内の一通りのルール等の説明を受けたあと、Ostrikov 教授にCSIROに無事到着したことを報告しに行きました。Ostrikov 教授には欧米諸国における研究のスタイルを色々と教えていただきました。Ostrikov 教授の研究グループはカーボンナノ新材料の開発、成膜、評価をしているということを教えていただきました。

今回のCSIROでの国際ナショナルトレーニングプログラムでは、他の派遣先と異なり、上記のように研修等が必要であるということから、実験は行わずに、われわれの研究データのディスカッション、論文の書き方、プレゼンテーションの仕方を教わった上で、共著で論文にまとめること、そして英語コミュニケーションスキルの上達ということが主な目的となっていました。

CSIRO に到着した日に、Ostrikov 教授から「今日から2週間の時間を君たちに与えるから、君たちの研究内容を15分程度のプレゼンテーションにまとめて発表して下さい。」ということ言われたので、CSIRO に我々が到着してから、最初の2週間は自分の研究についてのプレゼンテーション用スライドを作成することが、我々の仕事となりました。スライド作成中の2週間の間に、Kumar 博士から我々のスライド内容をチェックしていただきました。私のスライド内容について、Kumar 博士からは色々と質問やアドバイスをいただきました。「上部電源および下部電源に MHz 帯の周波数を使っているのはなぜ?」、「エッチング後の絶縁膜表面のフルオロカーボン膜の膜厚の見積もりはどのようにやった?」等の質問をされました。今回、英語で Kumar 博士とディスカッションしたわけですが、私の英会話能力が乏しかったため、ディスカッションをするのにかなりの苦勞をしました。

2 週間の時間が経過し、Ostrikov 教授および

Kumar 博士の前で、研究内容をまとめたプレゼンテーションをおこないました。発表時間自体はちょうど15分だったわけですが、プレゼンテーション終了後、Ostrikov 教授から下記のようなアドバイスや注意をいただきました。

- 発表時間は用意されている時間よりも1分から30秒短くし、質疑・応答などのディスカッションの時間を長くした方が、充実したプレゼンテーションになる。
- プレゼンテーションを聞いている聴衆の方を見てしゃべり、スライドは結果の図を説明する以外は極力見ないこと。
- スライド中に記述する文章は短くすること。文章を長々と記述するのは、実験データの重要性やインパクトが薄れてしまう。
- スライド中に参考文献は必ず入れること。特に研究背景に参考文献がないと、研究を進めていく意義が薄れてしまう。

という以上のことを、Ostrikov 教授から言われました。特に私の研究内容の場合、「研究成果のインパクトはあり、実験データは素晴らしいものがあるが、上記のようなことを意識してプレゼンテーションをおこなわないと、ごく普通の研究内容になってしまう。」ということ、Ostrikov 教授に言われました。Ostrikov 教授に上記のことを言われた時、確かにその通りだなと思いました。国内会議、国際会議問わず、次に私が学会で発表する機会があれば、Ostrikov 教授に言われた上記のポイントを意識して発表したいと決意しました。

翌日、論文の書き方のレクチャーを受け、Ostrikov 教授および Kumar 博士と我々で、昨日発表したスライド内容および論文のアウトラインについてディスカッションしました。いい論文を書くためには、下記のようなポイントをおさえて書かないといけないことを言われました。

- 論文のタイトルはキャッチーなものにすること。これが一番重要。
- 論文の概要を表すアブストラクトは150ワード程度に抑えること。論文の良し悪しはアブストラクトで決まり、あまりにワード数が多すぎると、論文を査読するレフェリーにリジェクトされる。
- 論文の背景は、現在どのようなプロセスで研

究がおこなわれており、それにはどんな問題があり、それをどのように解決していくかをくっきりと記述する。(1つ問いをあげ、その答えを1つ記述するというのを数回繰り返すと良い論文になる。)

- 実験のアプローチに対して、「背景であげた問題の解決に我々はどうのような手法をとったのか?」、「どうしてこのような手法をとったのか?」を必ず記述すること。
- 得られた実験データに対して、どうしてこの実験データが重要なのかを記述すること。
- 最後に、今回得られた実験データが実際の半導体製造プロセスでどのような応用に期待できるかを記述すること。

という以上のことを、Ostrikov 教授から言われました。私はオーストラリアへ行く前に、自分の研究結果を論文にまとめていたわけですが、私が執筆していた論文において、Ostrikov 教授に言われたポイントのうち、「背景は、現在どのようなプロセスで研究がおこなわれており、それにはどんな問題があり、それをどのように解決していくかをくっきりと記述する。(1つ問いをあげ、その答えを1つ記述するというのを数回繰り返すと良い論文になる。）」、「今回得られた実験データが実際の半導体プロセスでどのような応用に期待できるか」という点を記述できていなかったように感じました。前述しましたが、今回の国際トレーニングプログラムでは、研究成果を共著で論文にまとめるという目的があったのですが、私が現在おこなっている研究はある企業との共同研究であり、論文を書く際に特許の問題等が絡んでしまうということを Ostrikov 教授が心配されていたので、翌日から企業および名古屋大学の堀教授、関根教授等と相談しました。そして、その結果、今回執筆する論文は共著にしないということになりました。しかし、実験データの解釈等のアドバイスはすると Ostrikov 教授および Kumar 博士が言ってくくださったので、私個人としては本当にうれしかったです。

プレゼンテーションおよびディスカッションが終わってからは、私の研究に関する様々な論文を検索したり、読んだりすることで、「現時点で論文を執筆するのにどのようなデータをとっていか

なければならないか?」、「国際トレーニングプログラム期間中に研究を進められないか?」、「実験方法や評価手法で自分の研究に取り入れられるものはないか?」等を考え抜きました。また、帰国後にプラズマ中のガス分子の解離および膜との表面反応のシミュレーションをおこないたいと考えていたので、シミュレーションをおこなった論文も読んで、勉強しました。読んだ論文としては、Omori らの「Influence of carbon monoxide gas on silicon dioxide dry etching」、Yanai らの「Mass analyzed CF_x^+ ion beam study on selectivity of SiO_2 to SiN etching and a-C:F film deposition」といったフルオロカーボンを使った絶縁膜エッチング後の表面評価に関する論文、また Pauline らの「Modeling the plasma chemistry of C_2F_6 and CHF_3 etching of silicon dioxide, with comparisons to etch rate and diagnostic data」という膜表面および気相中の反応を CHEMKIN というシミュレーションソフトを用いて解析している論文等を読みました。特に、Pauline らのこの論文は、 C_2F_6 ガスのプラズマ中での起こることが予想される解離反応を全てピックアップし、シミュレーションをおこなっていたため、私にとっては大変勉強になったと感じました。

次に、オーストラリア滞在中に実験をできないかと考えた結果、堀・関根研究室にいる私と同じ研究グループに所属する近藤祐介氏に電子密度測定および発光分光測定を依頼しました。電子密度および Ar の発光強度から反応速度定数 $\langle \sigma v \rangle$ という Ar (750.4 nm) の発光しきい値である 13.5 eV 以上のガスの解離に寄与する高エネルギー電子の振る舞いを考察することができます。このことから、プラズマ中のフルオロカーボンガス等の解離メカニズムを考察することが可能となります。反応速度定数 $\langle \sigma v \rangle$ は以下の式から求めることができます。

$$\langle \sigma v \rangle = I_{Ar} \cdot 1 / (N_e \cdot [Ar])$$

ここで I_{Ar} は Ar の発光強度、 N_e は電子密度、 $[Ar]$ は Ar ガス密度を表します。

以下に、その実験結果および考察を記述します。図 1 に C_5F_8 , $C_5HF_7/O_2/Ar$ プラズマ中の電子密度のフルオロカーボンガス流量依存性を示します。実

験条件は上部電極 RF 印加電力 (60 MHz) 1800 W、下部電極 RF バイアス印加電力 (2 MHz) 1200 W、圧力 2 Pa、ガスの流量 C_5F_8 , $C_5HF_7/O_2/Ar$ $Ar/C_5F_8 = x/25/300$ sccm でプラズマを生成しました。

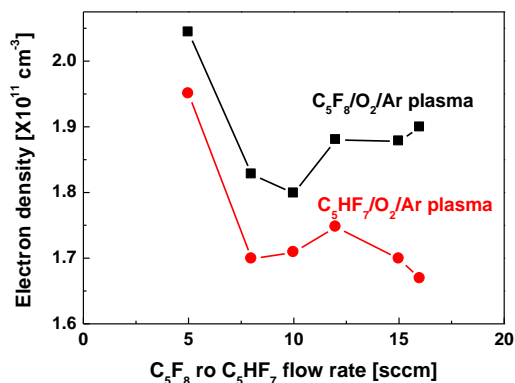


Fig. 1 The dependence of fluorocarbon flow rate on electron density for C_5F_8 , $C_5HF_7/O_2/Ar$ plasma.

両プラズマともに、フルオロカーボンガス流量の増加に伴い電子密度は減少する結果となりました。これはフルオロカーボンガス流量の増加に伴い、プラズマ中の Ar 分圧が減少するために、電子密度も減少したと考えられます。また、 $C_5F_8/O_2/Ar$ プラズマの方が $C_5HF_7/O_2/Ar$ プラズマよりも電子密度が高い結果となりました。

次に、図 2 に C_5F_8 , $C_5HF_7/O_2/Ar$ プラズマの反応速度定数のフルオロカーボンガス流量依存性を示します。 $C_5F_8/O_2/Ar$ プラズマにおいて、 $\langle \sigma v \rangle$ は C_5F_8 ガス流量増加に伴い、増加しました。一方、 $C_5HF_7/O_2/Ar$ プラズマにおいて、 $\langle \sigma v \rangle$ は C_5HF_7 ガス流量増加に伴い、減少する結果となりました。また、 $\langle \sigma v \rangle$ は $C_5F_8/O_2/Ar$ プラズマの方が $C_5HF_7/O_2/Ar$ プラズマよりも高い結果となりました。

四重極質量分析法 (QMS) で C_5F_8 , $C_5HF_7/O_2/Ar$ プラズマ中のイオン種を観測した結果から、 $C_5HF_7/O_2/Ar$ プラズマ中では $C_2F_4^+$, $C_3HF_4^+$, $C_4F_4^+$, $C_4HF_4^+$ イオンといった質量の大きいイオン種の存在が確認されたのですが、 $C_5F_8/O_2/Ar$ プラズマ中では $C_2F_4^+$, $C_4F_4^+$ イオンの存在が確認できたのですが、これらのイオン密度は $C_5HF_7/O_2/Ar$ プラズ

マよりも低いということが分かっています。つまり、電子密度および反応速度定数測定から、 $C_5F_8/O_2/Ar$ プラズマ中に存在する高エネルギー電子数が $C_5HF_7/O_2/Ar$ プラズマ中よりも多いために C_5F_8 ガス分子の解離が進み、高質量イオン種の密度が低いと考えられます。

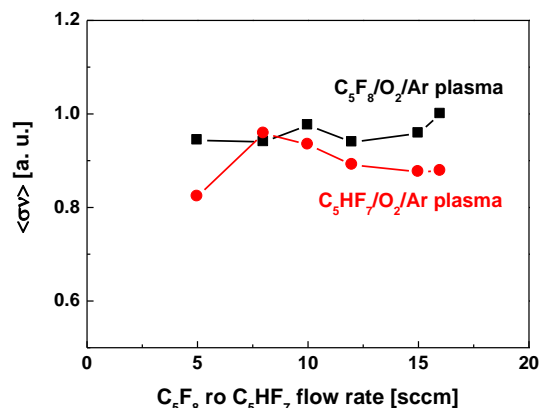


Fig. 1 The dependence of fluorocarbon flow rate on reaction rate constant for C_5F_8 , $C_5HF_7/O_2/Ar$ plasma.

今回の2か月という期間は、非常に有意義な時間をオーストラリアにて過ごすことが出来たと私は感じています。今回のITPでは実験は行わずに、われわれの研究データのディスカッション等が主な活動だったのですが、言い換えれば、テーマを与えられる訳ではなく、自分で研究活動内容を考察しなければならなかったもので、上記のように自分の研究分野に関する論文を多く読み、もう一度基礎から勉強することができたことは貴重であったと思います。また、生活を通して、オーストラリア人のみならず様々な国の人たちとの交流ができたことは結果として、私にとって何事にも換えられない大きな財産になったと感じています。そして、このような機会を与えてくださったCSIROのOstrikov 教授、Kumar 博士他、名古屋大学プラズマ工学研究センターITP 事務局に感謝したいと思います。また、是非とも今回の経験を後輩たちに伝え、海外で生活すること、海外の研究者と交流を深めることが如何にプラスになるかを伝えたいと思います。

