

International Training Program 韓国 成均館大学 派遣報告

名古屋大学 工学研究科 電子情報システム専攻 ムン チャン ソン

プラズマプロセス技術は国を支えているディスプレイや太陽電池、半導体などのような主力産業に関して大きな役割をしてきています。そして、製造に広く応用されているのでプラズマ技術は速く開発されながらアプリケーション分野にも応用されてきました。現在、プラズマ技術の開発はアメリカやヨーロッパや日本で行われています。まず、プラズマ技術は多くの先進分野に適用されていますし、適用の可能性も大きく期待されています。日本においても、多くのお金と人的資源が科学社会に貢献している先進のプラズマ技術と有能な研究者を発育させるためににつき込まれています。

しかし、技術開発が国内でばかり制限されたとしたら、世界化の流れに遅れることしかできないと思います。これを乗り越えることができる方法の一つが ITP のプロジェクトであり、プラズマに関する研究を行っている学生と研究者らに世界の有名な研究所へ派遣者として送ることで、新しい技術開発に対して経験し、貢献することができるいい機会を提供するのです。

さらに、研究開発以外にも他の国で新しい文化や言語や歴史などを接することで、国内ではできないさまざまな経験ができるいい機会を提供することもあると思います。私は韓国のプラズマプロセス技術開発を導いている Center for Advanced Plasma Surface Technology (CAPST) に派遣され、共同研究を進行しました。CAPST は韓国の成均館大学内に属して 2000 年度に初めて設立されました。成均館大学の優秀研究陣だけでなく、韓国の中でプラズマ研究を進行している優秀な研究陣たちが集まって、プラズマ基礎研究を土台にしながら、アプリケーションテクノロジーにおける蒸着、エッチング、デバイス製造、表面処理及びプラズマ診断にいたるまで、さまざまな研究を 9 年間行ってきました。その結果、今までに世界の有名な

研究所と多様な企業との共同研究を通じて、また新しい技術開発を通じて、数多くの進歩を成し遂げてきたといえます。私は CAPST のセンター長を歴任している Han 先生の研究室に派遣されて、そこで研究を行っている研究員、Dr. Britun と研究を行いました。

到着した初日には、まず私たちは CAPST メンバーの皆さんとあいさつをして、自己紹介もしました。その後、CAPST メンバー中で博士課程である学生に研究室及び CAPST を全般的に一緒に見回しながら、一つ一つ詳しく説明していただきました。センターにはプラズマと関連のある装備がたくさん入っていました。特に、Han 先生の研究室は、マグネトロンスパッタリングを用いた薄膜合成に大部分の力を注いでいました。また、薄膜合成だけではなく薄膜成長のメカニズムを解明するために、レーザー関連装備、ラングミュアプローブ、Fabry-Perot interferometry, optical emission spectroscopy (OES) などの多様な診断装備が取り揃えられていました。我々は、他の教授らの研究室も訪問させていただき、エッチングやデバイス製造や PECVD などのさまざまな装置も説明していただきました。CAPST は既にプラズマプロセス技術開発及び産業応用のための有用な装置を取り揃えて研究に集中していました。

特に、Dr. Britun と実験を進行するにおいては、英語で話し合わなければなりませんでした。話し合いにおいて、派遣前 1 ヶ月間の英語研修は多いに役に立ちました。たとえば 1 ヶ月間の英語研修ではありましたが、ネイティブスピーカーとレッスンを行った経験は、今回の派遣において大いに役に立ちました。たとえ正確で完璧な文法や発音で英語を駆使することができなくても、英語で話し合うことにおける自信を持つようになることで、外国での研究及び生活においてエラー事項を減らすことも ITP の派遣目的の中で一つであったと思

います。言い換えれば、派遣される学生と研究員においてネイティブスピーカーとの英語研修はとても重要な準備の中で一つだと思います。

私の研究の内容は、狙いは診断技術として Laser Induced Fluorescence (LIF) を用いてマグネトロンスパッタリングにおいて発生する C、C₂、C₃ のようなカーボン粒子を調べることになっていました。カーボン材料は多くの産業、例えば自動車、ディスプレイ、半導体、二次電池などに適用される大きな可能性を持っています。特に、プラズマプロセスによって合成されているカーボン薄膜の大部分は、sp² 結合と sp³ 結合を有するアモルファス特性を持っています。言い換えれば、薄膜内での sp³ 結合が増加すれば薄膜の硬度も増加する傾向があります。しかし、最近 sp² 結合が多い構造として高い硬度と伝導性を持っているカーボン薄膜が現れてきています。このようなカーボン薄膜の産業応用において他の材料を取り替えることができる高い期待感を受けています。CASPT は既にマグネトロンスパッタリングを用い伝導性カーボン薄膜を合成する技術の開発に成功していました。この技術を土台として、ポリマー基板上の合成のための技術開発が成り立っていました。実際に、低い温度でのプロセスは、ポリマーからの特性のためポリマー基板上に合成される薄膜はいい特性を現わすことができません。それでポリマー基板上の薄膜合成研究のために実際薄膜特性に影響を与えるスパッタ原子、そのエネルギーや温度及び速度等の内部パラメーターを解明することで、薄膜成長のメカニズムを解明しなければならないです。

今回の研究では、LIF によって測定されたスパッタ粒子の密度と速度を解析することで、フィルムの特性を向上させることを期待して研究を行いました。さらに、薄膜成長のメカニズムを理解して、ポリマー基板上の応用のための研究に関して一歩進むことができる礎石を用意することが共同研究の目的の中でひとつです。さらに、今までは LIF によって測定されたカーボン原子に関する研究はほとんどないので、この研究自体としても独創性があると考えられます。実際に、水素、カーボン、酸素、窒素、フッ素等のような軽い原子は、6.5eV 以上の高いエネルギーを持っています。言

い換えれば、波長が 190 nm 以下のエネルギーを持つ真空紫外 (VUV) 光電子だけがこのような軽い原子を刺激することができます。しかし、実際に VUV 光電子は生成させにくいと考えられます。このような問題点は two photon absorption laser induced fluorescence (TALIF) という方法によって解決できると思われます。これと関連して、堀関根研究室はすでに真空紫外吸収分光法 (VUVAS) によって、カーボンラジカルの密度測定技術を持っています。この度、共同研究で堀関根研究室の技術と関連をつけて共同研究を行うという大きい意味がある研究になったと思います。

私は LIF テクニックについて経験がなかったので、基本的な理論からアプリケーションまで LIF テクニックを理解することが必要でした。最初に、私は Dr. Britun をお願いして理論と実験結果について彼から 6 時間にわたる教育を 2 回受けました。同時に、私は二ヶ月間で行いたいことについて Han 先生と CAPST メンバーにプレゼンテーションをしました。発表した実験の予定は能率的な実験ができるように Han 先生と Dr. Britun に調整していただきました。

実験を始める第一歩として、私は全般的に理解した後、レーザー調整や色素選択だけでなく、光学部品の設置のような基本的な実験準備を十分に学びました。さらに、実験で使われる励起波長をどのように決めればよいのか、装備をどのように操作するかなど、気を付けなければならない点や詳細な実験手順においても学ばなければいけませんでした。その結果、Dr. Britun から多くのいい経験を積むことができました。しかし、不幸にも実験装置の整備と新たに注文した色素の長い配達時間のため実験を進めることができる時間が十分ではありませんでした。例えば、LIF 実験を進めるためには 30 分以上の長い放電時間が必要ですが、長期間の放電によるオーバーヒートによってマグネトロンソースに問題が発生してしまい、最後にはリークが発生してしまいました。幸い、実験装置整備においては私がマスター学生時代にマグネトロンスパッタリングに十分な経験を積むことができたので問題を解決するのに大きな問題はありませんでした。しかし、CAPST の持っていた色素は Ti と Ti⁺ の密度を計測するために購入さ

れたものでしたので、これを用いてカーボン粒子を計測するのは困難でした。それにもかかわらず注文した新しい色素が届く前に計測することができず、蛍光信号をできるだけ試みましたが、試行錯誤しましたが結局はその蛍光信号を計測することに失敗しました。新たに注文した色素を用いて計測してみましたが、実験を進めることはあまりできませんでした。さらに、新しい色素が到着する前に、我々は既存の LIF を用いて計測しました。Ti と Ti⁺ の密度を計測した実験をもう一度進行しました。この LIF の実験を通じて、私は実験の始めから結果解析までを十分に学びながら、理解することができました。カーボン材料ではありませんでしたが、将来カーボン材料を用いて LIF 実験を進める場合には大きい助けになったと思います。

さらに、Korean Vacuum Society という国内学会に参加させていただき、韓国で研究されているプラズマプロセス技術の動向を把握することができました。研究されている韓国のプラズマプロセス技術は日本と非常に似ていると思いました。その理由は、韓国でプラズマ研究が主に成り立っている自動車、ディスプレイ、半導体などのような主要産業が日本の産業と似通うからだと考えられます。しかし、両国の間には技術の差と規模の差が多少あるのではないかと感じました。それは韓国に比べて日本の政府と会社が投資する費用と装置の差があることに起因すると思います。まさに、その投資の規模が技術発展の礎石を用意すると思います。

そのあとは太陽電池や半導体産業と係わった韓国で一番大きい展示会にも参加することができました。その展示会は国内及び海外の有名な企業が集まった韓国で最も大きい展示会でした。展示会の参加を通じて、最近研究されている太陽電池の技術傾向や新たに開発された半導体関連情報を収集することができました。今、博士課程において研究している分野と異なる新しい分野に対しても視野を広げたことで、知識を広げることができ、いい機会だったと思います。機会があったなら、博士課程が終わった後で、未来エネルギー産業に脚光を浴びている太陽電池についても研究したいという関心も生ずるようになりました。

研究以外の生活としては、私たちは一週間に一回行われる Han 先生の研究室ミーティングに参加して、研究員と学生たちの発表を聞いたり、私たちも 2 週間に一回研究の状況に関して発表しました。すべて研究室ミーティングとディスカッションは英語で行われました。私たちは研究室ミーティングを通じて、Han 先生の研究室で研究されている研究に対して多くのことを見て感じながら学ぶことができました。また、メンバーに質問することで、新しい研究分野に対する知識も得ることができました。私は基礎的な質問にも誠心誠意答えてくれたすべての研究員と学生たちに感謝いたします。なによりも二ヶ月間、とても楽な宿泊施設を用意していただいた CAPST に感謝します。私たちが二ヶ月間泊まった所はゲストハウスという海外から来た研究者たちのための宿泊施設でした。大学内にありますし、研究室とも非常に近くて時間を節約することだけではなく、遅い夜にも非常に安全に帰ることができました。さらにゲストハウスでの生活も非常に楽で、洗濯、食事、お風呂、掃除等が可能になるような設備が揃っていました。また、研究員たちの中にはウクライナ、フィンランド、中国から来た研究員たちと研究以外に多くの会話を通じていい経験ができました。日本に留学している私に似ている点をお互いに感じる事ができ、有益な時間を持つことができました。

このレポートの始めに言及したように、ITP は今まで経験したことのない異なる国と異なる文化と同様に研究を経験する機会を提供します。韓国人の私が韓国に派遣されたわけですが、それでもなお私にもこの二ヶ月間二人の日本の学生たちと楽しむのにより時間がありました。私はその学生たちに早く CASPT メンバーとの関係を作るのを手伝うことができました。さらに、私は日本の学生たちがいい思い出をつくるために人気があるパフォーマンスや有名な観光地などの韓国文化を感じることができる機会を紹介しました。また、これまで日本では食べられなかった韓国の伝統的な食べ物をいろいろ一緒に食べたり韓国語も教えたりして、韓国に対してもっと分かってもらい感じる機会を与えることができました。このプログラムでは、私にも日本の学生との緊密な関係を作ることができ、韓国に対しても分かるようになってう

れしかったです。

私がこのプログラムで感じたことは、世界の有名な研究所に直接行かせていただいて、共同研究を行いながら試行錯誤を通して研究能力を強化することもでき、非常に意味があったと思います。ITP は今年から始まったばかりですが、それが多くの国と協力しながら続くと優れたプログラムになると思います。また、日本が逆に海外からの留学生を引きつけられれば、互いを理解して伝えることができ互いにとって大きな利益になると思います。そして、それは彼らに日本の文化と同様に日本における研究傾向を知らせます。さらに、その期間が六ヶ月以上まで長くなることができるととても深い結果を成し遂げて詳細に討議することは可能だと思います。

プラズマ技術は科学的なテクノロジーの中でも一番速く成長している技術であり、産業アプリケーションで主要な位置を持っています。今までもプラズマについてたくさん研究が行われてきましたが、プラズマは非常に難しく複雑なので多くの未知の現象があります。そして、高度な解析技術もまだ十分ではありません。私は ITP がほかの国との共同研究に通じてプラズマ技術研究の進歩に十分な役割をしたいと思います。

最後に、私に有益な機会と十分な支援をくださった ITP 関係者方に心から感謝を表明いたします。