

International Training Program アメリカ合衆国 テキサス大学ダラス校 派遣報告

名古屋大学工学研究科電子情報システム専攻 野田 智紀

はじめに

私は、テキサス大学ダラス校にて、ラングミュアプローブ、フローティングプローブ、MWIを用いたプラズマ診断に関する研究を行いました。滞在期間は2012年11月19日から1月21日までの2か月間で、Matthew Goeckner教授の研究グループでお世話になりました。

ダラスとテキサス大学ダラス校の紹介

ダラスは、アメリカ合衆国テキサス州の北部に位置する商工業都市です。古くから交通の拠点として発展し、今日でも金融、経済の中核として機能しています。近くのフォートワースやアーリントンなどを含めたダラス・フォートワース都市圏の人口は500万人を超え、広域都市圏では、ヒューストンを凌いで州で1番であり、都市圏としては南部最大の規模を誇る世界都市です。

私は、アメリカのテキサス州リチャードソンに



図1. テキサス大学ダラス校

メインキャンパスを持つ、テキサス大学ダラス校(UTD: University of Texas at Dallas)の材料プロセス研究機関(ICAMP: International Center for Advanced Materials Processing)にて共同研究を行いました。1961年に、テキサス・インスツルメンツ(TI)の研究機関の一部、Graduate Research Center of the Southwestとして設立されました。1969年に博士課程の大学院生のみを受け入れる大学院大学として、テキサス大学システムの一つとして認められて大学となりました。その後、1990年から学部1年生の受け入れを開始し、2009年に大学開校40周年、また、学部一年生を受け入れ始めてから20周年記念となった若い大学です。「US ニュース&ワールド・レポート」誌の2011年版最良のカレッジでは、「第1層」(Tier-1)にランク付けされました。TIの研究機関を前身としているため、設立当初から研究型大学として発展してきました。近年の発展が特に目覚しく、2010年8月における研究費は8500万ドルとなり、過去4年間で60%以上増えています。研究では特に、ナノテクノロジー、宇宙科学、コンピュータセキュリティ、行動科学や脳科学等の50以上ある研究センターを中心に高い評価を得ています。

ダラスでの生活について

1月の前半までは、大学の敷地内にある学生寮で暮らしました。学生寮は広く、キッチンや冷蔵庫、ソファなど基本的な家電製品などが揃っており、とても快適でした。飲食店やスーパーマーケット、最寄駅まではシャトルバスを利用し移動をしました。

研究室は毎週水曜日にミーティングを行い、その時間以外は自由であり、皆それぞれが実験を行ったり論文を読んだりしていました。ウィークリーミーティングでは1人か2人がスライドを使って進捗状況をプレゼンテーションを行うというも



図 2. NBA 観戦

ので、マンスリーミーティングでは、研究グループの全員が進捗状況と今後行うことを発表するというものでした。

水曜日のミーティングの時間以外にも、各自で Goeckner 教授の部屋に行き議論を行っていました。

休日には、市内を観光しました。ダラス市街地では、ダラス美術館や The Sixth Floor Museum というケネディ大統領が暗殺された時のことに関する博物館、バスケットボール、アイスホッケーの観戦などに行き、ダラスの歴史やアメリカ人の文化を学ぶことができました。

研究活動について

研究テーマは、「ラングミュアプローブ、フローティングプローブ、マイクロ波干渉計を用いたプラズマ診断とその比較」としました。

ラングミュアプローブ、マイクロ波干渉計は装置のセッティングまで行ったのですが、正常に動作せず測定が行えなかったため、この2つの測定法に関しては測定法の概要の説明だけにさせていただきます。

ラングミュアプローブは、局所的なプラズマ密度や電子温度等を正確に測定することができる非常に有名なプラズマ診断法です。プラズマに微小電極を挿入し基準電極に対して電圧を印加して流れる電流を測定すると、電流—電圧特性が得られます。プローブ電流は、電子電流とイオン電流の和となり、深い負バイアスをかけた領域では、電

子がほとんどプローブに入らないのでプローブ電流はイオン飽和電流となり、その値は式(1)となる。

$$I_{is} = -0.605en_0 \left(\frac{\kappa T_e}{m_i} \right)^{1/2} S$$

となります。その反対に、高い正バイアスをかけた領域ではイオンは入れず、電子電流は飽和値 $I_{es} = (n_0 e \langle v_e \rangle / 4) S$ となります。中間の領域における電子電流は

$$I_e = \frac{en_0 \langle v_e \rangle}{4} S e^{e(V_s - V_p) / \kappa T_e}$$

$$\log I_e \propto e(V_B - V_p) / \kappa T_e$$

と得られ、指数関数的に増大するので、電子電流の対数值 $\log I_e$ を電圧 V_B に対してプロットすると直線にのり、その直線の勾配の逆数が、 $\kappa T_e / e$ を与えるので電子温度が求まります。電子温度とイオン飽和電流もしくは電子飽和電流からプラズマ密度を測定することが可能です。

フローティングプローブは、局所的なプラズマ密度や電子温度を測定することが出来るプラズマ診断法です。図3にプローブの回路図を示します。

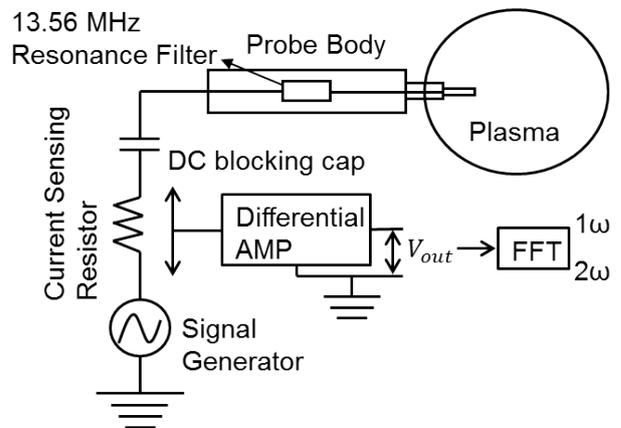


図 3. フローティングプローブ構成図

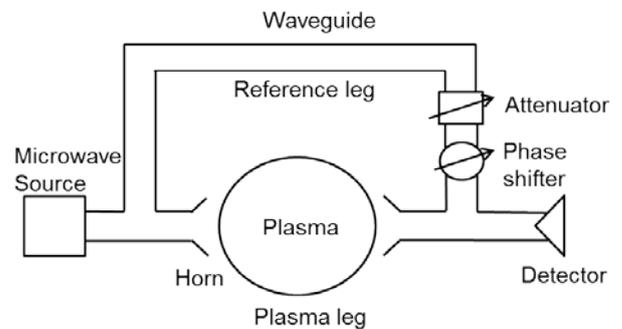


図 4. マイクロ波干渉計構成図

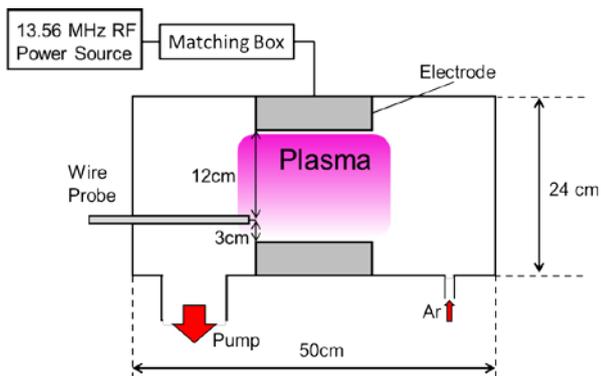


図 5. 実験装置図

図の信号源から高周波電圧を印加し、電流検出抵抗にかかる電圧を作用アンプで測定し、高速フーリエ変換によって電流を各成分にわけ、その値の比を求めることで電子温度とプラズマ密度を求めることができるというものです。

マイクロ波干渉計は、プラズマに対して非侵襲的というメリットを持つが、マイクロ波の伝搬路に沿った平均密度しか得られないという診断法です。図 4 にマイクロ波干渉計の構成図を示します。プラズマがある場所とない場所の位相変化を伝搬定数やプラズマ周波数の変化に関係づけることでプラズマ密度を測定します。

図 5 に実験装置概略図を示します。円筒型チャンバー内部に電極が 2 つあり、下の電極を接地、上の電極から 13.56 MHz の高周波電源を印加しプラズマを生成する容量結合型プラズマ源を使用し、プラズマ診断を行いました。ガスは Ar を用い流量は 10 sccm です。電極間距離は 15 cm であり、下の電極から距離 3 cm の位置にプローブを挿入し、電極と平行方向に掃引することでプラズマ密度、電子温度測定を行いました。

フローティングプローブを用いてプラズマ密度を測定した結果を図 6、図 7 に示します。グラフの横軸の原点を電極中心とし、80 mm の位置が電極端です。図 6 は、圧力を 300 mTorr 一定としてパワーを変化させたプラズマ密度のグラフです。図 7 は、パワーを 80 W 一定として圧力を変化させたプラズマ密度のグラフです。

プラズマ密度測定と同時に測定した電子温度のグラフを図 8、図 9 に示します。図 8 は、圧力を 300 mTorr 一定としてパワーを変化させた電子温度のグラフです。図 9 は、パワーを 80 W 一定と

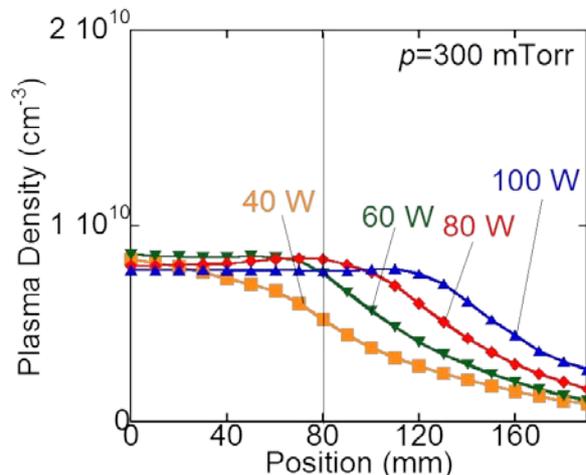


図 6. プラズマ密度 (パワー依存性)

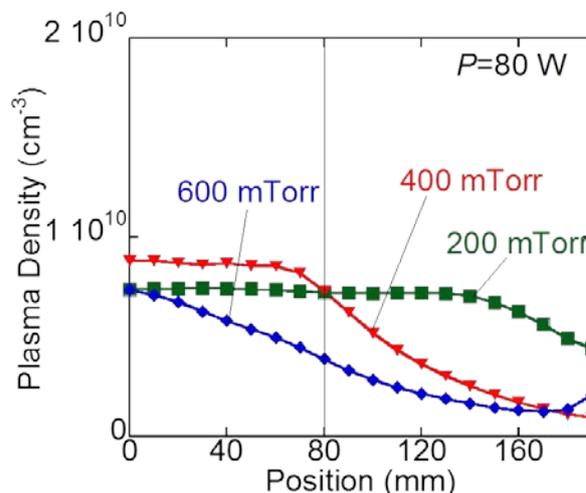


図 7. プラズマ密度 (圧力依存性)

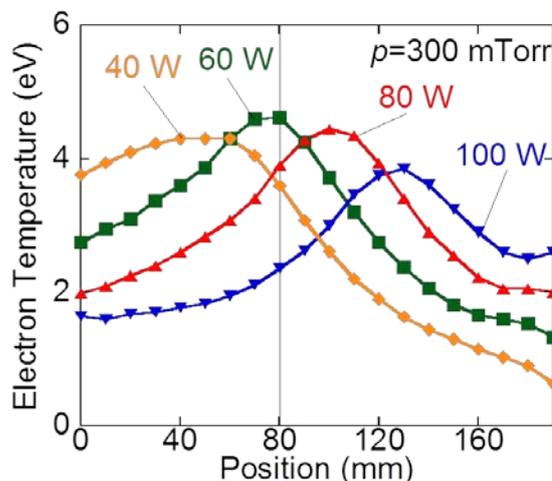


図 8. 電子温度 (パワー依存性)

った皆様に感謝申し上げます。

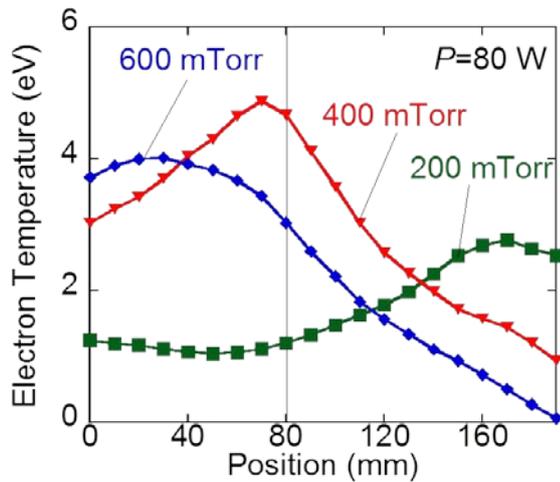


図 9. 電子温度（圧力依存性）

して圧力を変化させた電子温度のグラフです。図 6、7 のグラフより、パワーや圧力による依存が小さく中心付近では非常に均一なプラズマ密度、電子温度測定のグラフでは、ピークを持つような形のグラフかつ 4 eV 以上の電子温度の位置も存在するという結果を得ました。プラズマ密度の結果が均一になりすぎているため、値が飽和しているのではないかと考えました。電流検出抵抗にかかる電圧を上昇させようとし、電源から入力する電圧が上昇し、作動アンプと高速フーリエ変換の部分で値が飽和してしまったためプラズマ密度が図のように均一になってしまい、電子温度もその影響により不均一で非常に高い値になってしまったと考えられます。

本来は、フローティングプローブの回路内を調査し、会社に問い合わせ解決するべきでした。また、他の測定方法でプラズマ診断を行うことによりこの結果との比較を行うべきだったのですが、診断機器を準備することに非常に時間がかかってしまい動作不良もあったため比較検討することが出来ず、満足のいく結果を得ることはできませんでした。

最後に、このような機会を与えてくださった堀勝教授、豊田浩孝教授、諸先生方、諸先生方、名古屋大学プラズマナノ工学研究センター、テキサス大学ダラス校 Goeckner 教授および学生の方々、この度の ITP 長期派遣プログラムに携わって下さ