高専研究室紹介

大島商船高等専門学校での半導体分野における取り組みについて

電子機械工学科　教授　中村（なかむら）　翼（つばさ）

0.　はじめに　～自己紹介～

本記事をご覧になっている皆様、はじめまして。大島商船高等専門学校 電子機械工学科に所属しております、中村翼と申します。私は平成16年（2004年）3月に長岡技術科学大学 大学院工学研究科 電気・電子システム工学専攻 修士課程を修了後、平成16年4月に独立行政法人 国立高等専門学校機構 大島商船高等専門学校（以下、本校）電子機械工学科 助手として着任いたしました。

その後、学位を取得するために、平成18年4月に母校である長岡技術科学大学大学院工学研究科エネルギー・環境工学専攻 博士課程に進学し、そこでは大気圧プラズマの応用について研究を進め、平成21年12月に本課程を修了いたしました。これまでに本校に所属する先生や他高専、大学の先生から親身にご指導いただきながら、2章で記載します「電子サイクロトロン共鳴イオン源」を用いた基礎研究も実施しております。

半導体分野に関連する授業科目もございますが、この基礎研究テーマが縁となり、令和5年（2023年）にJEITA（電子情報技術産業協会）およびSEAJ（日本半導体製造装置協会）からお声掛けいただき、本校 電子機械工学科ならびに情報工学科の学生を対象に、半導体産業に関するキャリア講演会を本校で実施することができました。昨年（令和7年）で3年目になります。令和7年7月に実施していただいたキャリア講演会の写真を**図1**に掲載しておりますが、参加した学生たちは熱心に説明を聞き、時にはメモを取っていました。このキャリア講演会の回数を重ねるごとに、半導体デバイスや産業に興味・関心を持つ学生が増えてきている印象を持っております。今後も、この取り組みを継続し、本校として半導体人材育成に寄与できたら、と考えております。

1.　大島商船高専の沿革、学科構成と所属学科の紹介

全国には51の国立高専があり、そのうちの1校が本校です。そのキャンパスは、山口県東部の屋代島（周防大島）にあり、一度でも来校された方にはわかるかと思いますが、**図2**に示すように海と山に囲まれ自然豊かなキャンパス（敷地総面積112,540 m^2）です。

本校の歴史[1]は古く、明治30年（1897年）に船舶職員養成の5年制の大島郡立大島海員学校として創設されました。その後、昭和42年に修業年限5年6ヶ月の国立大島商船高等専門学校に昇格し、平成16年度より独立行政法人国立高等専門学校機構大島商船高専高等専門学校に移行しました。現在では本科に航海コースと機関コースからなる商船学科と、工業系の電子機械工学科と情報工学科の3学科、そして専攻科として海洋交通システム学専攻と電子・情報システム工学専攻を擁する高等教育機関として発展し、我が国の海事ならびに工学の高等教育機関として、多くの卒業生と修了生を関連産業界に送り出し、社会の発展に大いに貢献

図1.　半導体キャリア講演会の様子

図2.　キャンパスの航空写真

してきました。

本校電子機械工学科の学生を育成するポイント[2]としては4点あり、その中の「電気電子工学と機械工学に関する高度な知識を有する実践的技術者の育成」に、半導体産業に関するキャリア講演会の内容が合致したため、講演会を開催していただきました。

2. 研究内容の紹介 ～電子サイクロトロン共鳴イオン源を用いた多価イオンの生成～

本校では、電子サイクロトロン共鳴（Electron Cyclotron Resonance; ECR）イオン源（以下、ECR イオン源）を所有しています。ECR イオン源は、理学研究用の高エネルギー加速器に多価イオンを供給する装置として、1970年代に Geller（グルノーブル核融合研究所）らによって開発されました。その応用例としては、新元素の合成や重粒子線がん治療などが挙げられます。

ご存知のように、近年パワー半導体市場が急激に拡大しており、半導体製造技術の向上が求められています。半導体を製造する上で基盤材料である炭化ケイ素（SiC）に不純物をドーピングするイオン注入は必要不可欠な技術であり、半導体の伝導性を変化させることで様々な特性の半導体を製造することが可能となります。そこで基盤材料である半導体の SiC へのイオン注入に応用するため、アルミニウム4価（Al^{4+}）の生成をターゲットとして本研究計画を立ち上げました。多価イオンを生成する理由は、通常イオン注入には高い電圧が必要ですが、多価イオンを利用することで注入するイオンを加速するための電圧を抑えることが可能となります。そこで本研究室では、比較的安価で多価イオンを生成することが可能な ECR イオン源を使用し、多価イオン生成における基礎研究を行っています。なお多価イオンとは、原子または分子から電子が2個以上電離した状態です。

図3に本校の Oshima-ECR イオン源（前述の ECR と区別するため、頭に Oshima と付記）の概略図、**図4**はその外観です。Oshima-ECR イオン源の構成は、チャンバー内で生成した多様のイオンを引き出すための引き出し電極、ビームを集束させるアインツェルレンズ、ビームを分析するために分析マグネット、ビームを検出するためにファラデーカップといった機器が取り付けられています。またチャンバー内を良好な真空状態にするために3台のターボ分子ポンプと補助排気ポンプ（ロータリーポンプ）を使用しています。

一般的な ECR イオン源は、ソレノイド1組によって形成されたミラー磁場と、チャンバーの周りに設置された6極磁石によって形成される磁場によって、チャンバー内にプラズマを閉じ込めるのに対し、Oshima-ECR イオン源ではリング永久磁石1組、8極永久磁石を用いて磁場を形成しています。

また半導体イオン注入において、多価イオン源の導入が進められていることを背景に、イオンビームの加速電圧を下げて装置コストの削減を狙い、プラズマを閉じ込める磁場（長手方向のミラー磁場と径方向の多極磁場）に永久磁

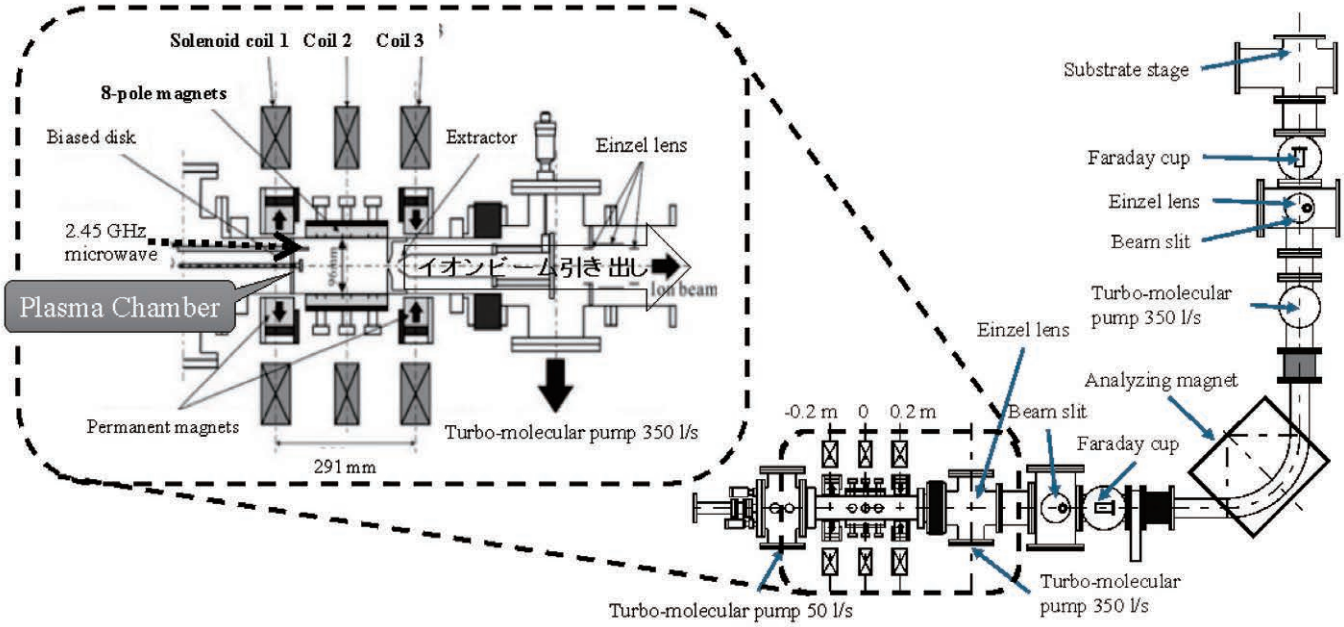

図3. Oshima-ECR イオン源の概略図

図4.　Oshima-ECR イオン源の外観

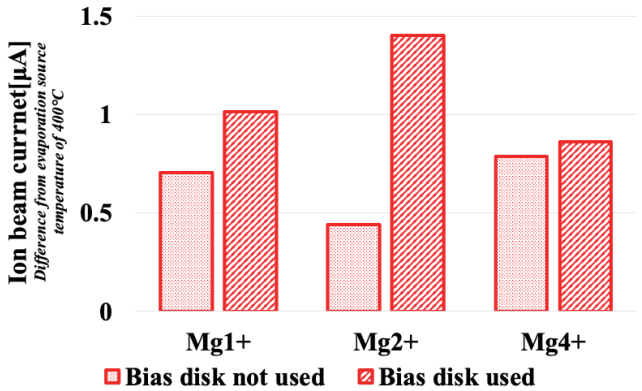

図5.　ガスミキシング法によるバイアスディスク使用有無でのマグネシウム多価イオン生成量の変化

石を用い、その磁場を調整用するためのソレノイドコイル3つを有する特徴的な構成となっています[3]。この調整用ソレノイドコイル3つを用いてチャンバー内の磁場強度を変化させることが可能であることも特徴の一つです。

これまでの研究成果ですが、詳細な実験パラメータは省略しますが、**図5**にガスミキシング法[4]ならびにバイアスディスク法[5, 6]と呼ばれる手法を用いてマグネシウム多価イオンを生成した時の結果[7]を示します。ここで Mg^{3+} は、その質量電荷比が O^{2+} と近く、その生成を明確に確認できなかったため除外しています。また質量電荷比[8]とは、イオンの質量を統一原子質量単位で割った値を、さらにイオンの電荷数で割って得られる無次元量のことです。

この結果からマグネシウム4価イオン（Mg^{4+}）の生成は確認でき、2つの手法を組み合わせることで、Mg^{4+} のビーム電流が863 nA であることを確認しました。マグネシウムはアルミニウムと同じ金属で、Mg^{4+} のイオン化エネルギー（109 eV）は、Al^{4+} のイオン化エネルギー（120 eV）と近く、この実験方法で目標としている Al^{4+} を生成できると考えています。

しかしながら現時点での課題は、アルミニウムを気化するにせよ、非常に高温が必要となることから、多価イオン化させるためのアルミニウム分子をプラズマチャンバー内に送り込む手法を検討しているところです。

このように Oshima-ECR イオン源は、ターゲットとなる Al^{4+} を生成するための能力を持っていることは実験結果から証明できましたが、その生成を確認することができていないのが現状です。

3.　おわりに

本校学生の気質として、素直で真面目な学生が多いです。これは他高専の先生からもよく聞かれる意見です。そのため、この素直さ・真面目さを持ち味とし、今後も学生との対話を大切にしつつ、本校としても半導体人材育成に寄与できたら、と考えております。

参考文献

(1)　120周年記念誌，https://www.oshima-k.ac.jp/wp-content/uploads/2023/11/oshima120.pdf, 2025/11/11引用
(2)　高専 Web シラバス（大島商船高等専門学校 電子機械工学科），https://syllabus.kosen-k.go.jp/Pages/PublicSubjects?school_id=37&department_id=15&year=2021&lang=ja, 2025/11/11引用
(3)　T. Asaji et al, Design of a new electron cyclotron resonance ion source at Oshima National College of Maritime Technology, REVIEW OF SCIENTIFIC INSTRUMENTS, 85(2) (2014)
(4)　M. Mark, J. Haveman, R. Hoekstra and A. Drentje, “GAS MIXING in ECR-SOURCES”, 7th Int. Workshop on ECR Ion Sources, Julich, p.152-176, 1986.
(5)　K. Matsumoto, “Role of a biased electrode in the first stage of electron cyclotron resonance multicharge ion source”, Rev. Sci. Instrum. 65,1116(1994).
(6)　S. Gammino, J. Sijbring and A.G. Drentje, ” Experiment with a biased disk at the K.V.I. ECRIS”, Rev. Sci. Instrum.63,2872(1992).
(7)　Seitatsu Onosaka, at el. Generation of Multi-charged Magnesium Ions Using an External Evaporation Source in ECR Ion Source, Transactions on GIGAKU 10(1), 10004-1-10004-8, 2023.11
(8)　吉野健一，用語を通して学ぶ質量分析基礎の基礎 第2回「m/z と質量電荷比」, J. Mass Spectrom. Soc. Jpn., Vol. 56, No. 4, pp.209-213, 2008