

# ドイツ FZD での海外研修

百田 佐多生

(受領日：2010年5月6日)

高知工科大学環境理工学群

〒 782-8502 高知県香美市土佐山田町宮ノ口 185

E-mail: momota.sadao@kochi-tech.ac.jp

要約：平成21年度高知工科大学教員海外研修支援制度の支援をいただき、ドイツのドレスデン研究センター (FZD) 内の Institute of Ion Beam Physics and Materials Research に平成21年8月から12月の4ヶ月間滞在した。滞在期間中は、主に電子ビームイオン源の開発や、このイオン源から供給される多価重イオンビームと物質との相互作用に関する研究を行った。本稿では、滞在中の研究活動を通して得た Institute 内の研究体制の状況や海外研修で体験したことについて報告する。

## 1. はじめに

筆者は、高知工科大学に建設した多価重イオンビーム照射装置を用いて多価重イオンビームの生成やその特異な性質に関する研究を行ってきた。2007年に開催されたイオン源の国際会議で研究結果を招待講演として発表した後、一人の研究者から声をかけられたのが Zschornack 博士との出会いであった。Zschornack 博士は、多価重イオンを生成できる電子ビームイオン源 (Electron-beam ion source : EBIS) の開発を行っており、多価重イオンビームの応用を意識した筆者の研究に興味を持ったのだ。翌2008年にドレスデンで開催された国際会議に出席した際に彼の研究室を訪問し、このとき共同研究について話し合った。その後、研究の進め方を相談していた折、教員海外研修制度を利用して Zschornack 博士が所属する研究所に滞在しようと思い立った。幸運なことに研修制度への申請が認められ、滞在先の責任者である Möller 教授からも受入承諾をもらった。この結果、4ヶ月間の海外研修を行うこととなった。

## 2. ドレスデン研究センター

Zschornack 氏が所属するドレスデン研究センター (Forschungszentrum Dresden-Rossendorf : FZD) [1] は、ドイツザクセン州の州都ドレスデンにある総合研究所 (図1) で、観光の名所となっている市街地から約 20 km 離れた森の中にある。1956

年に旧東ドイツが国立の原子核研究施設として創設し、東西ドイツ統一後の1992年に現在の研究所として再スタートした。筆者が研修先としてお世話になったのは、所内組織である Institute of Ion Beam Physics and Materials Research の Zschornack グループである。Institute のトップが Möller 教授で、2008年に出席した国際会議の議長であった。

筆者は、この研修で多価重イオンビームの生成や応用に関して研究を深めるとともに、研究者として新しい視点が得られることを期待してドレスデンへと旅立った。



図1 :FZD の正門

### 3. FZD での研究活動

研究活動の中心となる多価イオンは、その生成および性質いずれについても、通常の研究・応用に用いられる1価のイオンとは大きく異なる。多価イオンを生成するためには、高速電子が高密度に存在する空間を生成し、原子を多価イオン化に必要な時間その中に閉じこめることが必要条件となる。EBISはSEM等で使用される高エネルギー電子ビームと、電磁場によるイオンのトラップ効果によってこの条件を実現している。Zschornack博士はEBISの研究者であるとともに、DREEBIT社[2]のCTOとしてEBIS[3]とその周辺機器の技術開発や製造に関わっている。筆者が後に使用することになったEBIS-A(図2)も、DREEBIT社の製品である。

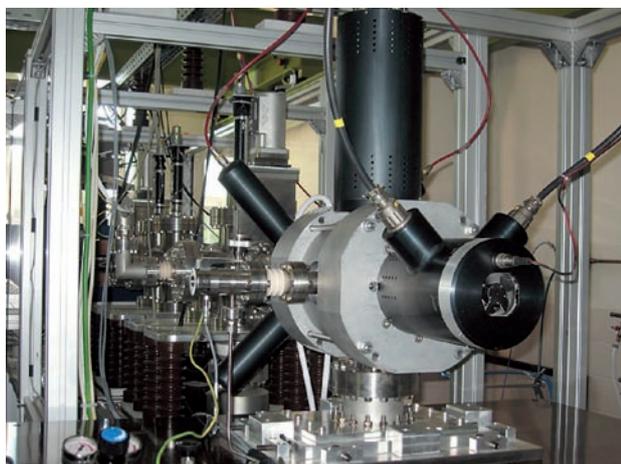


図2: 筆者が研究活動で使用したEBIS-A

イオンビームが物質に照射される場合、その照射効果は、主にイオンが持つ運動エネルギーが物質へ付与されることに起因する。多価イオンの場合、運動エネルギーに加えてポテンシャルエネルギーも照射効果に関与する。ポテンシャルエネルギーは、価数とともに急激に増加する(図3)。このエネルギーは表面から数nmという非常に局所的な領域で物質に付与されるため、表面での特徴的な加工や改質を通じてナノテクノロジーへの応用が期待されている。EBIS-Aなどの製品を普及させるためにも、Zschornack博士は多価重イオンビームの応用分野の開拓を必要としており、筆者の研究内容とマッチングしたのである。DREEBIT社は、さらに高強度の多価重イオンビームが生成できる超伝導タイプのイオン源(EBIS-SC)の開発も始めており、筆者はその一号機の立ち上げにも

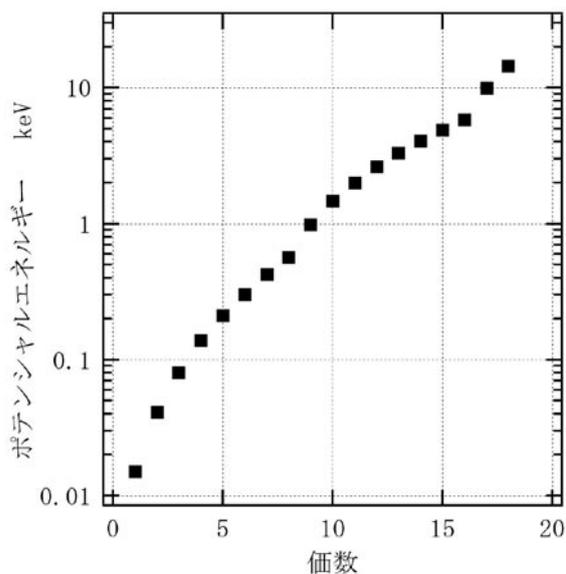


図3: Ar イオンの価数とポテンシャルエネルギーの関係

立ち会うことができた。

最初に、EBIS-Aにおける多価イオン生成現象を解明する実験に参加した。EBIS-Aは製品化されたイオン源であるが、多価イオン生成のメカニズムは明らかにされているとは言い難い。この実験は、研究グループの一員でドレスデン工科大学のPhD学生でもあるErikによって行われた。Zschornack博士はドレスデン工科大学の教員でもあり、研究グループに学生が所属してEBISの開発研究に携わっている。ErikからはEBIS-Aの構造・動作原理にはじまり、運転の方法を教わった。この実験はErikのPhD論文の一部となる大切な実験であったのだが、夕方に終了することはもちろん週末に行われることはなかった。他のスタッフも土日に研究室に出てくることはなく、平日でもすべきことがなければ早々と帰宅することが多い。

次に、筆者はEBIS-Aで生成されたArの多価イオンビームをSiの単結晶に照射し、結晶中に生成される格子欠陥に関する研究を行った。Zschornack博士の取り計らいにより筆者のマシナタイムは優先的に割り振られ、実験の準備からEBIS-Aの運転まで同僚Ulrichの協力により無事実行することができた。同様の研究は、Arの9価イオンを用いて行われており[4]、FZDではさらに多価のビームを用いて実験を行った。

多価イオンの照射効果を評価する際にも、FZDの他の研究グループの協力を得ることができた。Schmidt博士にはSi結晶の表面処理の専門家とし

て、Heller 博士には RBS 分析の専門家として評価実験に協力してもらった。一連の実験研究によって、多価重イオンのポテンシャルエネルギーが Si 結晶の表面付近での欠陥生成現象に影響を与えることを示唆する結果を得た。

研修後期に、実験結果に基づいて打ち合わせを行った。Möller 教授をはじめする共同研究者との議論は非常にエキサイティングで、研究の進め方や理解の仕方に新しい視点を与えてくれた。このときのメモ (図 4) は、今でも議論の楽しさを思い出させてくれる。

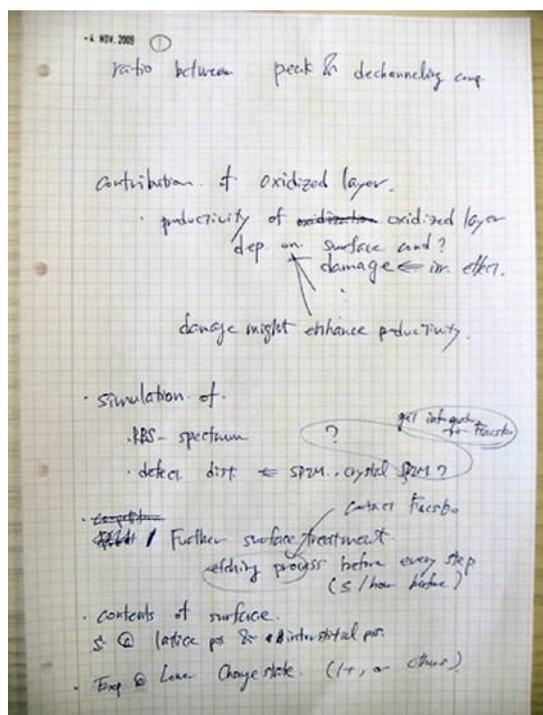


図 4: FZD での打ち合わせメモの一部



図 5: 研究グループの朝食会

る学科・学群の方々の協力によって実現することができた。改めて感謝の意を表し、報告を終えることにする。

## 文献

- [1] <http://www.fzd.de/>
- [2] <http://www.dreebit.com/>
- [3] G. Zschornack, M. Kreller, V. P. Ovsyannikov, F. Grossman, U. Kentsch, M. Schmidt, F. Ullmann, R. Heller, "Compact electron beam ion sources/traps; Review and prospects", Rev. Sci. Instrum., vol.79, pp. 02A703, 2008.
- [4] S. Momota, K. Nishimura, Y. Nojiri, M. Kashihara, T. Narusawa, F. Nishiyama, "Analysis of Si crystal irradiated by highly-charged Ar ions using RBS-channeling technique", Nucl. Instr. and Meth. B, vol.267, pp.1412-1414, 2009

## 4. まとめ

4ヶ月間のFZDでの滞在で得られたものは、多くの研究者との交流であった。研究活動はもちろんのこと、毎朝開かれる研究グループの朝食会 (図 5) は興味深いものであった。朝食会にはグループメンバーが各自食べたいものを持ち寄り、わいわいと世間話をしていた。時にはマシタイムの日程調整や学会報告が行われることがあり、研究グループとしての方向を決定する役目も持っていたようだ。2009年は、ベルリンの壁崩壊の20周年にあたり、当時東ドイツの軍役についていたグループスタッフ (筆者と同年代) とも話すことができた。

今回の海外研修は支援制度のみならず、所属す

# Report on stay in Forschungszentrum Dresden-Rossendorf

**Sadao Momota**

(Received : May 6th, 2010)

School of Environmental Science and Engineering, Kochi University of Technology  
185 Miyanokuchi, Tosayamada, Kami City, Kochi 782-8502

E-mail: momota.sadao@kochi-tech.ac.jp

**Abstract:** Owing to the support of international exchange Professor support program of Kochi University of Technology, I visited and stayed from August 2009 to December 2009 at Forschungszentrum Dresden-Rossendorf (FZD) in Germany. I collaborated with researchers in FZD to develop electron-beam ion source (EBIS) and to investigate interaction between materials and highly-charged heavy ion beams, which were provided from EBIS. The research activity in FZD and my experience through my stay at Dresden is reported.