

氏名 大 田 暢 彦

学位（専攻分野） 博士（工学）

学位記番号 総研大甲第41号

学位授与の日付 平成5年3月23日

学位授与の要件 数物科学研究科 加速器科学専攻
学位規則第4条第1項該当

学位論文題目 シンクロトロン放射光によるアルミニウム表面層からのガス放出

論文審査委員 主査 教授 小林 正 典
教授 木 村 嘉 孝
教授 高 田 耕 治
教授 黒 川 眞 一
教授 石 丸 肇
助教授 金 澤 健 一
(高エネルギー物理学研究所)
教授 本 間 禎 一 (千葉工業大学)
上 田 新次郎 (日立製作所)

論文内容の要旨

電子貯蔵リングにおける電子のビーム寿命は、シンクロトロン放射光 (SR) がビームダクトを照射した際に起こるガス放出 (光刺激脱離=PSD) によって決まると言ってもよい。一般的なビームダクト材料であるステンレス鋼、アルミニウム、および銅から放出されるガスは、主に H_2 、 CO 、 CO_2 であり、最も電子のビーム寿命に影響を及ぼすものは質量数 (Z) の大きい CO や CO_2 である。SRによって放出されるこのようなガスの根源は何であって、どこに存在するのかがこれまでの研究では明らかになっていない。また、このガス放出源とPSD特性の定量的関係が明らかにされていない。これらを明らかにすることは、ガス放出を低減させるための手法、ならびにPSDのメカニズムを解明するためには必要不可欠である。高エネルギー物理学研究所のトリスタンのビームダクトはアルミニウム合金で作製されているが、これまで測定されたPSD特性ではアルミニウムのガス放出率が最も高い。このような背景に基づき、特にアルミニウムからSRによって放出されるガスの放出源およびそのガス源とPSD特性との定量的関係を考察することが本論文の目的である。

金属材料からのガス放出源を考察する際に、その放出源の場所を最表面、表面酸化層、金属内部の三つに特定して考える。金澤らが行なったSR照射後のアルミニウム合金に対する表面層の軽元素分析において、アルミニウム表面層には H 、 C および O の元素が局在し、SRが照射された部分はそれらの元素が顕著に減少していることが確かめられた。これらの元素の減少はSRによって引き起こされたPSDによる H_2 、 CH_4 、 CO および CO_2 のガス放出によるものであり、すなわちこれらのガス放出源は表面層にあることを示唆している。このような事実を受けて、SRによるガス放出源を特定するために次に示す実験を試みた。

第1段階：最表面の汚染物の除去

まず、最表面の汚染物 (主に炭素化合物) だけを取り除きPSD特性の評価を行なった。最表面の汚染物は、活性な酸素 (酸素原子や酸素ラジカル) と表面の炭素との化学反応によって取り除かれる。この活性な酸素はアルゴンのアーク放電によるプラズマによって発生される。処理中には、表面の炭素化合物と活性酸素との反応生成物である、主に CO の放出が観測され、わずかに H_2O や CO_2 などの放出が観測された。さらに、オージェ電子分光分析 (AES) によると、この活性な酸素による表面処理によって、最表面の炭素が取り除かれたことが確認された。初期のフォトドーズ (1×10^{20} photons/m) において、光脱離係数 (光子1個あたりに放出される分子数 = η) は、この処理によって1/7に減少した。また、処理中に主に CO として放出された分子数と、PSDによって放出される CO や CO_2 の処理による減少分の分子数がほぼ一致することがわかった。このことは、PSDによって放出されるガスを活性な酸素による処理によって、あらかじめ短時間に放出させたという概念を与えると共に表面原子数とPSDによって放出されたガス分子数との定量的関係が得られることを示唆している。しかし、最表面の汚染物を完全に除去した試料において

も H_2 、 CH_4 、 CO 、 CO_2 のPSDが完全になくなったわけではない。このことから、ガス放出源は最表面だけでないことが判明した。また、AESにおける酸化層内部の深さ方向の元素分析においても炭素は検出されていることから、表面酸化層中にも存在していることが予想できた。

第2段階：表面酸化層内部の汚染物の除去と定量的考察

第1段階に得られた結果を受けて、酸化層内部の汚染物を取り除きPSD特性の評価を行なった。アルミニウム合金の表面酸化層はアルゴンのイオンエッチングによって除去される。このアルゴンイオンエッチングによって、表面層に異なる炭素原子数を有する試料を4つ準備した。このような試料に対してPSDによるガス放出量の測定を行なった結果、アルゴンイオンドーズが多いほどそのガス放出量は減少して行く。これは、PSDとして放出された H_2 、 CH_4 、 CO 、 CO_2 のいずれにおいても同様であった。さらに、in-situにおけるAES分析によってアルゴンイオンエッチングによって除去された炭素原子数を測定した。各試料間のPSDによる CH_4 、 CO 、 CO_2 の放出ガス分子数は除去された炭素原子数だけが減少していることを世界最初に示すことができた。このような事実から、ガス放出源は表面層に存在している炭素原子であることが明らかになった。このように測定された定量的な関係を使って、初期の η を予測する方法を提案し考察した結果、 η の測定装置の測定限界付近を除けばSRを照射しなくとも除去された炭素原子数を求めることによって、初期の η を予測できることが可能となった。この実用的なデータと初期 η の予測の手法は、電子貯蔵リングなどの真空系の設計に貢献できるであろう。また、光脱離量を減少させるための表面処理手法の開発に貴重な指針を与えるものと予想される。

論文の審査結果の要旨

電子を加速貯蔵するリング状加速器(電子ストレージリング)では、強力かつ高エネルギーの放射光がリングダクトの内壁を照射するために、通常の熱的過程でのガス放出に比べ2~3桁も大きい、光脱離と呼ばれるガス放出が起こっている。光脱離によるガス放出のために、ビームが周回しているダクト内部の真空が悪化し、ストレージビームの寿命の短縮がおこる。光脱離を低減するために、低ガス放出率の材料を探す実験や表面処理による低減化に関する実験が数多く行われてきているが、ガス放出源そのものを特定しそれに基づき低減化の方策を示した実験は、まだなされていない。

今回、大田暢彦君が博士論文として行った研究は、大型の電子ストレージリングのビームダクト材料としてよく用いられているアルミニウム合金に放射光を照射した場合の光脱離を測定し、そのガス放出源を特定しようとするものである。同君は、金属最表面に吸着している炭素や酸素を含む不純物原子や分子を、プラズマを用いた活性な酸素原子で除去して清浄にした後、放射光を照射して光脱離を測定した。オージェ電子分光法を用いた表面観察では最表面が清浄になったにも関わらず、この処理では光脱離を約1桁しか小さくすることができなかった。次いで、表面層を形成している金属酸化膜を計画的にはぎ取ることにより表面層中の不純物原子の量を制御した試料を製作し、光脱離の測定を行った。このような意識的な実験によって、表面層不純物原子の低減と光脱離強度の減少とに一次の相関があることをはじめて見いだした。この結果は、電子ストレージリングでの光脱離量を減少させリングを速やかに適正作動状態にする方策に道を開いたことになる。以上の光脱離の実験はトリスタン入射蓄積リングARに設けられたビームラインを使用して行われたものであるが、同君はビームラインの設計と建設に参加し、表面処理装置および光脱離測定用装置を設計し組立てて実験を行ったものである。

以上のように、大田暢彦君の論文は、大型電子ストレージリングにおける大きな問題の一つである光脱離の源を特定したという重要な結果を含んでいる。実験の進め方、結果への理解も含め、この分野での研究を足がかりに有能な研究者として成長していくことを示す内容をもつものとして、数物科学研究科加速器科学専攻の博士論文としてふさわしい内容を有していると判断した。

また、大田暢彦君に対する博士論文を中心とする関連分野ならびに基礎分野に関する学識の評価を、論文の口述発表と放出ガス測定に関するJournal of Vacuum Science and Technologyへの投稿論文によって行った。これらは真空と表面に関する専門的な事柄に関するものであったが、同君はこれらに対し十分な理解と知識があることを示した。