

京都大学教育研究振興財団助成事業
成果報告書

平成21年4月1日

財団法人京都大学教育研究振興財団

会長 辻 井 昭 雄 様

所属部局・研究科 原子炉実験所

職名・学年 助教

氏名 佐藤 紘一

| | | | |
|-------|--|------------------|--|
| 事業区分 | 平成20年度・長期派遣助成 | | |
| 研究課題名 | ヘリウムイオン照射された金属材料中の欠陥とヘリウム原子の相互作用 | | |
| 受入機関 | チャルマーシュ工科大学 (スウェーデン) | | |
| 渡航期間 | 平成20年5月24日 ~ 平成21年3月1日 | | |
| 成果の概要 | タイトルは「成果の概要/報告者名」として、A4版2000字程度・和文で作成し、添付して下さい。「成果の概要」以外に添付する資料 無 有() | | |
| 会計報告 | 交付を受けた助成金額 | 1,950,000円 | |
| | 使用した助成金額 | 1,950,000円 | |
| | 返納すべき助成金額 | 0円 | |
| | 助成金の使途内訳 (使用旅費の内容) | 航空賃 181,000円 | |
| | | 空港使用料 2,040円 | |
| | | 燃油サーチャージ 44,380円 | |
| | | バス賃 10,000円 | |
| | 日当・宿泊料 1,712,580円 | | |
| | 航空券の関係で出発日を1日早めた | | |

1. はじめに

現在、エネルギー問題を解決するためにも核融合炉の開発が望まれおり、フランスのカダラッシュに国際熱核融合実験炉が建設されている。核融合炉の実現に向けて大きな進歩が期待されている。その核融合炉の技術的課題として、プラズマの閉じ込め技術の改善と炉を使用中の構造材料劣化の抑制の二つが挙げられる。本研究では後者に注目した。特に、核融合反応によって生成されるヘリウム原子や中性子と材料構成原子との核反応によって生成するヘリウム原子が材料特性の劣化を著しく速めることが最近の研究から分かっており[1,2]、ヘリウム原子と照射欠陥の相互作用を調べることは今後の核融合炉開発には欠かすことはできない。本研究では、鉄にヘリウムイオンを照射し、照射欠陥とヘリウム原子の相互作用を陽電子ビームによる陽電子寿命測定を行って調べることを目的とする。

2. 実験方法

本研究では、ニラコ社製、純度 99.995%の鉄を用いた。試料の大きさは $10 \times 10 \times 0.2$ mm で、照射面は機械研磨し、水素雰囲気中、1123K で 1 時間の歪み取り焼鈍を行った。ヘリウムイオン照射はドイツのダルムシュタット工科大学のタンデム型加速器で行った。イオンの加速エネルギーは 30keV、照射温度は室温、照射量は 1×10^{14} 、 1×10^{15} 、 1×10^{16} 、 2×10^{17} He^+/cm^2 、照射速度は 1×10^{13} $\text{He}^+/\text{cm}^2 \cdot \text{s}$ であった。すべての試料に対して、チャルマーシュ工科大学の陽電子ビーム装置を用いて、陽電子消滅寿命測定を行った。また、 1×10^{16} He^+/cm^2 の試料については、京都大学原子炉実験所(KUR)において、従来型の陽電子消滅寿命測定を行った。

3. 実験結果と考察

(1) 照射欠陥の深さ分布

図 1 に SRIM コード[3]により求めた、30keV ヘリウムイオン照射によって形成される試料の深さ方向に対する欠陥分布を示す。生成する点欠陥量のピークは表面から 90nm 付近である。陽電子ビームの加速エネルギーは 2.5keV、5keV、6keV、7.5keV の 4 種類とし、それぞれ図 1 に縦線で示された深さ周辺の欠陥の情報を調べた。表 1 にそれぞれの照射量と陽電子エネルギーにおける損傷量を示した。

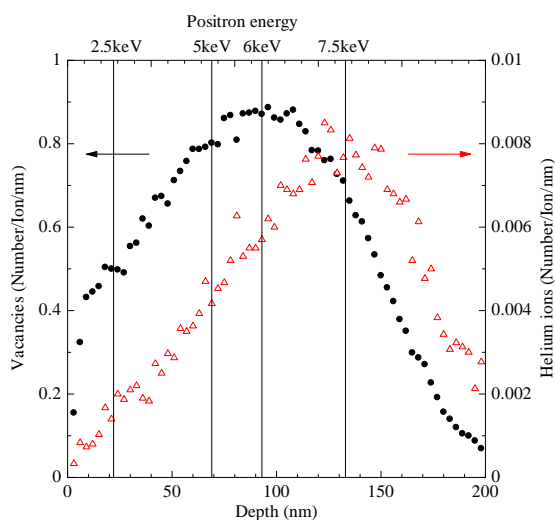


図 1. 鉄に 30keV のヘリウムイオンが打ち込まれた際の試料表面からの欠陥分布。

表 1. それぞれのイオン照射量と試料表面からの距離における損傷量。

| He ions dose (/cm ²) | Damage (dpa) | | | |
|-------------------------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|
| | 22 nm (2.5keV) | 69 nm (5keV) | 93 nm (6keV) | 133 nm (7.5keV) |
| 2×10^{17} | 8.8×10^{-3} | 1.4×10^{-2} | 1.5×10^{-2} | 1.2×10^{-2} |
| 1×10^{16} | 4.4×10^{-4} | 7.0×10^{-4} | 7.7×10^{-4} | 6.1×10^{-4} |
| 1×10^{15} | 4.4×10^{-5} | 7.0×10^{-5} | 7.7×10^{-5} | 6.1×10^{-5} |
| 1×10^{14} | 4.4×10^{-6} | 7.0×10^{-6} | 7.7×10^{-6} | 6.1×10^{-6} |

(2) 実験結果

KURにおいて、 1×10^{16} He⁺/cm² 照射された鉄を従来型の陽電子消滅寿命測定を行ったが、空孔型欠陥は検出されなかった。従来型の陽電子寿命測定では試料表面から 0.2mm 付近まで陽電子が侵入し、イオン照射では欠陥が表面近傍にのみ形成されるため、ほぼすべての陽電子がマトリックスで消滅したためだと考えられる。

図 2 に陽電子ビーム装置による陽電子寿命測定結果を示す。照射量が増えるにしたがって、平均寿命が長くなった。平均寿命は試料内部に含まれる空孔型欠陥の総量を意味する。二成分解析において得られた 1000ps 以上の第二成分は表面から陽電子が再放出される際に表面でポジトロニウムを形成したためであると考えられる。

1×10^{16} He⁺/cm² 照射では、5 - 7.5keV の陽電子エネルギーで短寿命値として 140 - 160ps の寿命値が得られており、 2×10^{17} He⁺/cm² 照射では平均寿命が 160 - 180ps 程度で、二成分解析ができて長寿命強度がとても低かった。短寿命値が、二成分解析ができない場合は平均寿命が照射によって形成された欠陥の情報を表わしており、その欠陥は大きくても数个程度の原子空孔集合体であり、その内部にはヘリウム原子を含んでいるため、単空孔の寿命値 180ps よりも低い寿命値が得られたと考えられる。また、これらの寿命値の強度がとても高いことから、欠陥濃度が非常に高いことが分かった。これはヘリウムが欠陥を強くトラップし、欠陥がシンクに逃げて消滅するのを防ぎ、マトリックス中に高濃度の欠陥 - ヘリウム複合体を形成したためである。また、 1×10^{15} 、 1×10^{16} He⁺/cm² 照射、陽電子エネルギー 2.5keV で得られた 597ps と 282ps という寿命値は表面の酸化膜の影響を受けたためだと考えられる。照射量の増加とともに、照射前に形成されていた酸化膜が照射によって破壊され、長寿命値が減少し、 2×10^{17} He⁺/cm² 照射では長寿命値が消失した。

4. まとめ

ヘリウムイオン照射された鉄に対して従来型と陽電子ビームの陽電子消滅寿命測定を行った。イオン照射のように表面近傍に欠陥が形成される場合には陽電子ビームがとても有効であった。ヘリウムイオン照射では高濃度の欠陥 - ヘリウム複合体が形成されていることが分かった。今後は、800K、1000K、1300K、1550K 焼鈍後にも陽電子ビーム測定を行い、欠陥 - ヘリウム複合体の成長過程を調べる予定である。本研究と現在まで行われているシ

シミュレーション結果[4]を合わせて考察することで、欠陥とヘリウム原子の相互作用を解明できることが期待される。

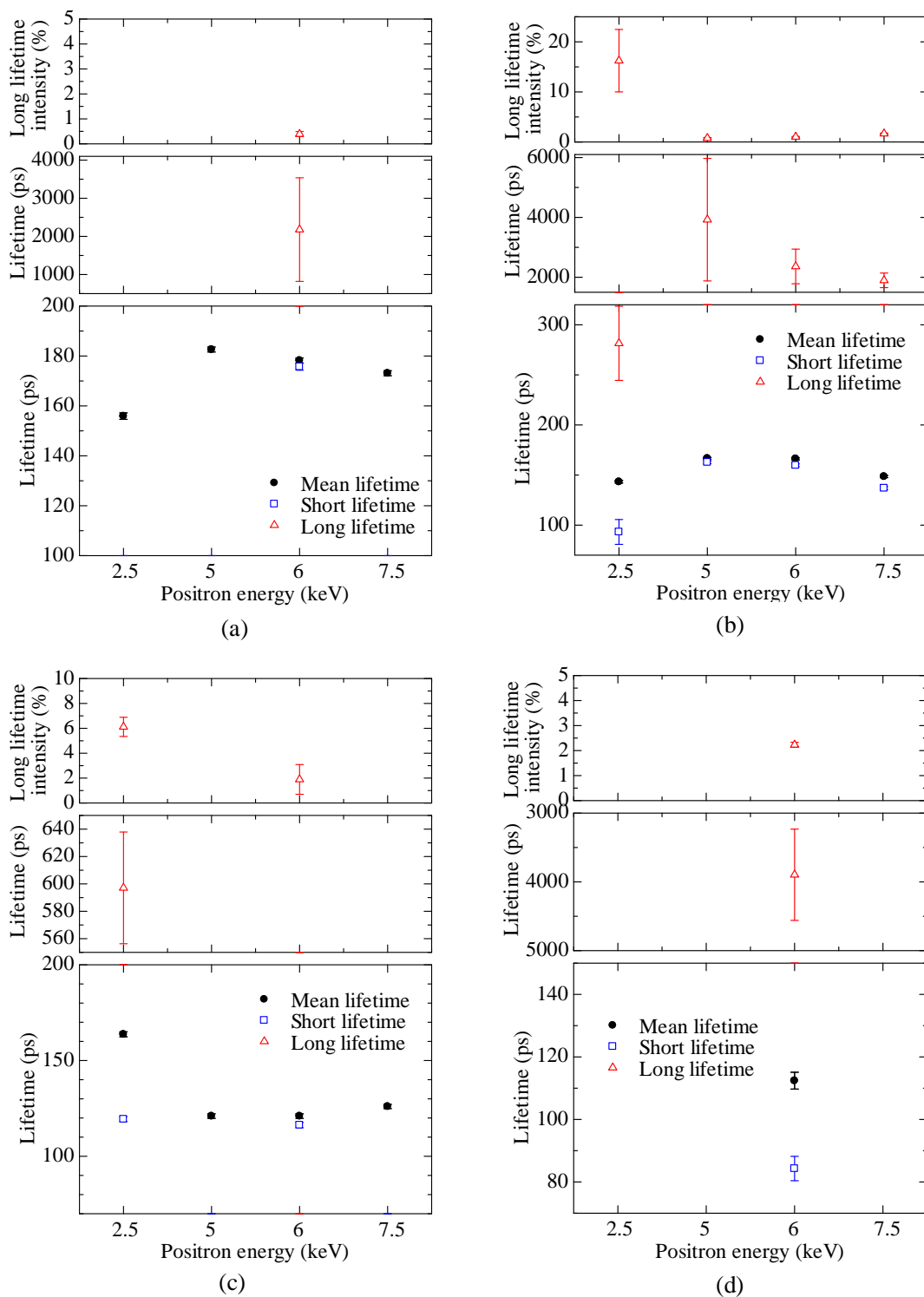


図2. 陽電子ビーム装置による陽電子消滅寿命測定結果。He⁺照射量: (a) $2 \times 10^{17} \text{ He}^+/\text{cm}^2$ 、(b) $1 \times 10^{16} \text{ He}^+/\text{cm}^2$ 、(c) $1 \times 10^{15} \text{ He}^+/\text{cm}^2$ 、(d) $1 \times 10^{14} \text{ He}^+/\text{cm}^2$ 。

謝辞

本研究は平成 20 年度にスウェーデン、ヨーテボリのチャルマーシュ工科大学において行いました。京都大学教育研究振興財団の助成金を受けたことで行うことができました。日本では得ることができない貴重な経験をすることができました。京都大学教育研究振興財団に改めて御礼申し上げます。

参考文献

- [1] H. Iwakiri et al., J. Nucl. Mater. 258-263 (1998) 873.
- [2] V.Kh. Alimov et al., J. Nucl. Mater.337-339 (2005) 619.
- [3] J.P.Biersack and L.G. Haggmark, Nucl. Instrum. Meth. 174 (1980) 257.
- [4] R. Sugano et al., J. Nucl. Mater. 307-311 (2002) 941.