



Title	Radiation Effects of Ni Binary Alloys under Gas Ion Irradiation
Author(s)	若井, 栄一
Citation	大阪大学, 1993, 博士論文
Version Type	
URL	<a href="https://hdl.handle.net/11094/38241">https://hdl.handle.net/11094/38241</a>
rights	
Note	著者からインターネット公開の許諾が得られていないため、論文の要旨のみを公開しています。全文のご利用をご希望の場合は、 <a href="https://www.library.osaka-u.ac.jp/thesis/#closed">https://www.library.osaka-u.ac.jp/thesis/#closed</a> 大阪大学の博士論文について <a href="https://www.library.osaka-u.ac.jp/thesis/#closed">https://www.library.osaka-u.ac.jp/thesis/#closed</a> をご参照ください。

*The University of Osaka Institutional Knowledge Archive : OUKA*

<https://ir.library.osaka-u.ac.jp/>

The University of Osaka

氏名	若井 栄一
博士の専攻分野の名称	博士(工学)
学位記番号	第10777号
学位授与年月日	平成5年3月25日
学位授与の要件	学位規則第4条第1項該当 基礎工学研究科物理系専攻
学位論文名	Radiation Effects of Ni Binary Alloys under Gas Ion Irradiation (ガスイオン照射下におけるNi二元合金の照射効果)
論文審査委員	(主査) 教授 西田 良男 (副査) 教授 菅 滋正 教授 山中 高光 助教授 大嶋隆一郎 助教授 那須 三郎

### 論文内容の要旨

本論文はガスイオン照射下における照射誘起偏析及びスウェリングについて、溶質原子の体積サイズ因子及び入射粒子がそれらに及ぼす効果を明らかにしたものである。用いた試料は、Si, Co, Cu, Mn, Pd, Nb及びAuを含むNi二元合金固溶体である。これらの溶質原子は様々な体積サイズを持ち、広い温度範囲に於いて固溶体を形成する系である。透過型電子顕微鏡で試料を観察できるように、電解研磨法により楔型薄膜試料とした。照射粒子として、核融合炉で問題となるHe<sup>+</sup>イオンとD<sup>+</sup>イオンを選び、それぞれ加速電圧25, 20 kVで照射を行った。照射温度は室温から773Kまでである。イオン照射とは別に、より単純な点欠陥を形成し、且つ固体内に入射粒子の影響を残さないと考えられる電子線照射を行い、イオン照射の結果と比較した。電子線の加速電圧は2 MVであり、超高圧電子顕微鏡(HVEM)により行った。また、溶質原子と点欠陥間の結合エネルギーはHVEM法により求めた。照射後、照射誘起偏析はエネルギー分散型X線分光法によって測定を行い、二次欠陥の観察は200kVの電子顕微鏡で行った。

#### 1. 照射誘起偏析

電子線照射による合金の照射誘起偏析はサイズ効果のみでは評価することが出来ないことが分かり、溶質原子と格子間原子、溶質原子と原子空孔間の結合エネルギーにより評価できる事を明らかにした。

He<sup>+</sup>イオン照射下において、アンダーサイズのSi原子の濃度は粒界で増加する。また、オーバーサイズのCu, Mn, Pd, Nb原子の濃度は粒界でほとんど減少しない。一方、電子線照射下では、アンダーサイズのSi原子の濃度は粒界で増加するものの、その増加量はHe<sup>+</sup>イオン照射の方が大きい。また、オーバーサイズのCu, Mn, Pd, Nb原子の濃度は粒界で減少し、この減少量はHe<sup>+</sup>イオン照射に比べて大きく、入射粒子依存性がある事が判明した。これらのHe<sup>+</sup>イオン照射の結果は、He原子と原子空孔間の強い引力相互作用を考慮した反応速度論の計算結果から、He<sup>+</sup>イオン照射下では、アンダーサイズSi原子の偏析量の増加は格子間He原子によって起こり、オーバーサイズ溶質原子の逆偏析は拡散に関する自由な原子空孔濃度の減少により解釈できた。

D<sup>+</sup>イオン照射においても、入射粒子依存性を持ち、これはD原子と原子空孔間の弱い相互作用及び溶質原子の体積サイズによって説明される。

#### 2. スウェリング

高温の773Kでの電子線照射及びHe<sup>+</sup>イオン照射によるスウェリングは溶媒原子と溶質原子の体積サイズの差が大きくなるに従って増加する。電子線のスウェリングの原因は主に、格子間原子と溶質原子間の相互作用の強さにある。

この強さに依存して形成された高密度の転位へ、格子間原子の優先的な吸収が起こり、そのために地の領域での原子空孔濃度が増加しスウェリングが生じる事が分かった。一方、 $\text{He}^+$  イオン照射下でのスウェリングは転位の形成が原因ではなく、溶質原子が関与する He バブルの核形成に関係する事が判明した。このように合金における He バブル形成促進の原因は、He 原子と溶質原子間の相互作用にある。

ブリスターの形成機構に対する Ni 合金の本研究の結果は応力模型でなく、ガス圧模型を支持する。

### 論文審査の結果の要旨

本論文は、将来の核融合炉の炉壁材料開発において最重要課題である合金の照射誘起偏析現象とスウェリング（照射により体積膨張や表面隆起さらに剥離の起こる現象）に関する基礎的データの集積の一環として、これらの現象に対する照射粒子依存性と溶質原子依存性を明らかにしたものである。試料としては、Ni を母体として用い、いろいろの原子半径を持つ溶質原子 Si, Co, Cu, Mn, Pd, Nb および Au を添加して、2 元系固溶体合金を作成した。これらの材料に対して、核融合反応における反応物質または生成物質である  $\text{He}^+$  イオンおよび  $\text{D}^+$  イオンをさまざまな条件下で照射を行った。形成される二次欠陥の同定と偏析現象に伴う結晶粒界での溶質原子濃度変化を、透過型電子顕微鏡と分析型電子顕微鏡によって系統的に調べた。さらに単純な欠陥形成しか起こらずガスイオンの効果が除外できる場合と比較するため、超高压電子顕微鏡による電子線照射で導入された欠陥の振る舞いと比較検討した。

その結果、照射誘起偏析現象には、溶質原子のサイズ効果以外に顕著な照射粒子依存性が存在することが実験的に明らかにされた。この現象を、溶質原子と導入された点欠陥（原子空孔、格子間原子）との結合エネルギーおよびガスイオンとそれらとの相互作用を考慮した反応速度論による解析を行って明解に解釈した。さらに照射誘起偏析の程度を溶質原子と格子間原子、原子空孔との結合エネルギーの大きさから評価出来る事を指摘し、照射誘起偏析現象を抑制するための条件を提案した。一方、ガスイオンの炉壁材中への集積によって生ずる炉壁材の体積膨張であるスウェリングにおいても溶質原子のサイズ効果以外に照射粒子に依存して現象が異なることを明らかにして、その理由を点欠陥と溶質原子、ガスイオンとの相互作用から説明した。

本研究で得られた結果はこれまで単純なサイズ効果で整理されてきた照射誘起偏析現象に関して、そのみでは説明出来ない事を初めて実験的に指摘し、溶質原子と格子間原子及び原子空孔との結合エネルギーを評価することによって統一的に理解できる事を明確に示した。またスウェリングの発生機構に関しても新しい知見を得た。

本研究の成果は核融合炉壁材料の開発のために非常に重要な指針を示し、この分野の発展に寄与するところ極めて大である。よって本論文は博士論文として価値あるものと認める。