

学 位 論 文 題 名

オーステナイトステンレス鋼における
イオン照射誘起相変態の研究

学位論文内容の要旨

材料開発におけるイオンビームの利用は従来、主に半導体工学における不純物元素の導入（ドーピング）、すなわちイオン注入を目的として行われてきた。しかしながら、近年、照射によるイオン注入の目的のみならず、注入に伴う10秒程度の時間間隔での衝突過程における局所的な原子励起等利用した非平衡相創製を含む新材料の開発への研究が盛んに行われている。イオンビーム法の有する利点を多面的に活用するためには、材料表層へのイオンビームの照射過程で出現する諸現象の解明およびイオン照射効果に対する評価法の確立が強く望まれている。

本論文では、ステンレス鋼の高機能化および高性能化の一環として、特に材料表層の改質を図る目的から、各種イオン照射により材料表面に元素を注入し、イオン注入に伴う材料表層における変化を評価する方法の開発を図ると共に鋼表層においてイオン照射によって誘起される相変態挙動およびその機構ならびにイオン照射効果の評価法に関し研究した。

本論文は全6章から構成されている。

第1章は序論であり、イオンビーム利用技術および表層評価方法等、本研究の背景について述べ、さらにステンレス鋼におけるマルテンサイト変態および従来の研究に於て新たに見出したイオン誘起マルテンサイト変態の発生機構の解明に関する現状と研究の目的を述べた。

第2章では、イオンビームを利用した表層改質試料の作製、材料表層特性測定手段の適正な選択および測定データの解析方法等について言及した。本研究では測定手段として、特に薄膜X線回折（GXR）および内部転換電子メスバウア散乱法（CEMS）について比較検討し、各方法の利点について測定結果に基づき議論した。また、ラザフォード後方散乱法（RBS）チャンネルリングおよびお粒子励起X線分析法（PIXE）のそれぞれの特徴についても述べた。

第3章では、鋼への金属イオン注入により誘起される相変態の出現は、注入元素による組成変化に伴う合金化効果と照射過程で導入される欠陥の蓄積による内部ひずみ効果により生じること

を明らかにした。17/7 鋼への Fe, Fe および Ni イオンなどの金属イオン照射により, 鋼表層にマルテンサイト相が誘起発生すること, またイオン注入された Fe メスバウアプローブ核による CEMS 観察から, イオン照射量の増加に伴いマルテンサイト変態率が急激に変化することを観測し, イオン誘起相変態が注入 Fe 原子濃度の増加, すなわち鋼組成におけるマルテンサイト安定化元素である Fe 原子濃度の増加に伴う合金化効果に起因して相変態が誘起されることを示した。これに対し, オーステナイト安定化元素である Ni イオン照射注入の場合, 合金化効果が起こらないイオン注入量組成域で Fe イオン注入した場合にもイオン誘起相変態が出現することから, Ni イオン照射注入においては注入 Ni による合金化効果による変態抑制効果よりも Ni イオン注入過程で導入されるひずみ効果に大きく依存して相変態が誘起されると結論した。

第4章では, イオン注入により組成変化を伴わない希ガスを用いたイオン照射における各種オーステナイト系ステンレス鋼のイオン誘起相変態に関し論じ, 注入された希ガス原子からなる高圧力状態微粒子がもたらすひずみ効果により相変態が引き起こされることを明らかにした。希ガスイオンの場合容易に大強度のイオンビームが得られることから, イオンビーム利用技術上重要なイオンのひとつであり, 各種材料開発への適用を目的に, 17/7 鋼304鋼および310鋼について Ar, Kr および Xe イオン照射を行い, イオンエネルギーおよびイオン照射量の増加に伴うマルテンサイト変態量の変化過程を観察解析し, さらに深さ依存内部転換電子メスバウア散乱法 (DCEMS) により, 鋼表層でのイオン誘起マルテンサイト相の深さ分布を求め, 同時にイオンエネルギーおよびイオン照射量の変化に対するマルテンサイト変態相の挙動から, イオン誘起マルテンサイト相は希ガスイオン注入により鋼表面から鋼内部へと発達することを明確にした。また, GXR D 測定から, 鋼表層に注入した希ガス原子に凝集し, 高圧力状態の希ガス微粒子を形成することを観測し, さらに希ガス微粒子の内圧と粒径は注入希ガスイオンのエネルギーと照射量に依存することを確認し, これらイオン誘起マルテンサイト相の変態量が希ガス微粒子の内圧および粒径のイオンエネルギーに依存性することから, 高圧力状態で存在する希ガス微粒子の形成によって, 相変態が誘起されることを実験的に初めて証明した。

第5章では, 軽イオンである He, 水素および重水素イオンによるステンレス鋼へのイオン照射注入と共に, 304鋼への窒素イオン照射注入を遂行しその結果を論じた。He, 水素および重水素ガスイオン照射注入の場合について, 希ガス重イオン照射の場合との相違を比較検討すると同時に, 第4章における希ガスイオン照射の成果を補足することを目的とした。窒素は鋼構成原子の中でオーステナイト安定化元素として重要な役割を有しており, さらに希ガスイオン同様, 窒素イオンも大強度のイオンビームが容易に得られる等イオンビーム利用技術上重要なイオンであ

り、希ガスイオン同様のイオン照射注入研究を遂行した。その結果、He、水素および重水素イオン照射による誘起相変態の場合には、注入ガス原子の凝集力の違いがイオン誘起相変態を発生させるに必要なイオン照射量の違いに反映し、誘起マルテンサイト相の発生に He ガスバブルの形成が効果的であることが明確となったのに対し、窒素イオン照射では、イオン照射量の増加に伴う鋼表層での窒化物の形成を確認できたが、イオン誘起マルテンサイト相の発生を認めなかった。これらの結果から、窒素イオン照射の場合、鋼組成としての窒素濃度の増加がオーステナイト相の安定化に寄与し、誘起相変態が抑制されたと結論した。

第6章は本論文の結論であり、各章で述べた研究成果を総括すると共に、複合材料作製あるいは磁気記録法等のイオンビーム利用技術としてのイオン誘起相変態の応用法を提案した。

学位論文審査の要旨

主 査	教 授	高 橋 平七郎
副 査	教 授	石 川 達 雄
副 査	教 授	丸 川 健三郎
副 査	教 授	山 科 俊 郎

本研究は、イオン照射注入法によるオーステナイト系ステンレス鋼のマルテンサイト変態挙動の解明およびイオンビーム応用技術の確立を目的とし、 $^{56}\text{Fe}^+$ 、 $^{57}\text{Fe}^+$ 、 Ni^+ イオンの各金属イオンおよび Ar^+ 、 Kr^+ 、 Xe^+ の希ガス元素のイオン照射により鋼表層に形成する相変態過程を非破壊的に解析評価し、変態に及ぼす注入イオンの効果を明らかにしたものである。

まず、内部転換電子メスバウア散乱法により、表層において誘起されるマルテンサイト相の変態率、深さ分布および格子定数の測定が定量的に可能であることを実証した。

次に、 Fe^+ および Ni^+ イオン照射注入実験の解析から、誘起相変態量と注入元素量との間には一定のしきい値が存在することを見い出し、さらに鋼の表層では、注入 Fe 元素による合金化効果並びに Fe^+ および Ni^+ イオン照射過程で導入される内部ひずみ効果によって変態が誘起されることを明らかにした。

最後に、希ガスイオン照射の変態に及ぼす効果を明らかにする目的から、 Ar^+ 、 Kr^+ 、 Xe^+ イオン照射過程における相変態過程を検討し、注入希ガス原子が高圧力下で凝集し、微粒子を形成、

その過程で導入されるひずみ効果によって相変態が誘起されると結論した。

以上のように、本論文はオーステナイト系ステンレス鋼の誘起変態に関する注入イオン種イオンの効果を系統的に研究し、変態が注入イオンの合金化と損傷に伴う内部ひずみ効果により誘起されることを明らかにすると共に、各種材料の表層改質ならびにイオンビーム技術の応用に関する多くの知見を明確にしたものである。

これを要するに、著者は、材料工学並びにイオンビーム注入技術応用に貢献するところ大なるものがある。

よって著者は、博士（工学）の学位を授与される資格あるものと認める。