The University of Osaka
Institutional Knowledge Archive

Title	The Study on the Formation of Irradiation Induced Secondary Defects in Silicon
Author(s)	華, 国春
Citation	大阪大学, 1990, 博士論文
Version Type	
URL	https://hdl.handle.net/11094/37046
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、大阪大学の博士論文についてをご参照ください。

The University of Osaka Institutional Knowledge Archive : OUKA

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

The University of Osaka

【61】

氏名・(本籍)	華(か)　国(こく)　春(しゅん)
学位の種類	工　学　博　士
学位記番号	第　9209　号
学位授与の日付	平成2年3月24日
学位授与の要件	基礎工学研究科物理系専攻 学位規則第5条第1項該当
学位論文題目	The Study on the Formation of Irradiation Induced Secondary Defects in Silicon (シリコンの照射誘起二次欠陥の形成に関する研究)
論文審査委員	(主査) 教授 西田 良男 (副査) 教授 冷水 佐壽　教授 遠藤 将一　助教授 大嶋隆一郎

論文内容の要旨

本研究は3MV超高圧電子顕微鏡を用いて，シリコンの照射誘起二次欠陥の形成過程についてその場観察を行い，不純物酸素の核形成に及ぼす効果を明かにしたものである。更に透過型電子顕微鏡を用いて，欠陥の特徴を詳細に観測した。不純物として酸素原子濃度の高いCz－Si及びそれの低いFz－Si単結晶を用い，加速電圧2MV，室温から400℃までの温度領域で電子線を照射し，欠陥を導入した。また，14MeVのD－T中性子により照射されたシリコン中に形成された格子欠陥の電子顕微鏡観察を行い，中性子によるシリコンの照射効果を調べ，電子線照射の場合と比較した。

1. 超高圧電子顕微鏡による電子線照射

Cz－Siを200℃以上で照射すると照射誘起二次欠陥である格子間原子型転位ループが直ちに試料の内部に形成されることを見いだした。一方，Fz－Siの場合では転位ループは約数分間の潜伏期間をもって試料の電子線入射側表面付近に局在して形成される。両者の違いはCz－Si中に過飽和に含まれる酸素原子が転位ループの核形成に関与するためと考えられる。酸素原子が如何なる状態で転位ループの核形成に関与するのかを明かにするために，Cz－Siを300－900℃及び1300℃で熱処理し，その後電子線照射を行った。熱処理による格子間位置酸素原子濃度の変化は赤外吸収法を用いて測定した。その結果，450－800℃での数時間程度の熱処理では格子間位置の固溶酸素原子の濃度は殆ど変化しないのに対して，転位ループの核形成は著しく促進されることが分かった。また1300℃，20時間の焼鈍では転位ループの核形成は逆に抑制された。これらの結果より転位ループの核形成位置は微小な酸素原子の析出物あるいは集合体であることを明かにした。

一方，200℃以下での照射では，数10nmの小さな欠陥が形成された。従来これらの欠陥は原子

空孔型の欠陥であると報告されていたが，本研究では$2\frac{1}{2}$D法等の直接的な手法によりこれらも格子間原子型の転位ループであることを明かにした。

さらに，強照射下では，照射の始めに形成された転位ループが照射の継続により，収縮，消滅するという他の物質では観察されない現象を見つけた。その理由は強照射下では原子空孔が結合し複空孔などの空孔集合体が形成され，試料内部の格子間原子濃度が減少するためと解釈した。このことをコンピューターシミュレーションによって確かめた。その結果，照射時の転位ループのサイズ変化は必ずしも実測のそれと定量的に対応しなかった。これは照射中には更に複雑な点欠陥の相互作用が存在することを示唆しており，今後の問題として残された。

2. １４MeV Ｄ－Ｔ中性子によるシリコンの照射効果

米国のLawrence Livermore 研究所の中性子源ＲＴＮＳ－Ⅱ及び大阪大学工学部のオクタビアンを利用して照射されたCz－Si とFz－Si を透過電子顕微鏡で観察し形成された欠陥の解析を行った。

室温での照射の場合では小さな欠陥がCz－Si とFz－Si に形成された。$2\frac{1}{2}$D法によりそれらは空孔型の欠陥だと分かった。照射温度が３００℃以上で照射量が10^{18}n／cm^2 程度の場合には，Cz－Si 中には点状の酸素析出物及び棒状の転位ループが観察された。これは照射により形成された格子間原子や原子空孔により，酸素原子の移動が促進されるためであると結論した。

論文の審査結果の要旨

本論文は大阪大学の３MV超高電圧電子顕微鏡を用いてその場観察法によりシリコンの照射誘起二次欠陥の形成過程を調べ，不純物酸素の核形成に及ぼす効果を明らかにしたものである。また通常型透過電子顕微鏡によってそれら形成された二次欠陥の特徴を詳細に観察，解析を行った。更に核融合炉で問題となるＤ－Ｔ中性子照射を行った試料の格子欠陥に関しても電子顕微鏡観察を行い，電子線照射誘起二次欠陥との比較検討を行った。

まず，不純物酸素濃度の高いCz－Si 及びそれの低いFz－Si 単結晶について加速電圧２MVで，室温から４００℃までの温度領域で電子線を照射し二次欠陥の核形成，成長の過程を詳細に追跡した。Fz－Si においては二次欠陥（格子間原子型転位ループ）は常に数分程度の潜伏時間を経て電子線入射側表面近傍に核形成されるのに対して，Cz－Siを２００℃以上の温度域で照射した場合には転位ループは照射開始後直ちに試料内部に形成されることを明らかにした。Fz－Si 及びCz－Si の転位ループ形成の挙動の違いはCz－Si 中の過飽和酸素原子に起因すると考えられたので，酸素原子が如何なる状態で転位ループの核形成に関与するかを調べるために種々の熱処理を施したCz－Si について系統的な実験を行った。その結果，単独に固溶している格子間酸素は核形成には開係せず，微小な酸素集合体あるいは酸素析出物が転位ループの核形成に与ることを明らかにした。強照射下では照射開始時に形成された転位ループが照射の継続により，収縮，消滅するという特異な現象を見い出した。その理由は強照射下では空孔同

志の合体により移動度の著しく低い空孔集合体の濃度が上がり，試料内部の格子間原子濃度が減少するためであると解釈した。この事を確認するために計算機シミュレーションにより複空孔までの反応を取り入れた反応速度論的解析を行ったが，実験結果を完全に説明するためにはより大きな空孔集合体まで考慮する必要のあることが分かった。また，従来状況証拠のみから空孔型欠陥であると報告されてきた２００℃以下の温度で形成される二次欠陥について，系統的な実験によりこれらも格子間型転位ループであることを直接証明した。Ｄ－Ｔ中性子照射においては３００℃以上で酸素析出が著しく促進される事が確認された。これは電子線照射の場合とは異なって，カスケード損傷により形成された欠陥により酸素原子の移動が促進されるためと結論された。

本研究で得られた結果はこれまで多くの異なった解釈がなされていたＳｉ における照射誘起二次欠陥の核形成の問題に対して初めて明解な結論を下したものである。Ｓｉ の格子欠陥の挙動の解明は半導体デバイスの開発においても極めて重要であり，本研究はこの分野の研究の発展に寄与するところ大である。よって本論文は博士論文として価値あるものと認められる。