The University of Osaka
Institutional Knowledge Archive

Title	シリコンへの荷電粒子注入と格子欠陥に関する基礎的研究
Author(s)	堀江, 和夫
Citation	大阪大学, 1983, 博士論文
Version Type	
URL	https://hdl.handle.net/11094/33808
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

【31】

氏名・（本籍）	堀　江　和　夫（ほり　え　かず　お）
学位の種類	工　学　博　士
学位記番号	第　6165　号
学位授与の日付	昭和58年8月3日
学位授与の要件	学位規則第5条第2項該当
学位論文題目	**シリコンへの荷電粒子注入と格子欠陥に関する基礎的研究**
論文審査委員	（主査） 教授　犬石　嘉雄 教授　木下　仁志　教授　山中千代衛　教授　藤井　克彦 教授　鈴木　胖　教授　横山　昌弘　教授　中井　貞雄 教授　黒田　英三　教授　小山　次郎　教授　中井　順吉 教授　藤田　広志

論文内容の要旨

本論文では，イオン注入法の工業的応用を目的とし，比較的簡単な放射線損傷を生成する軽荷電粒子を用いてN型シリコン中に生成される格子欠陥の種類とその焼鈍特性について調べ，半導体工業で最もよく用いられるイオン注入元素としてB，P，Asを用いた時の各種特性を調べている。

第1章では半導体の放射線損傷およびイオン注入技術に関する研究の歴史と現状を分析し，論文の目的と意義を明らかにしている。

第2章ではシリコン単結晶に電子線（含むγ線）等の軽荷電粒子を照射したとき生成される欠陥の生成消滅機構をP－N接合の照射前後のライフタイムの測定から調べている。

欠陥の導入率，エネルギー準位および焼鈍の活性化エネルギー等についての測定から，Pを含むN型FZ－Si基板を用いたサイリスタのN_B層にはE－中心ではなくA－中心が主に出来ることを明らかにし，サイリスタのターンオフ時間の制御に応用している。

第3章ではP型ドーパントとしてB^+，N型ドーパントとしてP^+および浅い接合形成の可能なAs^+について，高濃度イオン注入時の不純物分布，キャリア分布および格子欠陥分布とその焼鈍効果について検討している。

B^+の注入の場合，Bの分布は^{11}B（P・α）^8Be核反応で放出されるα粒子を測定して求め，Bの格子位置は核反応とチャネリング解析から求めている。格子欠陥分布は1.5 MeV He^+の後方散乱法を用いて側定し，キャリア分布はstep etchとHall係数，およびシート抵抗の測定により求めている。その結果，Bの分布はガウス分布からずれ非対称であり表面側にtailをもち，B原子は900℃までSi中をほとんど動かず，1,000℃で解離し拡散することが判っている。格子欠陥については，一次欠陥は

ガウス分布と異なり非対称で，900℃での焼鈍後の二次欠陥はガウス分布に近く，1000℃での焼鈍後も残留欠陥が存在することが判っている。キャリア分布のピーク位置は800℃焼鈍後，原子分布の平均投影飛程（Rp）と一致している。

P^+ の注入の場合，P の分布は放射化分析法 ^{31}P （n，γ）$^{32}P \rightarrow \beta^{32}S$ により求め，格子欠陥分布は He^+ の後方散乱法で，キャリア分布はB の場合と同じ方法で求めている。P の分布はガウス分布で表され，基板側の低濃度領域でtail がみられ800℃でtail 側が異常拡散することが判っている。格子欠陥は表面付近に非晶質層が出来，400～600℃で基板側から徐々に回復し700℃以上で急速に回復するが，900℃でも残留欠陥が存在することが判っている。キャリアは600℃，800℃夫々の焼鈍でほぼ電子分布と一致し，900℃でほぼ100％活性化している。

As^+ の注入の場合，As の分布はガウス分布で近似出来，B^+ でみられたような分布の傾き（マイナスのskewness）や P^+ でみられた分布のtail は見られない。格子欠陥に関しては，表面に非晶質層が出来，950℃，5分で急激に減少し，As 原子の90％以上が置換位置を占めることが明らかにされている。キャリア分布は焼鈍後ステップ状になり，原子濃度が固溶度 $1.7 \times 10^{21}cm^{-3}$ 程度に高くなってもキャリア濃度は $3 \times 10^{20}cm^{-3}$ 以上にならないことが判っている。

第4章では予め基板上に多結晶シリコンを形成し原子分布より約15％浅い位置に出来る格子欠陥をシリコン基板に到達させないような低エネルギーで多結晶シリコン中にイオンを注入し，基板中に不純物を拡散させる方法（IDOPOS）を開発し，B^+ 注入を低雑音トランジスタに応用している。熱拡散法でベースを形成したトランジスタと比較すると，低電流での h_{FE} の落ち込みが小さく，雑音特性においてすぐれた特性を示すことが判っている。またIDOPOS を As^+ 注入に適用し高周波トランジスタに応用しリーク電流，逆方向耐圧に対し，すぐれた特性を得ている。次に As^+，B^+ イオンを多結晶シリコン中に注入し，同時拡散により高出力マイクロ波トランジスタの試作をし，トランジスタの各接合は逆方向リーク電流が極めて小さくハードなブレークダウンを示している。これらの結果からIDOPOS 法はイオン注入の特長と固相拡散の特長を生かし，工業的応用上全く問題のないことを明らかにしている。

第5章では，第2章から第4章までの研究結果を総括して結論としている。

論文の審査結果の要旨

近年シリコン単結晶を用いる半導体素子製造技術が飛躍的に進歩し，超大規模集積回路（ＶＬＳＩ）が生まれエレクトロニクス・情報機器の分野に質的な変化が起っている。中でも不純物ドーピングの手段としてのイオン注入技術は初期に現れた幾多の技術的困難を乗り越えてＶＬＳＩ製造技術の重要部分を占めるに至っている。本研究はイオン注入技術の半導体への応用に初期から携わった提出者の研究成果を述べたもので，注入に伴う格子欠陥，注入不純物分布とその制御，新しい注入技術の問題などを取り上げている。

その結果，多くの新知見を得ているが，例えば

(i) イオン注入による欠陥の発生，焼鈍を解明するためにγ線，電子線によるシリコンP－N接合の放射線損傷の研究をキャリア・ライフタイムとホール効果を用いて行い，主としてA中心がライフタイムの損傷に寄与していることを明らかにし，これを利用して実用サイリスタのターン・オフ時間を低減することに成功している。

(ii) シリコンへの高濃度イオン注入を硼素，リン，砒素について調べ注入不純物及びキャリア密度の分布や導入欠陥をラザフォード後方散乱（ＲＢＳ）とチャンネリング，放射化分析，ホール効果などの測定から調べ，理論と比較すると共に，理論からのずれ，クラスター形成や，格子間位置対置換位置の分布比などが，不純物によって異なることを明らかにしている。

(iii) シリコン結晶表面に多結晶シリコン膜を形成し，まずこれにイオン注入し，あとで熱拡散で不純物を結晶内に導入することによって欠陥の影響のない制御性のよい注入技術（IDOPOS）を新しく開発し，これを利用して低雑音トランジスタの試作に成功している。

以上述べたように本論文は半導体デバイス工学の上で重要な多くの新知見と指針を与え，電気材料工学に寄与する所が大きい。よって本論文は博士論文として価値あるものと認める。