7-2　熱間プロトン照射による　シリコン中ドナー中心の形成

東芝　半導体開発技術部*　小中雅水*, 阿部敏雄*, 西　義雄*
総研　電子部品研究所**　大坪　宏*, 大村八通**, 金沢　守**

I 序言

シリコン単結晶に種々の粒子線を照射した場合に多くの種類の点状の放射線損傷が発生することは良く知られている。しかしこれらはいづれも高温（＜500℃）処理で簡単に消滅してしまい[1]，半導体デバイス作製に利用出来そうなものは皆無に近かった。我々は最近シリコン単結晶を加熱しつつ，プロトン照射を行うことにより，全く新しい種類の放射線損傷を形成出来ることを見出した。この損傷は浅い不純物準位をもつドナー中心[2]であり，高温処理にも極めて安定である。[2][3] 本報告ではこのドナー中心の成因，形成機構について検討した結果を述べ，更に素子製作への応用の可能性についても述べる。

II 実験結果及び考察

用いた実験装置は文献(1)に示したものと同じものである。Fig. 1はN型Si結晶にプロトンを照射した場合の異常ドナー分布をCopeland法を用いて実測した1例である。図中にドナー濃度の極大および極小を示す位置をそれぞれO，×印で示した。またプロトン打込み電圧を変えた場合のO，Xの依存性をFig. 2に示す。この異常ドナーはdry O_2 gas中，1100 ℃で長時間加熱しても消失せず，かなり安定な放射線損傷である。[1][2] またCapacitance bridge法とCopeland法によるドナー濃度分布の測定結果が一致したことからこのドナー準位はかなり浅い準位のものであると予測された。[2] そしてプロトン照射時の試料温度を～650 ℃に下げると上述のような異常ドナーは発生しないことが判った。[3] 以上の様なドナー増加の原因を究明するために，我々は種々の試料についてプロトン照射を行った。その結果をTable-1に示す。この表よりドナーの増加は炭素原子を含有することに起因しているものと考えられる。次にドナー形成の機構を検討するため次の実験を行った。Fig. 3はドナー増加量のプロトンビーム電流依存性を示す。Fig. 4はドナー増加量のプロトン照射時間依存性を示す。この図からかなり短い照射時間においてそのドナーが発生することがわ

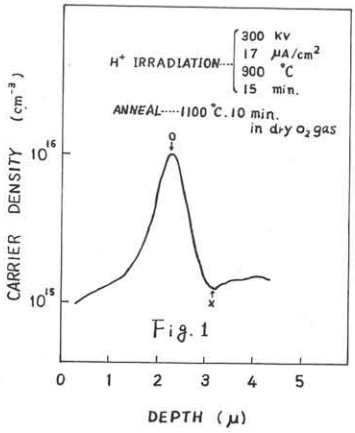


Fig. 1

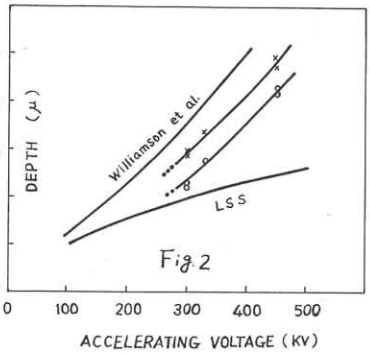


Fig. 2

試　料	ドナー増加
CZ si wafer	アリ
FZ 〃	ナシ
Lopex 〃	ナシ
O_2 dope 〃	ナシ
$(C+O_2)$ dope 〃	アリ

Table-1

かる。このことは素子へ応用する場合かなり有益な特徴となろう。また、プロトンを長時間照射すると一度発生したドナーが消滅して行くことがわかる。これらの実験事実およびこのドナーが高温で安定なこと[2][3]はこのドナ中心が適当な複雑さをもつ構造で炭素原子が含有される放射線損傷の一種（例えば $C_n V_m$，ここでVは空孔）であることを示すものと考える。より詳細なドナー形成機構およびドナーの構造についての検討は現在行いつつある。

Ⅲ 応用

以上報告した新現象をキャリア濃度制御技術の1つとして見たときは次のような特徴をあげることが出来る。

(a) 低濃度領域の形成，　(b) イオン注入よりは深い領域の制御可能

(c) 分布に任意性がある，　(d) REDよりは短時間で処理可能

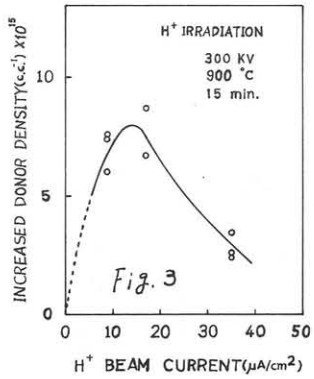
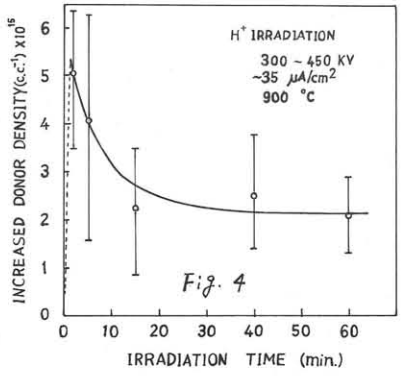
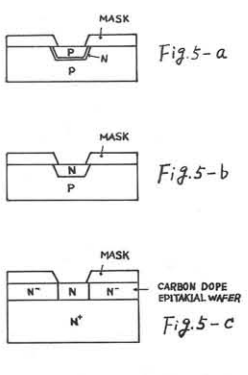
これらの特徴を生かしたシリコンデバイス製作への応用は極めて広いと考えられるがその2～3について述べる。(1)予め炭素原子を添加したP型Si結晶を単一の加速電圧でプロトンを注入しSi結晶中に局部的にドナーを形成させ，P型の分離された領域の形成が可能である。この構造はIC作製に応用されることが考えられるであろう。(Fig.5-a)。(2)同様に加速電圧を変えて照射を行うことによりかなり深い領域にわたり任意のドナー濃度分布をもつN層の形成が可能である。この構造もまたN型の分離された領域の形成に用いることが出来る(Fig.5-b)。(3) Fig.5-cに示すように炭素原子をドープしたN⁻シリコンエピタキシャル層に加速電圧を変えてプロトンを照射することによってN⁻層の気相成長層を局部的にN層に変えることが可能である。この構造はマイクロ波Trの特性改善に有効であろう。

終りに本実験遂行に当り種々御便宜を図って頂いた当社総研谷田，三村，電子事業部加藤(一)，中村，内田官川，高瀬，そして佐藤(幹)の諸氏に深謝致します。

※本研究は新技術開発事業団の委託開発の一部として行われたものである。

参考文献

(1) H. J. Stein ; "Silicon Review" 1970 International Conference on Radiation Effects in Semiconductors, Albany.

(2) 阿部，小中，大坪，大村，金沢 ； 理研シンポジウム 1971

(3) 小中，阿部，西，大坪，大村，金沢 ； 応用物理講演会 1971 春