

## パルスレーザーメルティング法 (PLM) によって 硫黄を過飽和ドーピングした Si 単結晶の pn 接合特性

pn junction properties of Si single crystal hyper-doped with sulfur by pulsed laser melting

甲南大理工<sup>1</sup> ○(M1)川本兼司<sup>1</sup>, 早瀬弘基<sup>1</sup>, 青木珠緒<sup>1</sup>, 梅津郁朗<sup>1</sup>

Dept. of Phys Konan Univ.<sup>1</sup>, °Kenji Kawamoto<sup>1</sup>, Hiroki Hayase<sup>1</sup>, Tamao Aoki<sup>1</sup>

and Ikurou Umezu<sup>1</sup>

E-mail: m1821002@s.konan-u.ac.jp

太陽電池の高効率化を目指して中間バンド型半導体の研究が盛んに行われている。その一つとして半導体に深い準位をもつ不純物を過飽和ドーピングし、深い不純物バンドを形成する方法がある。過飽和ドーピングは過飽和にイオン打込みされた層に対してパルスレーザーメルティング (PLM) 法によって結晶化することで実現する。深い不純物には遷移金属が用いられることが多いが、再結晶化中にセルラーブレイクダウンを起こし、一様なドーピングが難しい。硫黄は深い準位を持ち、かつ遷移金属よりもセルラーブレイクダウンをしにくい特徴がある。これまでに PLM 法で作成した硫黄過飽和ドーピング Si の光吸収や光電気伝導が議論されているが、太陽電池材料として重要である pn 接合特性と PLM 条件の相関関係はほとんど議論されていない。そこで本研究では硫黄過飽和ドーピング Si の pn 接合特性について測定する。

抵抗率  $5\sim 25\Omega\cdot\text{cm}$  (アクセプター濃度  $1\times 10^{15}/\text{cm}^3$ ) の p 型 Si ウェハに硫黄をエネルギー 100keV (イオン打込み層約 200nm) でイオン打ち込みし、その後 PLM 法により結晶化させた。レーザーフルエンスは熔融深さがイオン打込み層よりも若干大きくなる  $1.0\text{J}/\text{cm}^2$  に設定して pn 接合特性のイオン打込みドーズ量依存性を測定したところ、 $1\times 10^{14}/\text{cm}^2$  以上のイオン打込みドーズ量の試料に対して整流性が確認できた。ドーズ量  $1\times 10^{14}/\text{cm}^2$  は不純物濃度に換算すると  $5\times 10^{18}/\text{cm}^3$  となる。この不純物がすべて活性化サイトに入っていると仮定するとキャリア濃度は  $3.1\times 10^{15}/\text{cm}^3$  となる。これは p 型基板のアクセプタ濃度と同程度であり、それ以上の不純物濃度で整流特性を示しているため、硫黄はほぼ活性化サイトに入り n 型を形成したと考えられる。

PLM で結晶化を行うためにはイオン打ち込み非晶質層の厚さを超えて基板結晶層まで熔融する必要がある。低フルエンスで熔融した方が Si の表面状態は良いが、熔融深さが浅くなり、基板結晶層まで熔融できない。そこでイオン打込み層を薄く (約 100nm) するためにエネルギー 45keV、ドーズ量  $6\times 10^{15}/\text{cm}^2$  でイオン打ち込みした試料を用意した。この試料に対してレーザーフルエンスを変化させて PLM を行ったところ、 $0.8\text{J}/\text{cm}^2$  で逆方向飽和電流密度は  $1.8\times 10^{-5}\text{A}/\text{cm}^2$  と最も小さな値となり、再結合電流と基板の直列抵抗成分を考慮すると IV 特性を再現でき最も良好な pn 特性を示した。それ以外のフルエンスでは逆方向飽和電流密度は  $1.0\times 10^{-4}\text{A}/\text{cm}^2$  以上と大きな値を示し、良好な pn 特性は得られなかった。レーザーフルエンス  $0.8\text{J}/\text{cm}^2$  では熔融深さが 150nm であり、イオン打込み深さの 1.5 倍である。SIMS の結果、硫黄は熔融深さまで浸透しており、硫黄濃度は  $4\times 10^{20}/\text{cm}^3$  となる。同じ硫黄濃度のイオン打ち込み深さが約 200nm の試料では良好な pn 特性が得られていないため、良好な pn 特性を得るためには硫黄濃度だけでなく最適な熔融深さ、温度、熔融時間等が存在するものと考えられる。