

炭化ケイ素を用いたセンサー開発と評価

電子制御工学科 石川一平

1. はじめに

近年、太陽フレアに伴う放射線が人工衛星に搭載されている半導体デバイスの劣化や誤動作を引き起こす問題が心配されている。既存の半導体デバイスに利用されているシリコンの場合、宇宙線による影響で5~10年程度で使用不能となる事がある。そこで、放射線耐性のある半導体素子として炭化ケイ素(SiC)を用いたデバイス開発が行われている。SiCは耐熱性、高硬度、電波吸収特性、耐放射線特性などに優れた材料であり、SiCを用いた半導体デバイスは宇宙開発以外にも様々な分野でも応用が期待できる。本研究では、SiCを用いた半導体デバイス的一种である粒子検出センサーの開発を目指している。

2. デバイスの製作

半導体を用いた粒子検出センサーの測定原理は、入射粒子の電離によって半導体結晶中に発生する電子正孔対を電界で収集する方法に基づいている。つまり、光検出器として働く半導体ダイオード(フォトダイオード)と同じ原理である。この電荷収集により形成されるパルス信号により、入射した高速粒子の頻度や個々の粒子のエネルギーについての情報を得ることができる。本研究では、SiC結晶はCree Inc.社から購入した厚さ380 μm の2インチの半絶縁性(Semi-insulating)4H-SiCウェハーおよび3インチのn型4H-SiCウェハーを使用した。購入した4H-SiCは10×10 mm^2 に切断した。デバイスの作製にはイオン注入装置を用いた。粒子検出センサーでは、高速粒子が入射する面の電極層(不感層)をできるだけ薄くする必要があり、イオン注入法はドーピングイオンの加速エネルギーを調節することによってドーピングの深さを最適に制御することができる。ただし、イオン注入層にはドーピングと同時に多数の格子欠陥も生成され、これらによるキャリア捕獲などが起きないようにアニーリングが必要である。4H-SiC、6H-SiCでは、イオン注入時にアモルファス化すると、その後のアニーリング時に多結晶の3C-SiCが成長してしまう。一旦、アモルファス化すると再結晶化が困難であり、期待する電気特性は得られない。アモルファス化を防ぐ解決法には高温イオン注入法があり、700~1300 Kで基板を加熱しながらイオンを注入する方法である。しかし、アニーリング不要の部分はそれほど温度を上げる必要はなく、プロセスの低温化法としてパルスレーザーの利用が効果的であるという報告がなされている^{1),2)}。本研究ではイオン注入時にセラミックヒーターによるアニーリングおよびパルスレーザーを用いたアニーリングを試みた。図1に高温イオン注入時の様子を示す。カラー写真の場合、中央部の真空チェンバにセットしたヒーターが高温となっている様子が伺える。

作製したSiC粒子検出センサーに光子、電子、イオン粒子(He^{2+})を入射させ、動作確認を行った。現在のところ、550 Kという高温環境内でイオン粒子をSiC検出器に入射させたが、検出信号を十分識別することができている。しか

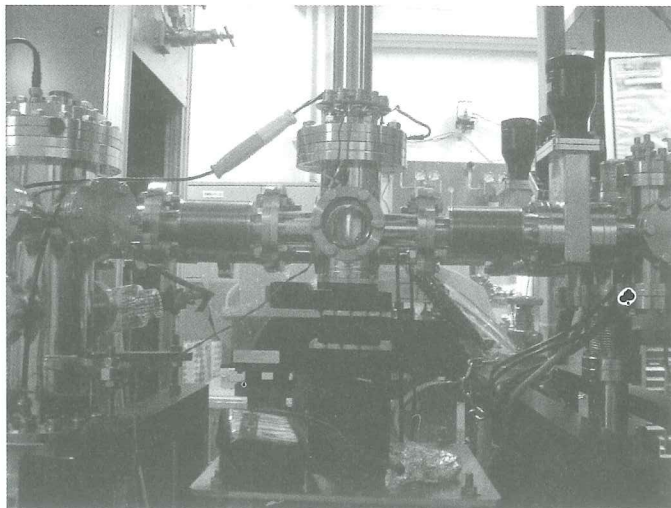


図1 高温イオン注入の様子

し、更に検出器の性能を向上させるには、イオン注入欠陥とアニールの効果を検討する必要があると思われる。そこで欠陥評価のためにフォトルミネッセンス (PL) 測定を行うことにした。

3. フォトルミネッセンス測定

PL測定とは光を使って半導体中の不純物の有無や欠陥等を調べる半導体の評価方法の一種である。自由電子と自由正孔が対をなして結晶中を動き回る状態を自由励起子という。結晶中に不純物・欠陥が多いと自由励起子が捕らえられて、束縛励起子となる。これらの自由励起子と束縛励起子はPL光が異なるので、PL測定を行うと不純物・欠陥を測定することができる。もっとも有名な欠陥起因の発光線は、イオン注入後に現れる D_1 ルミネッセンスであり、427 nmに鋭い発光線が現れSi空格子による束縛励起子発光と推定されている。本研究では、図2に示すようなイオン注入後の欠陥生成とアニーリングによる欠陥回復を測定するための実験装置を構築した。水銀ランプと光学フィルタを用いた簡易的なPL測定システムとなっている。そして、作製したSiCデバイスの測定結果を図3に示す。400 nm近辺に現れたピークは自由励起子発光もしくはイオン注入欠陥だと思われる。550 nm近辺はSiCの代表的な残留不純物であるTiの発光ピークと思われる。現在、欠陥生成とアニーリング効果について検証中である。

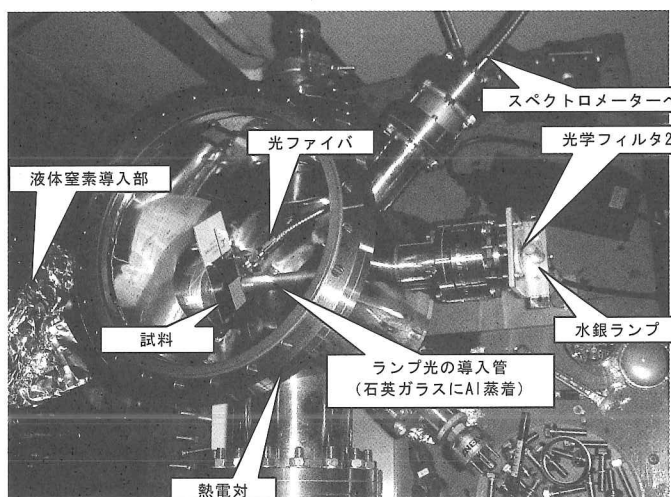


図2 簡易的なPL測定システムの写真

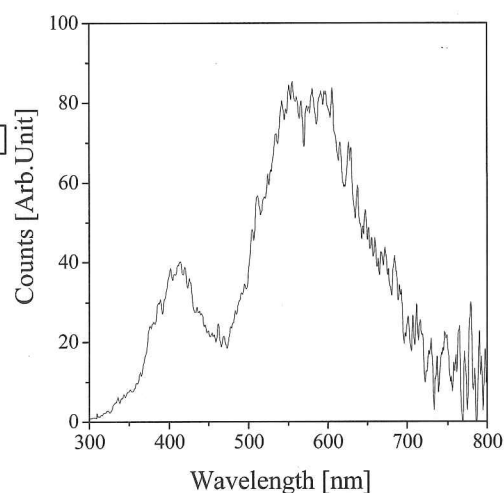


図3 SiCの簡易PL測定結果

4. まとめ

本研究はSiCを用いた半導体デバイス、特に粒子検出センサーの開発を目指している。デバイス材料にはCree Inc.社の半絶縁性4H-SiCウェハおよびn型4H-SiCウェハを使用した。デバイス作製には、高温イオン注入法を用いた。現在のところ、550 Kという高温環境内でイオン粒子をSiC検出器に入射させたが、検出信号を十分識別することができる。更に検出器の性能を向上させるには、イオン注入欠陥とアニールの効果を検討する必要があると思われる。欠陥生成とアニーリング効果については現在、検証中である。

参考文献

- 1) Y. Hishida, M. Watanabe, K. Sekine et al., American Institute of Physics, 76, No. 26, pp.3867-3868 2000.
- 2) K.B. Mulpuri, S.B. Qadri, J. Grun et al., Solid-State Electronics, 50, pp.1035-1040, 2006.