

# 特別研究報告書

## 題 目

Ge/Si ヘテロ接合 PD の製作と光応答特性  
Fabrication and characterization of Ge/Si Hetero junction Photodiodes.

## 指導教員

神戸 宏 教授

## 報告者

1105312

宮地 正之

平成 20 年 2 月 18 日

高知工科大学大学院基板工学専攻  
電子・光システム工学コース

## 要旨

近年、インターネットの普及により大容量のデータを高速でやり取りすることが必要となっている。大量の情報を高速で送ることのできる光ファイバ通信システムでは、幹線系のみならず、加入者系への導入が進んでいる。

光ファイバ通信では光源として、波長1310nm帯、1550nm帯の光が使われており、これらの波長域の受光素子としてInGaAs/InPヘテロ接合を利用したフォトダイオード(PD)やアバランシフोटダイオード(APD)が用いられている。APDは増幅機構を有しているため、高感度であるが、なだれ増倍の際に雑音が発生する。InGaAs/InP-APDでは、なだれ増倍層をInP、光吸収層をInGaAsとして用いている。増倍層として、イオン化率比がInPよりも小さいSiを用いることで増倍雑音を低減することができ、素子を高性能化することが可能となる。これにより、最低受信電力が3dB程度改善されることが試算されている。

本研究はInGaAs/InP APDにかわり、Siをなだれ増倍層としたGe/Si-APDの実現を目指したものである。増倍雑音の小さいSiは光ファイバ通信で用いられる波長域に感度がない。そのため、光吸収層としてGeを用いることにした。Geはバルク結晶として安価に製造でき、これらの波長域に感度があるため、光吸収層として使用した。

現在までに、異種材料を直接接合するウェーハボンディングと呼ばれる手法を用いて格子定数の約4%異なるGeとSiヘテロ接合の製作に成功している。また、Ge/Siヘテロ接合を用いた素子をPDとして動作させ、1310nm,1550nmの光に対して感度があることを確認した。しかし、これまで暗電流が大きく、APDとしての明確な動作は確認されていない。そのため、APD動作に向けた特性改善の為に、製作プロセスの再検討を行い、製作したGe/Siヘテロ接合PDの特性の評価を行った。

本研究では、Si基板材料の不純物濃度分布を設計し、ブレイクダウン電圧の低電圧化や、接合形成プロセスでの高温アニールで発生するクラックの低減、素子製作プロセスの検討による、暗電流の改善について研究を行った。ブレイクダウン電圧の低電圧化には、Siを従来の $pn^+$ から、 $pp^-n^+$ に変更した。 $p^-$ -Si層を追加することで、Geの電界分布を小さくし、ブレイクダウン電圧の低電圧化が可能であると考えている。接合形成工程のアニール条件の改善には、様々な条件での接合形成を検討した結果、従来のアニール温度から500°C以上低温である350°CでのGe/Siヘテロ接合形成を試み、成功した。接合形成後の基板にはクラックが見られず、熱処理温度をより低温にしたことで、改善がみられている。このような、ヘテロ接合を用いて、PDを製作し、素子の光応答特性を測定した。波長850nm、1310nm、1550nmの入射光に対して、それぞれ量子効率で25%、64%、60%の応答を得ることができた。このことから低温アニールで製作したヘテロ接合を乗り越えてキャリアが光電流として流れていることが確認した。また、光応答について諸特性を測定し、Ge/Siヘテロ接合PDとしての特性評価を行った。また、メサ型形成にフォトリソグラフィを用いたことにより、メサ型の形状を安定して製作することを可能とし、暗電流密度を従来の10%以下に改善した。

製作した素子では、特性の改善はされたものの、十分な像倍率を持つAPDとしての動作には至っていない。今回の研究結果を元に今後さらなるプロセスの改善、解析が必要となる。