

Blocked Impurity Band 型 Ge 遠赤外線検出器開発の最新状況

石丸 貴博^{1a)} 鈴木 仁研² 和田 武彦¹ 長勢 晃一¹ 馬場 俊介¹ 公地 千尋¹
山本 啓太¹ 宮地 晃平¹ 渡辺健太郎³

Development status for germanium blocked impurity band type far-infrared detector

Takahiro ISHIMARU^{1a)}, Toyoaki SUZUKI¹, Takehiko WADA¹, Koichi NAGASE, Shunsuke BABA,
Chihiro KOCHI, Keita YAMAMOTO, Akihira MIYACHI

¹ 国立研究開発法人宇宙航空研究開発機構

Japan Aerospace Exploration Agency, 3-1-1 Chuo, Yoshinodai, Sagamihara, Kanagawa, 252-5210 Japan

² 名古屋大学

Nagoya University, 4-6-1 Furocho, Chikusa, Nagoya, 464-8602 Japan

³ 東京大学 先端科学研究センター

Research Center for Advanced Science and Technology, University of Tokyo, 4-6-1 Komaba, Meguro, Tokyo, 153-8904 Japan

^{a)}E-mail: ishimaru.takahiro@jaxa.jp

超高感度な遠赤外線イメージセンシングの実現が期待される Ge Blocked Impurity Band: Ge BIB 型検出器アレイのプロセス開発状況について述べる。

キーワード 半導体プロセス, 遠赤外線検出器, 表面活性化常温ウェハ接合,

1. はじめに

波長 30 μm -300 μm の遠赤外線領域は、宇宙のエネルギー源を探るうえで非常に興味深い波長域である。星や銀河、ブラックホールは可視～紫外領域に放射光強度のピークを持つが、それらは星間ダストに吸収され、遠赤外線として再放出される。また、星などから放出される遠赤外線は、ダストによる減光を受けないままに直接観測が可能である。しかし、この波長域に対応した高性能なイメージセンサは存在せず、遠赤外線は天文学において未開拓の波長域と言える。

我々が開発を進めている Blocked Impurity Band: BIB 型 Ge 遠赤外線センサは、波長 100 μm 以遠の赤外線に感度を持ち、大規模アレイ実現が期待できる。

本稿では、Ge BIB 検出器アレイ開発の進捗状況を報告する。

2. Si 支持型 Ge BIB 遠赤外線検出器アレイ

図1に Ge BIB 遠赤外線検出器アレイの構造を示す。Ge BIB 検出器は、不純物帯-荷電子帯間の励起で光吸収する高不純物濃度 Ge (p-Ge)、不純物帯伝導を遮断する高純度 Ge (i-Ge)、光入射側に配置された透明電極を主な構成要素とする。Ge 検出器と Si 読み出し回路間は NpD(Nano particle Deposition)技術による Au バンプで電氣的、機械的に接続される。Ge-Si 間の熱膨

張不整合を緩和するため、Ge 検出器を厚い Si 基板で支持し、検出器の熱膨張係数を実効的に Si と等しくする。この構造を Si 支持型 Ge BIB 検出器と呼び、Si/i-Ge、i-Ge/p-Ge はそれぞれ表面活性化常温ウェハ接合 : SAB (Surface Activated Bonding)法によって作製する。こうして作製した基板を Ge BIB on Si 基板と呼ぶ。

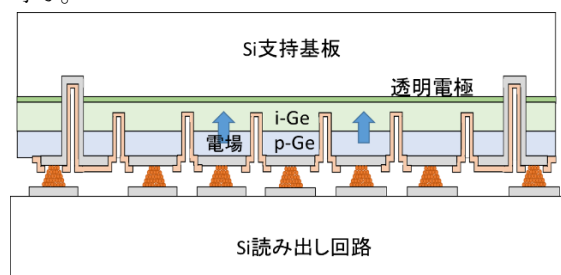


図1 : Si 支持型 Ge BIB 検出器の概念図

3. 検出器アレイ作製プロセス

Ge BIB on Si 基板を検出器アレイとするには、2回のエッチングを行う。画素を分割するための素子分離エッチングと、埋め込み透明電極を表面に露出させるためのコンタクトホールエッチングである。

深掘りは ICP-RIE を用いて行う。この過程で導入することが懸念される結晶欠陥、コンタミなどのいわゆるプラズマダメージ層は、Ge BIB 検出器のリー

ク電流パスと成り得る。よって、ICP-RIEの後、ダメージ層除去のためにウェットエッチングを行う。本稿では除去可否の指標として、エッチング面の粗さを採用し、エッチング条件最適化の結果を紹介する。

ICP-RIE条件は、RF電力：400W, 1700W、エッチングガス：SF₆、パッシベーションガス：C₄F₈とした。ウェットエッチングはリン酸、過酸化水素水の希釈混合液 [1] を使用し、その体積比はH₃PO₄:H₂O₂:H₂O=1:6:3, 1:6:9とした。表1に示した条件でエッチングを行い、レーザ顕微鏡によって表面粗さを測定した結果を図2に示す。

サンプル 1/2 の比較によって、C₄F₈を使用した場合、ドライエッチング面に炭素系のコンタミネーションが付着し、不均一なウェットエッチングが進んだことが示唆される。レーザ顕微鏡観察像では、40分のウェットエッチ後にも凹凸が確認できた。エッチャント濃度は表面粗さにはほとんど影響しない(サンプル 2/3) が、RF電力はクリティカルである。RF電力 400 W でドライエッチ(サンプル 4)した面はほとんどの領域がRMS粗さ 0.05 μm以下であり、ウェットエッチによってレーザ顕微鏡の検出限界程度まで平滑化されている。このときのエッチレートはドライ、ウェットそれぞれ、0.20 μm/cycle, 0.17 μm/minであった。

この条件を本実験では最適条件として、接合基板のエッチング試験を行った。サンプル A : Si (t500μm)/i-Ge(t18-20μm)、サンプル B : i-Ge(t500μm)

表 1: エッチング条件

sample	RF power [W]	C ₄ F ₈	H ₃ PO ₄ :H ₂ O ₂ :H ₂ O
1	1700	w/	1:6:3
2	1700	w/o	1:6:3
3	1700	w/o	1:6:9
4	400	w/o	1:6:9

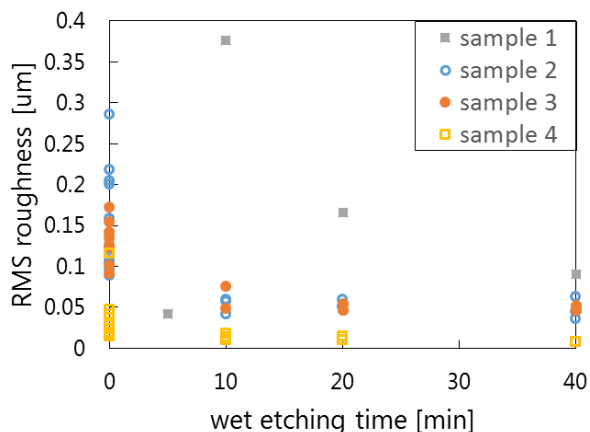


図2：ウェットエッチングによる表面粗さの推移

/p-Ge(t16-20μm)接合基板において、薄層化面からエッチングした。リファレンスとして Si, i-Ge, p-Ge 単体での実験も行い、ドライエッチングレート比は1:1.3:1.3程度であった。ICP-RIEのサイクル数を200回とした(想定されるエッチング深さはGeで40μm程度)。エッチングパターンは幅 200, 100, 30, 10 μmの溝を用意した。

ドライエッチングの結果、得られた溝の深さはサンプル A, Bそれぞれ 18~21 μm, 15~18 μmであった。これらは溝の幅に依らず一定で、想定されるエッチング深さよりも大幅に浅く、薄層化面の厚さとほぼ一定している。また、断面観察により、溝の底面が非常に平坦であることが確認された。以上の結果は、SAB接合界面でエッチングがとまっていることを示唆しているが、原因は定かではない。詳細な原因究明は今後の課題とする。

4. まとめ

Ge BIB 検出器アレイの開発について、プロセス開発の進捗状況と新たに発見された課題を整理した。Geのドライ、ウェットエッチングの条件最適化によって平滑なエッチング面を実現できたが、SAB接合界面でのエッチストップという問題に直面している。この現象の利用価値を含めた詳細な調査を行う必要がある。

謝辞 本研究の実施にご協力いただいた名古屋大学金田研究室、高エネルギー加速器研究機構新井研究室の皆様へ感謝申し上げます。

文 献

[1]S. Kagawa *et al.* " Chemical etching of germanium with H₃PO₄-H₂O₂-H₂O solution " , *Japanese Journal of Applied Physics*, Vol. 21, No. 11, pp.1616-1618