

半導体放射線イメージングデバイスにむけた 高精細パターンドーピング技術の研究

[1] 組織

代表者：小池昭史

(株) ANSeeN

対応者：青木 徹

(静岡大学電子工学研究所)

分担者：

渡辺賢一 (名古屋大学)

V.A.Gnatyuk (ウクライナ

半導体物理研究所)

Madhu Vola (Terapede)

Anand Sheel (Terapede)

奥之山隆治 (株) ANSeeN

青木徹 (静岡大学)

Z. Kateryna (ウクライナ

半導体物理研究所)

[2] 研究経過

放射線のイメージングは医療やセキュリティ、非破壊検査など幅広く用いられているが、最近では社会インフラ/産業インフラなどの検査にも応用が広がっている。これまで工業向け用途ではX線フィルムが基本で、最近では書き換えのできるイメージングプレート (IP) が使われ始めている。しかし、これらは撮像現場で撮像した後取り外して現像する必要があり、作業性が良好ではなかった。特に高所の配管などでは足場を組んで上り下りを繰り返す必要があり、これに変わるデジタルカメラのイメージングデバイスが要望されていた。現状ではシンチレータと CCD を組み合わせたイメージングデバイスが用いられ始めているが、CCD の分解能は高いものの、シンチレータ内部での光の拡散から解像度が200 μm 程度と低く、感度も高くなくコントラストも低めであり、また読み出し速度が遅いなどの問題が見られ改善が求められている。

一方で CdTe に代表される半導体検出器はこれらの欠点は改善されるものの、ピクセル化は単純電極分割のみで、リーク電流が大きく PD の埋め込み型構造作製技術の確立が急務である。本研究では100 μm 画素ピッチの埋め込み型 CdTe PD を形成することを目的に、狭ピッチ pin 構造の研究開発を目

指した。また、このためのマスクやグリッドを MEMS 技術を用いて製作することも目的とした。

[3] 成果

(3-1) 研究成果

静岡大学電子工学研究所の持つ化合物半導体である CdTe への p+, n+ ドーピング技術を活用し、CdTe に対して狭ピッチでのパターンドーピング技術を確立する。また、実際に放射線を照射してイメージングデバイスとして動作させるための基板技術を確立した。このための研究は基本的にそれぞれの研究者 (研究期間) の持ち出しですすめ、研究と迂路雲海についても基本的にそれぞれの研究者の自己負担で静岡大学電子工学研究所へ集まって行った。今回は、実際に研究を進めるため、Z.Kateryna が長期に研究所に滞在し、全体の研究を総合的にとりまとめて研究を進めた。

ドーピングそのものに関しては静岡大学と株式会社 ANSeeN が共同で電子工学研究所の設備を利用して進めた。これまで用いてきた KrF エキシマレーザーに加えて新たに導入 (他経費) した Nd:YAG レーザーを用いて、とくに深さ方向のコントロールを目指して研究を進めた。

評価に関しては、静岡大学と共著を持ち専門的に進めているウクライナ科学アカデミー半導体研究所と名古屋大学が主体となって共同で進めた。実際に、電流電圧特性、CV 測定などの電気的な測定、放射線スペクトルなどの放射線検出器としての特性を評価すると共に、物性レベルでの理解を深めるために XPS, オージェ電子分光などの物性評価も行った。

また、単にドーピングの研究ではなく、放射線検出器として動作することに重点を置いたため、評価に不可欠な読み出し回路は株式会社 ANSeeN が CdTe のジャンクションデバイスに特化した形で設計、試作を行った。また、ドーピング材料については株式会社 ANSeeN の協力企業が協力し、静岡大学が実施する形でドーピングの実験を進めた。

また、パターン化及びパターン電極と読み出し回路の接合については米国企業テラピドが主に担当し、大面積シリコンに集積化された回路との接合が可能

となる、パッドパッド間の精密接合 (μm オーダーのギャップ) に成功した。

これまでにメタルマスクを用いて 2mm の画素ピッチでのパターンドーピングの実績は持つが、今回はこれを $1/20$ で行う必要があった。また、ピクセル毎に埋め込み PD 構造とするために、これまでの 300nm のドーピング深さを少なくとも $1\mu\text{m}$ 程度に深くし、ピクセル毎のウォールをしっかりと形成させる必要がある。本研究では、これまでのエキシマレーザーの 248nm に加えて Nd:YAG レーザーの 2 倍波 532nm を用いて、深さ方向とドーピング濃度のコントロールの技術基盤の確立を目指した。なお、 532nm は可視光であり、紫外光で必要とされた特殊な光学系がかなり簡略化され、工業的にも大きな意味を持つ。今回は、深さ方向の分布がレーザー波長で異なることまでをとらえることができた。また $100\mu\text{m}$ といった細かいピクセルピッチでも十分プロセスが施せることが分かった。

一方で、シリコンの MEMS 技術を活用した $100\mu\text{m}$ ピッチのマスクの作成を行った。これまでメタルマスクでプロセスを進めてきたが、ギャップが小さくなるにつれてレーザーによるアブレーションなどの原因で、プロセス途中でレーザー②よりマスクが破壊されやすく、特に今回導入した YAG レーザーはパルス強度が大きく、ドーピングには効果的であるもののマスクに対してのダメージも大きく対策が必要であった。今回は $350\mu\text{m}$ のシリコン基板を用い、これで $100\mu\text{m}$ ピッチのマスクを作成することで、非常に強いレーザーパルスによっても十分耐性の強いマスクを作成することができた。

通常イオン注入や熱拡散プロセスが使えない熱に弱い化合物半導体 CdTe への高精細ドーピング技術の確立は埋め込み型 PD 構造の実現で非常に小さいリーク電流の達成が可能となり、高精細かつ高コントラスト、高エネルギー分解能の高エネルギー対応放射線イメージングデバイスの基盤技術が要素として確立された。

実際には、提案の研究グループでは読み出し回路以降の $100\mu\text{m}$ ピッチ化は各社技術で進めており、本研究での狭ピッチドーピング技術により $100\mu\text{m}$ 画素ピッチ素子が試作されれば実際にイメージングすることのデバイスのための基本的な試験を進めることが可能であり、早期のイメージングデバイス実用化に向けた基板技術の確立が予想され、今後は読み代回路の LSI 化を進めてイメージングデバイスの実現を図りたい。また、この方式は CdTe 半導体のみでなく、多くのシンチレーターや半導体放射線検出器のイメージングデバイス化に有用であり、実用化に向けた研究を進めていきたい。

なお、各者間のやりとりは Skype を主に用いて定期的に国際ミーティングを開いて議論を進めた。本研究所に皆で集合し、現物を交えての議論やまとまった研究開発の議論を研究討論会の形で実施した (予算の関係で集合そのものは自己費用で行った)

[4] 成果資料

現在、特許申請、国際会議発表に向けて準備中

出張報告（特別教育研究経費を使用した場合について、全員分記載して下さい。）

氏名：Zelenska Kateryna

所属：ウクライナ科学アカデミー半導体部売り研究所

期間：10/2 - 12/29

用務先：静岡大学

用務内容：共同研究プロジェクトによる研究打合せ・実験研究等

主たる対応者：青木