

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)

[2] 研究経過

前年度、100 μm 画素ピッチの埋め込み型 CdTe PD アレイを形成することを目的に、狭ピッチ pin 構造を作成する研究開発を行った。これは高エネルギー分解能を有する CdTe ダイオードの研究成果をベースに、従来のイメージングプレート (IP) による X 線撮像が持つ問題点である物理的な IP の移動による撮像、読み出しの手間を電子式によりデジタルカメラと同等の使い勝手で使うことが出来るデバイスを目指すことと、エネルギー分解能を持たせることで様々な応用に対応することが出来る様なカメラデバイスを目指すための基盤的研究内容である。シンチレーターを用いた X 線カメラデバイスおよびエネルギー分解能を持たない蓄積型信号処理の X 線カメラデバイスは既に弊社より製造販売する段階となった。比較的感度が高い、読み出し速度が 100 フレーム/秒程度の高速な読み出しが可能なデバイスは供給できる状況にある。

しかし、これらはエネルギー分解能を持たない。大きな理由は、実用向け製品ではコストの点を考慮して信号処理回路の規模を小さく押さえていることであるが、デバイス素子としてもシンチレーターではエネルギー分解能が小さく X 線管のエネルギー領域である 100keV 程度ぐらいまでをエネルギー弁別し高機能イメージングとするためには分解能が不足

する。したがって、本研究では前年度に得られた成果を元に、より実用的な展開が可能な CdTe pin ダイオード構造の研究開発を目指した。

具体的には、静岡大学電子工学研究所の持つ、半導体デバイス製造の技術とノウハウ、知見を元に、米国 Terapede system 社の三次元 LSI アライメント技術の導入をデザインしたデバイスのための基盤技術を、ANSeeN の信号処理技術とあわせて研究を進め、放射線計測に高い知見を有する名古屋大学と連携して評価することで、新しい放射線検出器の開発に向けた高精細パターンドーピング技術の県有開発を進めた。

[3] 成果

(3-1) 研究成果

静岡大学電子工学研究所では CdTe への高濃度ドーピング技術を有している。これはパルスレーザーを用いたパターンドーピング技術であり、これまでに製品レベルでの応用実績を有している。昨年度は静岡大学、米国企業のテラピドシステム、弊社が協力し、狭ピッチでのパターンドーピング技術の研究開発を進め、狭ピッチ化の基盤技術を研究した。しかし、この中でレーザードーピングを用いた接合層の上に形成した電極に配線処理をするにあたって、十分に注意した状態でないと通常のワイヤーボンダーでの配線に対して機械的強度が不足していることが明らかとなった。これは他社より市販されているショットキーダイオード構造の CdTe でも同等であり、機械的に弱い CdTe における欠点である。具体的にはワイヤーボンダーのピンの先の接触ストレスと熱、超音波振動などでボンディングの際に接合が破壊されることが明らかとなっている。

本研究では、高エネルギー分解能の狭ピッチデバイスの欠かすことの出来ない CdTe pin ダイオード構造に対し、埋め込み型 PD 構造となり、さらにその接合が 1 μm ～数 μm 程度の深さとなるようにドーピング深さのコントロールを行った。具体的には従来用いていたエキシマレーザーによる 248nm の波長と Nd:YAG レーザーの 532nm 他を加えて、深さ方向のコントロールを目指した。前年度単独

532nm によるドーピングを研究し、深さ方向そのものは深く出来ることは明らかとなっているが濃度が低下し十分な低逆方向リーク電流を得る接合が形成に不足することが分かっている。今年度は複数の波長の複合を進め、深さ方向をコントロールすると共に、高濃度階段接合の研究を進めた。

この研究の過程で、レーザーを照射してドーピングを行う、レーザードーピングはこれまで溶解を伴う表面からの熱拡散として理解をしてきた。しかし、熱拡散シミュレーションで溶解の起きない条件においてもドーピングが観察され、単なる固固拡散条件では説明が付かない現象が見受けられた。シミュレーションにおける検討では、溶解が発生する条件にならず、計算予測される温度では固固拡散が発生しても非常に薄い層となることが示された。しかし実際にはこの予測の数倍の厚さの層が観察され、また、その濃度も予測より遙かに高濃度であることが示された。そこで、今年度は、この共同利用・共同研究プロジェクトの他の2つのプロジェクトと合同でこのメカニズムについても解析を進め、ドーピングプロセスがショックウェーブに基づくものであると推定することができた。

一方で、これまでドーパントに用いていた In 二に加え、Al をドーパントとした研究を進めた。これは、将来的な高精細イメージングデバイスを目指した際に、フォトリソグラフィによる微細加工プロセスを避けることができないが、高精細といっても10 μm 程度でLSIに比べればかなり荒いプロセスとなる。しかし、このためリフトオフプロセスにおける In の粘性（推測）が大きな影響を与え、良好なプロセスが困難であった。将来的な量産までを視野に入れ、同じ三族の Al 原子をドーパントとすることで、パターンドーピングにフォトリソグラフィによる微細加工プロセスを加えることが容易となるため、Al によるドーピング研究も進めた。

その結果、Al をドーパントとした場合、レーザーを照射した際の Al および CdTe の加熱状況を検討したところ、Al の高融点にレーザー照射条件を設定した場合、ドーピング条件のコントロールが容易でないことが明らかとなった。詳細は、現在、追加で検討中で有りまだ系統的な議論は難しいが、方法論と

しては、CdTe が透明な領域となる 1064nm の Nd:YAG レーザーの基本波を用いて、蒸着 Al の上面からではなく、蒸着した CdTe の裏面からの商社を用いることで良好な結果を得ることができると見いだした。

なお、外国との共同研究であったが、今回 Skype ミーティングを定期的に行い研究を進めたとともに、自己経費により実際に渡米4回（協力者を含め延べ11名）、本学への来日2回（延べ4人）で密接な協力体制で研究を進めた他、研究協力の大学院生が2ヶ月間米国 Terapede system 社で評価実験およびその指導を行い研究を進展させた。また、前述の通り、他のプロジェクトとの共同で基礎的な研究も大幅に進展することができた。

CdTe は熱に弱く通常のイオン注入プロセスや熱拡散のプロセスを適用することが出来ないが、レーザードーピング技術によりこれらが可能となり pin 構造の形成ができ、非常に高いエネルギー分解能かつピクセル型のイメージングデバイスが形成できる基盤技術が確立されつつある。これに加え、ドーピングで基本の濃度コントロール、深さ方向の拡散コントロールの基盤技術が確立され、他の材料系へのレーザードーピングプロセスの展開をすることが出来るようになると予測され、今回基盤的な共同研究を進めることができ、メカニズム予測の精度が高くなっていることから今後の進展が予測できる。

[4] 成果資料

静岡大学、ANSeeN との共同特許（出願）

- (1) 特願 2016-60685、放射線検出素子の製造方法、
発明者：青木徹、小池昭史、出願人：国立大学法人静岡大学、株式会社 ANSeeN
- (2) 特願 2016-064481、放射線検出素子の製造方法、放射線検出素子、およびそれを含む放射線検出、
発明者：青木徹、小池昭史、出願人：国立大学法人静岡大学、株式会社 ANSeeN