

3次元積層半導体量子イメージセンサ

SATテクノロジー・ショーケース2021

■ はじめに

高エネルギー加速器実験用のモノリシック型半導体ピクセルセンサーの開発を行っている。放射線を検出するセンサー部と信号処理回路部が一体になっている。Silicon-on-Insulator (SOI) 技術により、酸化膜層を介して高抵抗のハンドルウェハーと低抵抗の回路層が一枚の半導体ウェハーとなっている。

高エネルギー粒子の衝突により生成された荷電粒子の飛跡を再構成することにより、粒子の同定や運動量測定を行う。国際リニアコライダー (ILC) 実験ではヒッグス粒子の精密測定や新粒子の探索が主な目的である。これらの実現のためには、ILC検出器最内層ピクセル検出器(崩壊点検出器)に $3\mu\text{m}$ の位置分解能が必要となる。また、ILC加速器では1msの間に約1,300回の電子-陽電子衝突が起こるため、時間情報の記録も必要となる。さらに、1msの間の1ピクセルあたりのヒット数は4ヒット程度と見積もられている。したがって、ピクセルに求められる機能としては

- 位置を検出するためのアナログ信号の記録
- ヒットのタイムスタンプの記録
- 複数ヒット分の情報を保持するためのマルチメモリ

となる。センサー内で生成された電荷が複数ピクセルにまたがって収集されることを利用し、電荷重心法によりヒット位置を再構成する。ピクセルサイズが $20\mu\text{m}$ 角程度であれば $3\mu\text{m}$ の位置分解能を達成できる。

しかしながら、上記のような機能を $20\mu\text{m}$ 角内に収めるのは非常に困難である。そこで、2枚のチップを積層させることにより、3次的に回路実装面積を拡張した。

■ 活動内容

1. SOIチップの三次元積層化

2枚のSOIチップを直径 $3\mu\text{m}$ の金マイクロバンプで接合する(図1)。試作チップSOFIST4では1ピクセルあたり3バンププロセスされている。それぞれ、アナログ信号、デジ

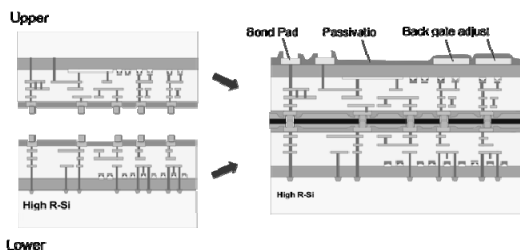


図2 三次元積層化 SOI チップ

タル信号、電源、GNDである。電源とGNDは隣り合うピクセルで共有している(図2)。ピクセル数は 104×104 である。また、上下チップで歪みが発生しないよう、チップ上の空き領域にはダミーピクセルがプロセスされている。機械的強度を保つために接合部には接着剤が流し込まれている。

2. バンプ接合歩留り

^{90}Sr によるベータ線をチップへ照射し、アナログ信号の応答を観測した。全ピクセルの中で、最も外側のピクセルを除外した 102×102 ピクセルのうち、全く反応がなかったものが2ピクセルであった。したがって、バンプ接合歩留まりは約99.98%であった。

3. 高エネルギー荷電粒子の検出

高エネルギー加速器実験を想定し、 120GeV 陽子ビームを用いて、ヒットの検出を行った。積層化センサーを2枚、ヒット位置参照用として別センサー(FPIX2)を上下流にそれぞれ2枚ずつ設置した。各セン

サーでヒット位置を検出することにより、陽子ビームの飛跡を再構成可能である。図3に示すように、センサー間でヒット位置の相関関係が得られた。FPIX2の $1000\mu\text{m}$ 以上の空白部分は有感領域外である。

4. まとめ

三次元積層化SOIセンサーにより、高エネルギー荷電粒子について $3\mu\text{m}$ の位置分解能を得ることが目標である。99.98%の金マイクロバンプ接合を実現し、放射線の検出にも成功した。

■ 関連情報等(特許関係、施設)

- [1] M. Yamada *et al.*, VERTEX2020, 7th Oct., Online, 2020
- [2] 山田美帆, 日本物理学会 2020 秋季大会, 9月14日
- [3] M. Yamada *et al.*, IEEE(3DIC), 2020
- [4] T. Tsuboyama *et al.*, HSTD12, 15th Dec., Japan, 2019

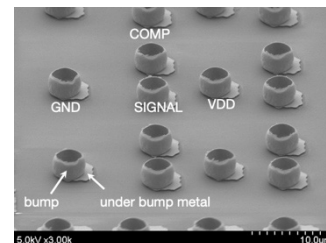


図1 金マイクロバンプ

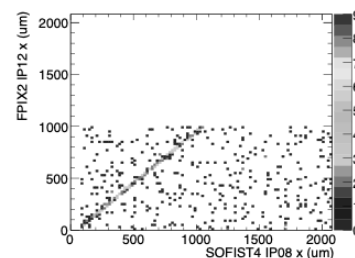


図3 ヒット位置の相関

代表発表者
所属
問合せ先

新井 康夫(あらい やすお)
高エネルギー加速器研究機構
素粒子原子核研究所(KEK)
〒305-0801 茨城県つくば市大穂 1-1
TEL: 029-879-4335
e-mail: yasuo.arai@kek.jp

■キーワード: (1) 3次元積層化
(2) Silicon-on-Insulator 技術
(3) モノリシック型イメージセンサー

■共同研究者:
山田美帆(都立産技高専)
坪山透, 倉知郁生(KEK), 原和彦(筑波大学)
元吉真, 柳村光紀(T-Micro)