

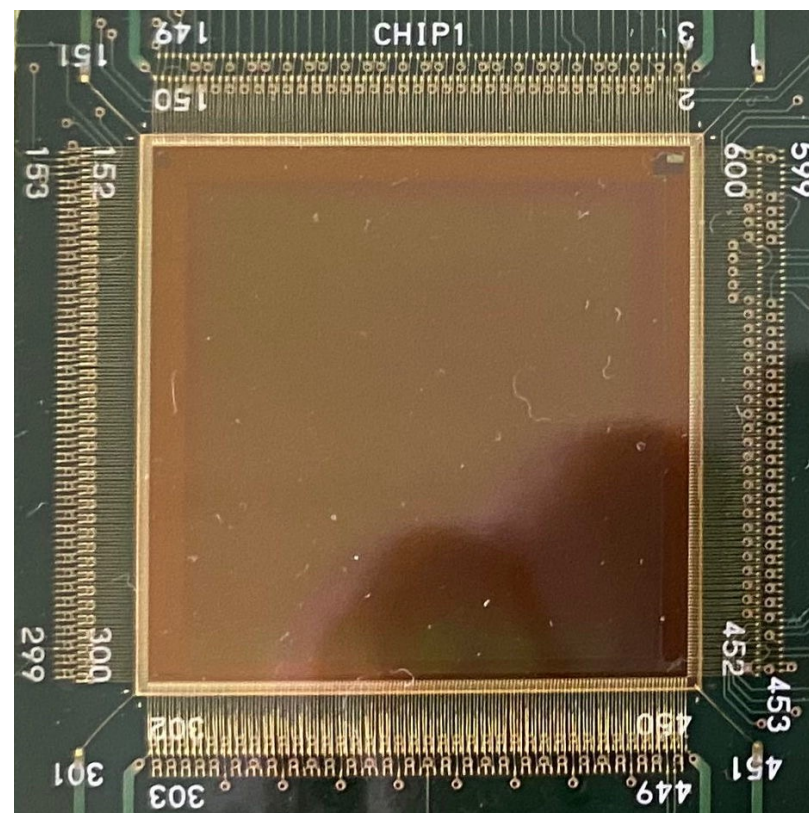


電子顕微鏡用SOIセンサ & SEABAS3の開発

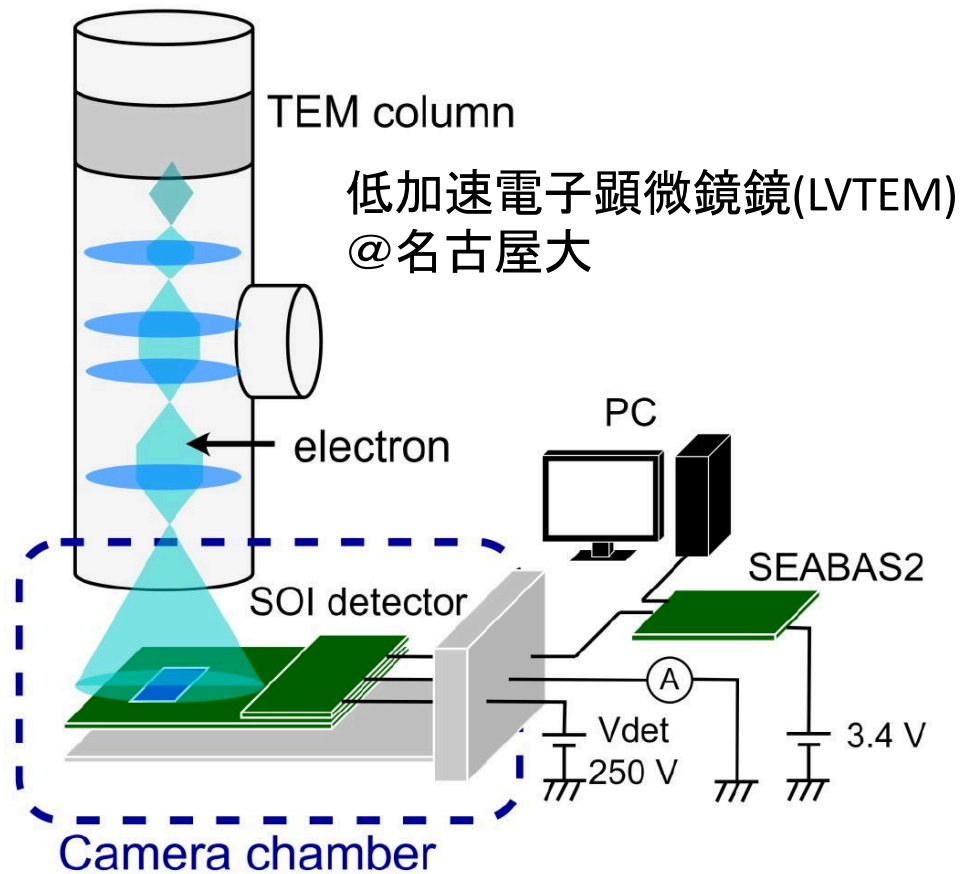
2024年12月19日 @奈良女子大
SOIPIX量子イメージング研究会2024
高エネルギー加速器研究機構
新井康夫 (yasuo.arai@kek.jp)

SOI電頭共同研究:

三井(滋賀大)、武田(宮崎大)、鶴(京都大)、
桑原、石田(名古屋大)、(株)日立ハイテク
協力:(株)Lapis, (株)A-R-Tec, (株)BBT



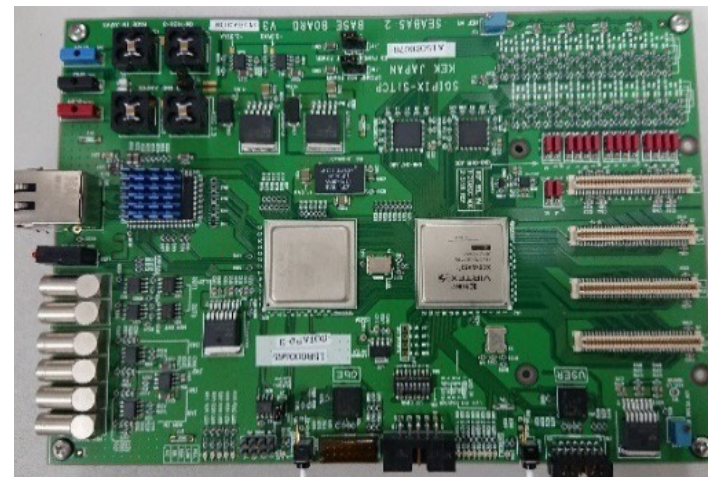
SOIPIXの電子顕微鏡センサー応用



INTPIX4(SOI pixel detector)

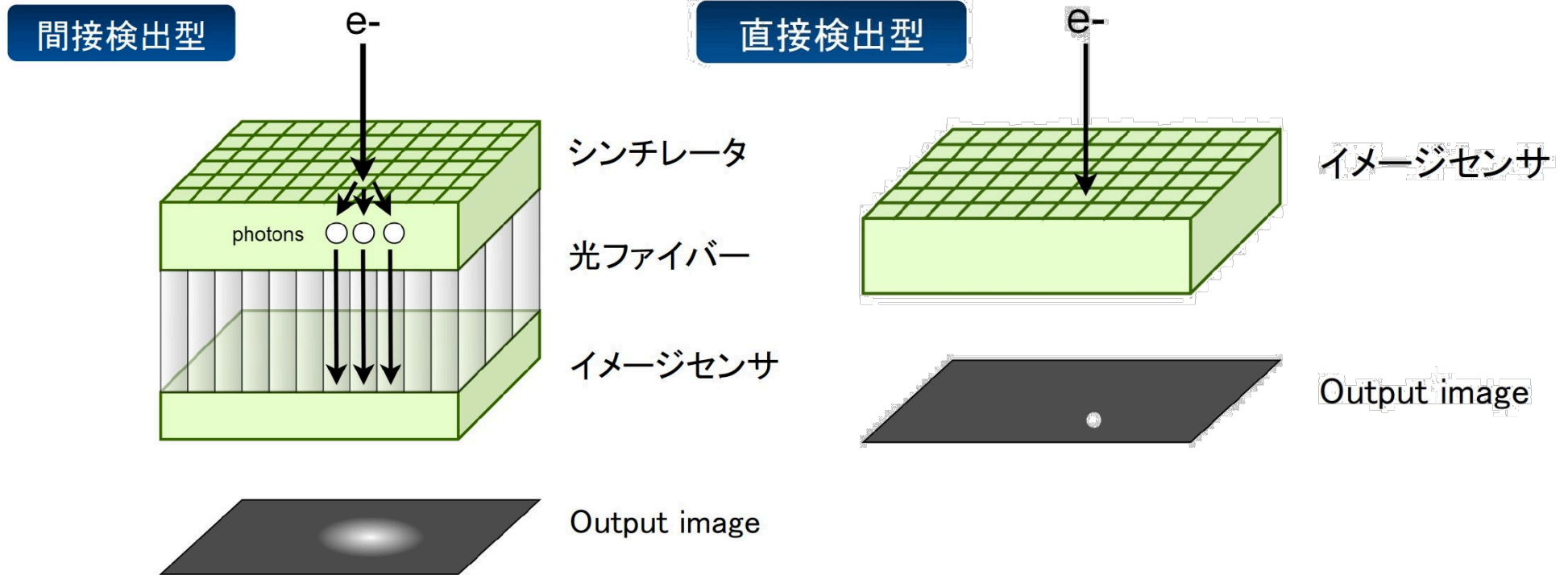


SEABAS2(Read out board)



- ・2023.6 顕微鏡学会論文賞(石田高文、他)
- ・2024.9 応用物理学会講演奨励賞(石田裕一)

SOIセンサーの優位性



- 光の広がりが無い事で**高分解能**
- 直接電子を検出するので**高感度**
- メモリや処理回路が追加出来る事による**高機能**

電子顕微鏡用SOIセンサー開発

- **INTPIX4NUHTセンサ**

大面積・高精細(20um角, 1024 x 1024 ピクセル)
多機能(2x2 Binning, Hi/Loゲイン切替機能)
高速読み出し(<80ns/pix, 32ch並列読み出し)
単一マスクではSOIPIX中最大面積
性能試験中

- SEMPIXセンサ

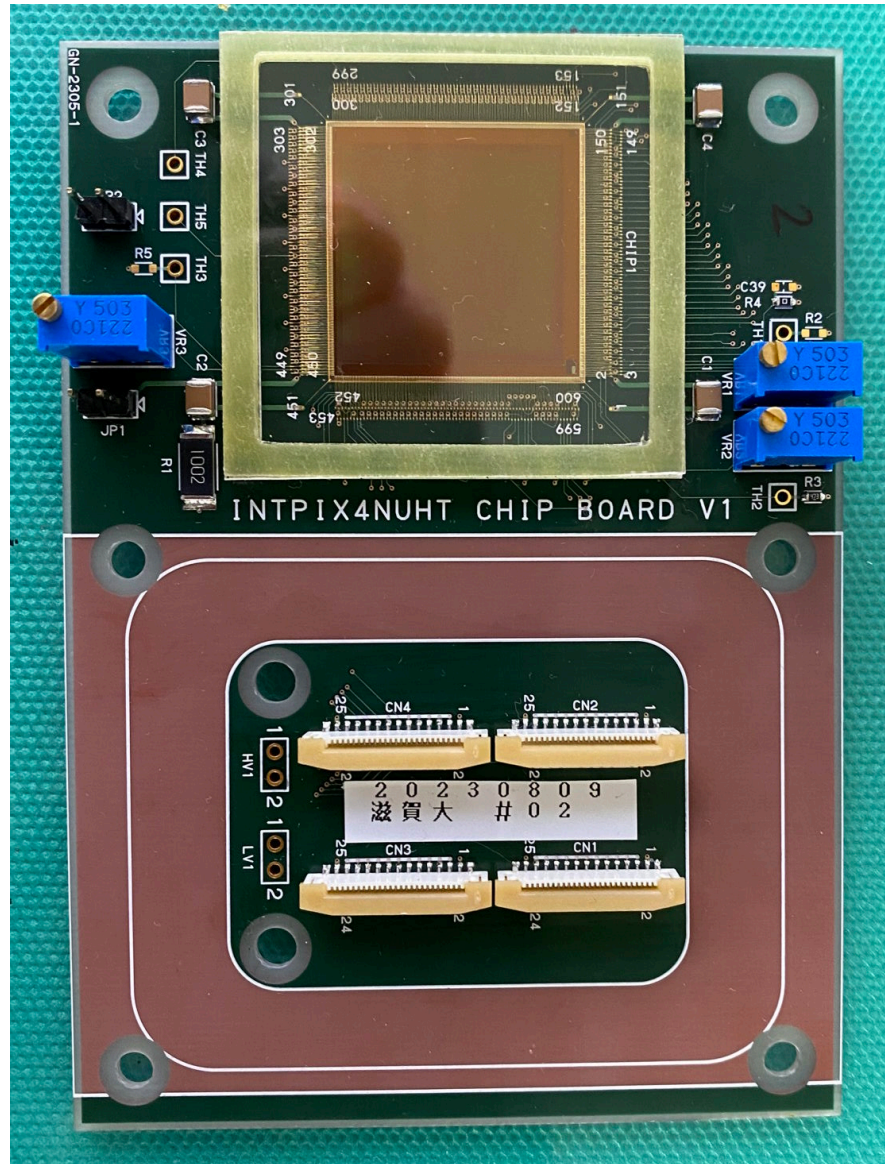
ピクセル内に8つのメモリを内蔵
39um角ピクセル
TEGチップ製作済み、評価後大面積チップ開発へ

- **SEABAS3読み出しボード**

SEABAS2後継機、チャンネル数拡大、高速I/F
32ch ADC, 10G Ethernet
まもなく納入予定

今日の話

INTPIX4NUHTセンサ基板



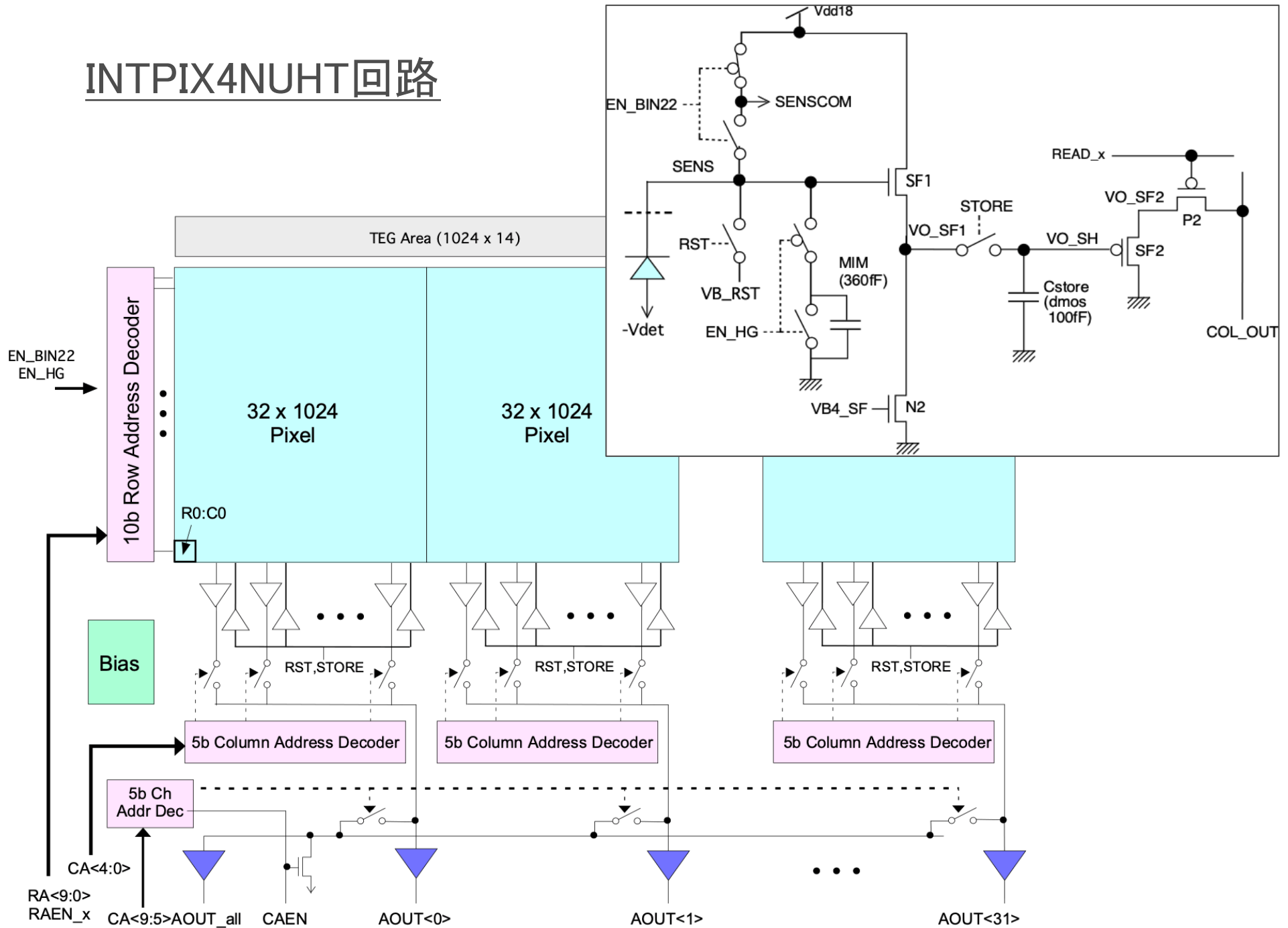
- Pixelサイズ 20um角
- 1024 x 1024 Pixel
- 基板にOリングを重ね、
直接真空封止

*SOPHIASにつぐ大面積
INTPIX7につぐ画素数*

INTPIX4NUHTセンサ仕様

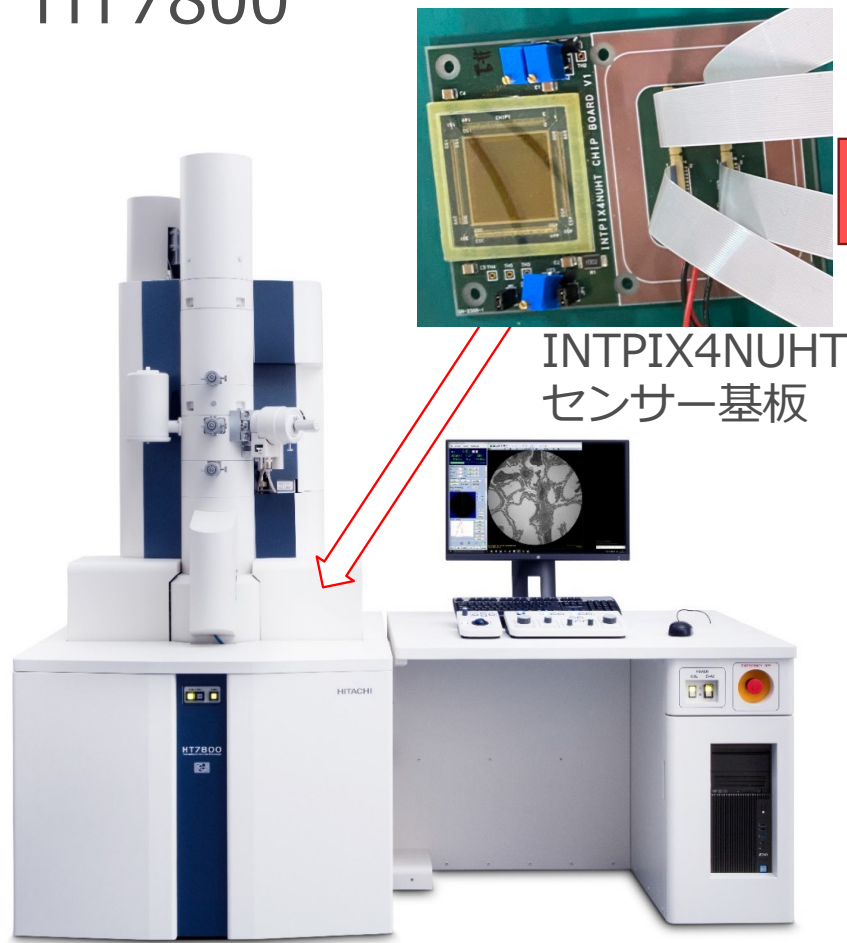
項目	仕様
プロセス	0.2um CMOS FD-SOI Pixelプロセス、
センサ基板	FZ(Floating Zone)法による高抵抗P型基板(~5kOhm・cm)
画素サイズ	20um角
画素数	1024x1024 (=1,048,576ピクセル) 周囲に4画素のダミーを配置
センサー領域	20.48 mm角
チップサイズ	レイアウト面積 24.6mm角(605.16mm ²)。外径およそ24.8 mm角
撮像方式	グローバルシャッター、2x2ビニング読み出し可能
感度	2ゲイン選択式、{Hi=8.0 , Lo=0.4}[uV/e-] 最大入射電子数: 70個@100keV (Low Gain mode)
読み出しチャンネル	32ch 並列Analog読み出し、1chからの読み出しも可能 60ns/pix (@20pF 500Ω typ)
センサー厚さ	150um厚 (75um厚も製作予定)
裏面処理	機械研磨→CMP処理→ボロン注入→レーザーアニーリング
電源電圧・消費電流	1.8V、~570mA (~1W)
パッドサイズ	90um x 100um (試験用とワイヤーボンディング用の2個ずつ) 160umピッチ
その他	CDS回路は無し。

INTPIX4NUHT回路

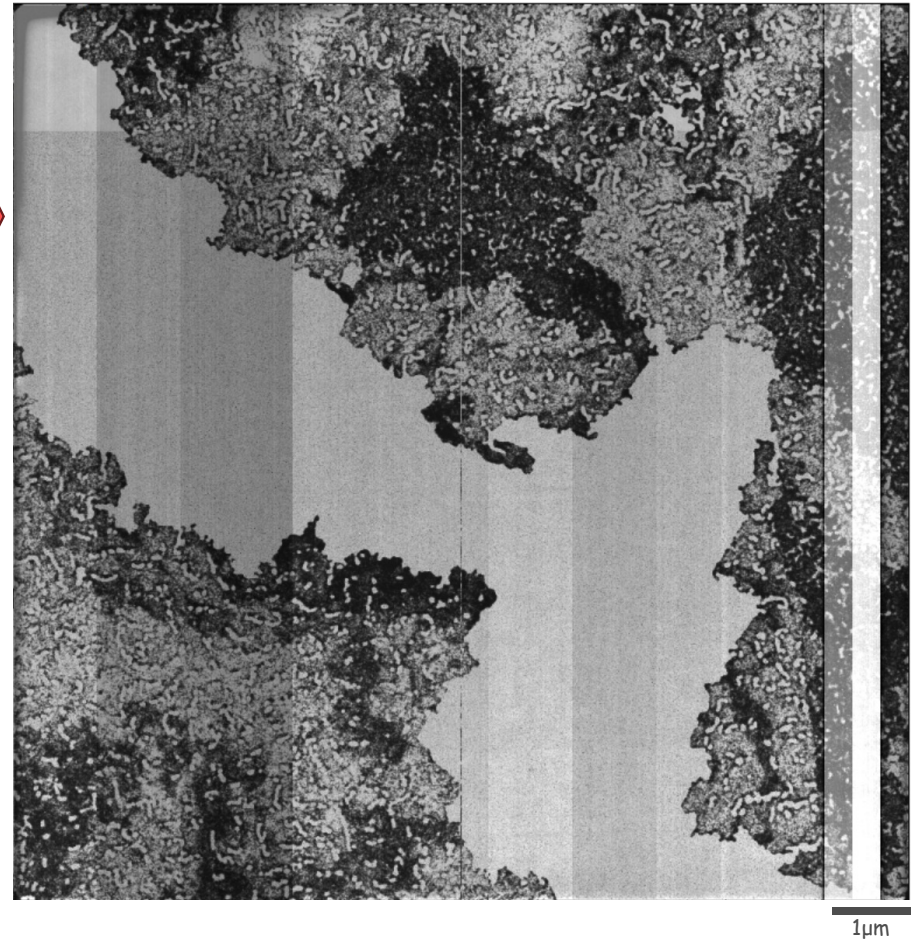


INTPIX4NUHTによるFirst電子顕微鏡画像

120kV TEM
HT7800



INTPIX4NUHT
センサー基板



金単結晶試料の低倍像(加速電圧: 100 kV)

新SOIセンサー読出しボード(SEABAS3)

(SEABAS: Soi EvAluation BoArd with Sitcp 3)

- SEABAS2開発から12年以上経ち、増産が難しく、性能的にも物足りなくなっている。
- 今回32ch アナログ出力、1Megピクセルに対応する為、新たにSEABAS3を開発している。

- ADCのチャンネル数をSEABAS2の16chから32ch対応に増やす。
- ADC分解能を12bitから14bitに拡張。
- ADCの変更・修理に対応しやすくする為ADC回路はmezzanine boardに実装。
- SiTCP Ethernetを1Gbpsから10Gbpsに増強。
- FPGAに外部メモリーを追加し、より高度な処理を行えるようにする。
- ユーザを増やし開発が加速するよう、SEABAS2 Sub-boardも使える上位互換。
- 現在のSOI 1.8V I/O品に対応すると同時に、従来の3.3V I/O品にも対応可能に。
- FPGAの内部ADCを利用した電圧・温度等の環境モニタの追加。
- 基板を縮小、コンパクトにする。

SEABAS3主な仕様

Main board

- FPGA: Kintex-7 (XC7K160T or XC7K325T)
- DAC: 4ch
- Ethernet: 10Gbps
- I/O: CMOS 8本, LVDS 4本
- Memory: DDR3 memory chip(16bit x 512M)
- その他: EEPROM, JTAG I/O, LED 8bit, Sw 8bit, XADC monitor, ...
- Input Power: 12V (PCI express用Universal 電源)
- Board Size: 108mm x 180mm (SEABAS2より小型)

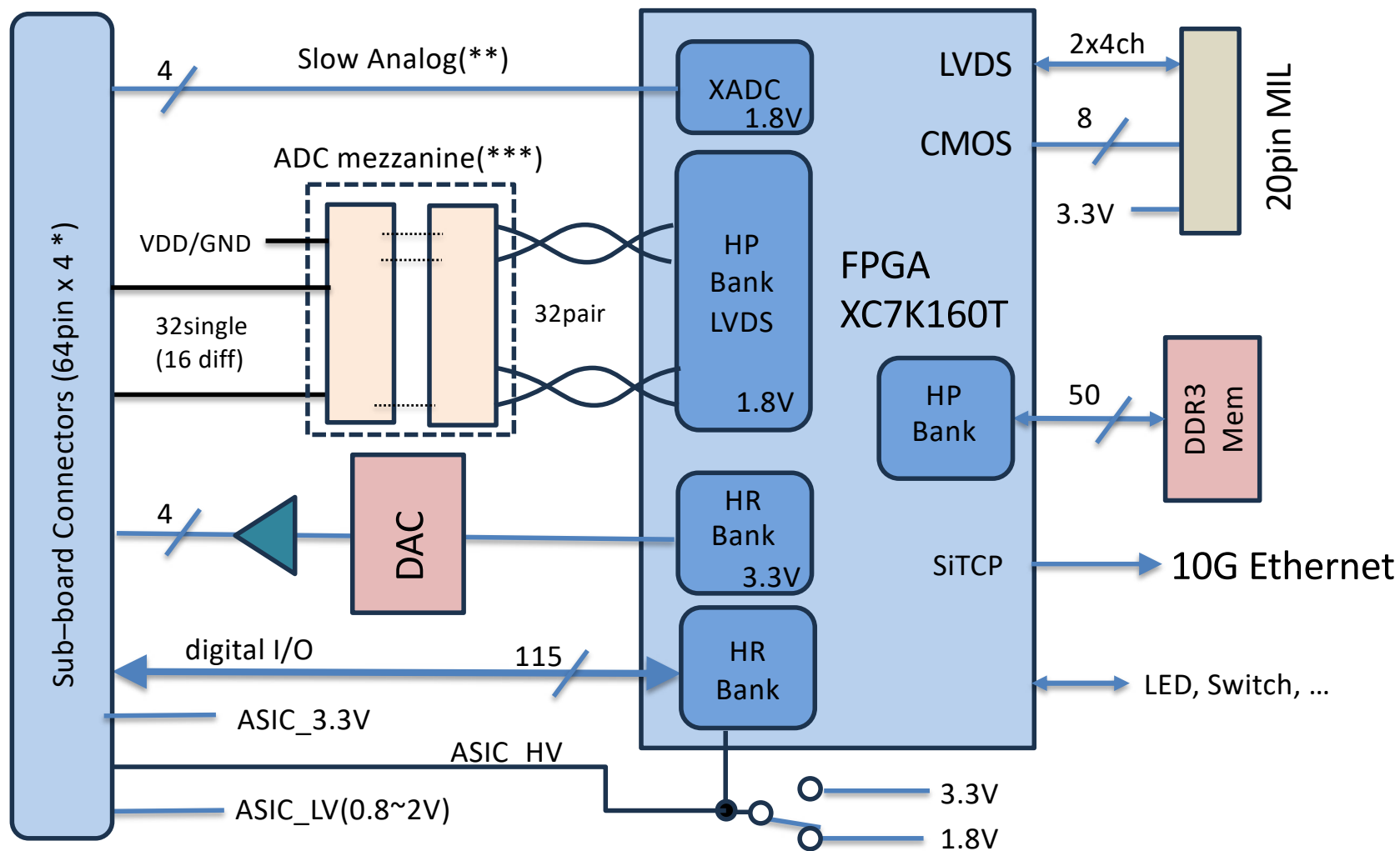
ADC mezzanine board:

- 32ch single end input (board交換で16ch differential/ADC無し等に対応)
- 14bit 40Msps、 input range 0-2V

Sub-board I/F

- SEABAS2 compatible connector: 4
- Power to Sub board : ASIC_LV = 0.8~2.0V, ASIC_HV = 1.8V or 3.3V ,
ASIC_3.3V = 3.3V. I(1.8V) > 2A, I(3.3V) > 0.5A
- Digital I/O (115bit) signal level: 1.8V or 3.3V CMOS

SEABAS3 回路ブロック



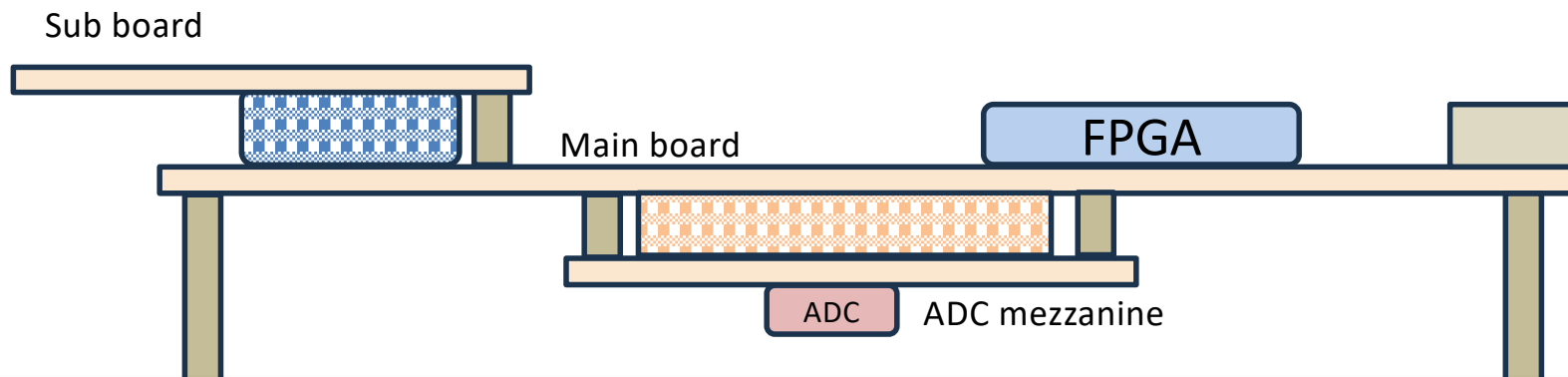
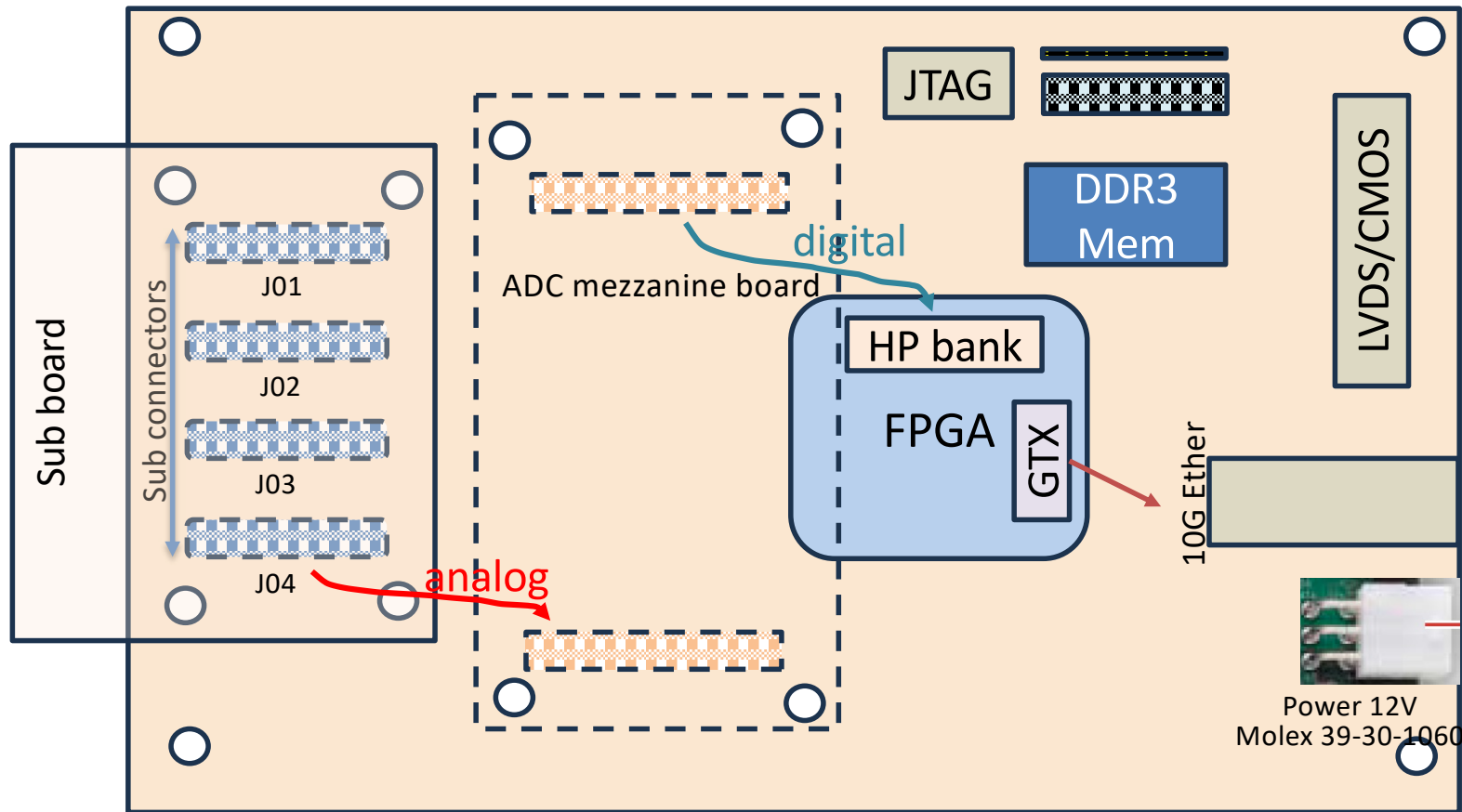
(*) Sub ConnectorsはSEABAS2と上位互換。但し、digital I/OとASIC_HVは1.8V/3.3Vに切替て使用。

(**)温度や電圧のモニタ用のSlow Analog(0-1V)信号は、J03コネクタの1,2,7,8のGNDピンを代用する。

(***) ADC mezzanineは、32ch single end入力とするが、16ch differentialにも対応出来るようにする。また、ADCが不要で信号線をデジタルとして使用する際はスルー接続とする。

SEABAS3 Board Image

108mm x 180mm (SEABAS2より30%縮小)



まとめ

- 電子顕微鏡用センサ・システムとして、SOI技術を用いた新たな大面積センサ—INTPIX4NUHTと読み出し回路SEABAS3を開発中。
- センサからのデータ読み出しに成功、現在詳細な性能評価を行なっている。まだ、歩留まりが悪いので、改良の上再試作を行う予定。
- SEABAS3は今月中に実装基板が完成。FPGAファームウェアの開発を行い、今年度中に完成予定。
- 今後は、画素内にメモリ機能を持たせ、高速撮像が出来るセンサを開発する。

お知らせ

次回MPWランは、2025年5月末の予定。
近々アナウンスを回します。

謝辞

- センサ設計にあたっては、(株)A-R-Tecにお世話になりました。
- センサ製造では、(株)Lapis Semiconductor社にお世話になりました。
- SEABAS3の開発では、(株)Bee Beans Technology社に協力していただいています。
- システム開発は、(株)日立ハイテクとの共同研究のもと、同社の全面サポートにより行なっています。