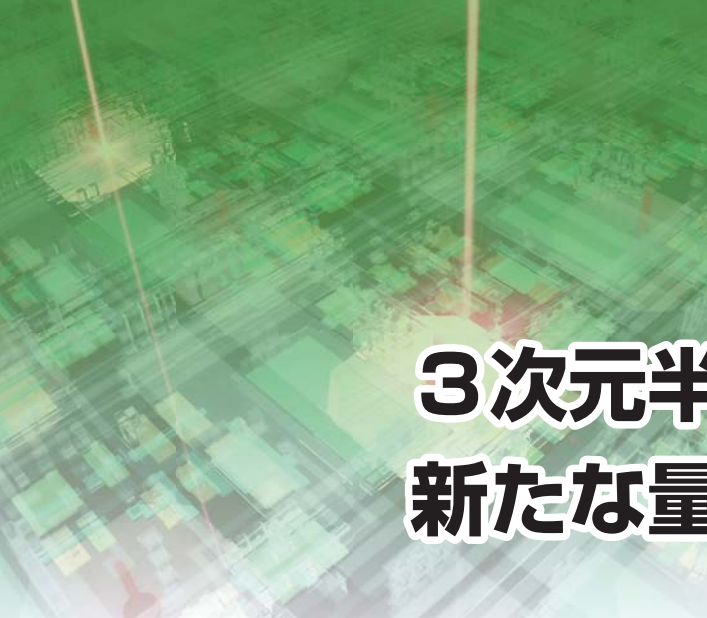




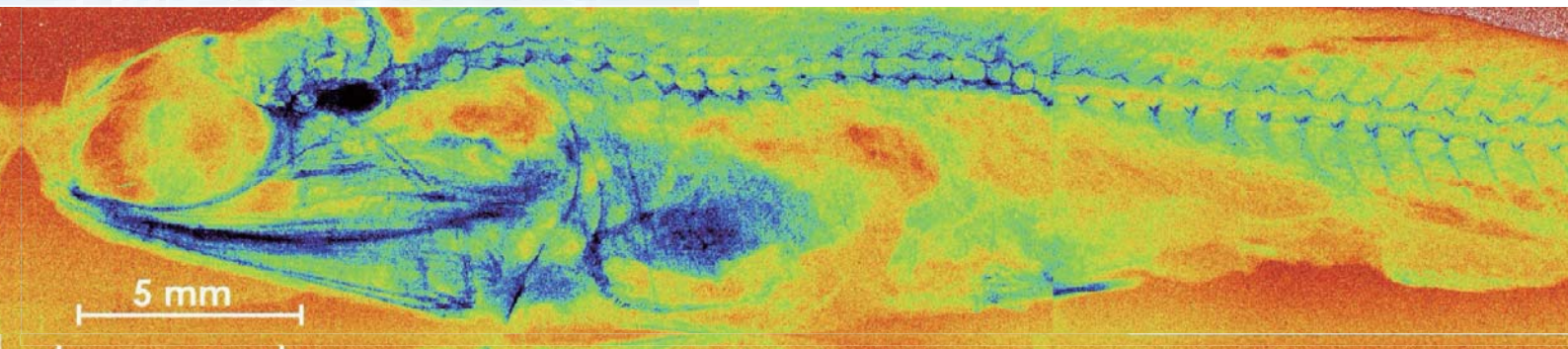
文部科学省科学研究費補助金「新学術領域研究」

3次元半導体検出器で切り拓く 新たな量子イメージングの展開



「見たい」を「見える」に！

～ SOI 検出器で量子イメージングを革新～



領域概要

領域代表挨拶



領域代表
高エネルギー加速器研究機構
素粒子原子核研究所 教授 新井康夫

本新学術領域研究は、量子イメージング検出器技術を核に、宇宙・素粒子・物質構造等様々な分野の研究者が集まって研究を行うというユニークなものです。他の領域研究の様に、特定の科学目標に向かって研究を進めて行く訳ではありません。

ここでは、Silicon-On-Insulator (SOI) 技術をベースにした新たな検出器開発を共に進めながら、それぞれの分野のエキスパートが独自の検出器を設計し、サイエンスのブレークスルーを目指します。残念ながら我が国の科学研究においては、海外で開発された測定器を単に購入して使用する事が多くなってしまっています。しかしながら、真に研究の革新を目指す際には、その検出原理を細部にわたるまで熟知し、検出器の設計を研究者自らの手で行っていく必要があると私達は考えています。

もちろん、この為には研究者のみならず、様々な企業が持っている最先端の技術力を借りる等、多くの方の協力が必要です。また、日本のみならず世界中の研究者と協力することも重要です。新たな検出器を開発すると言う事は、短時間でできる事ではありません。我々はこのような研究に情熱を持った若手研究者を一人でも多く育成し、将来の日本の科学技術力の向上にも貢献したいと思っています。本領域研究では、このように人や技術を結集し、世界に誇れる成果を残したいと考えています。

皆様の暖かいご支援を心よりお願い申し上げます。

「見たい」を ～SOI検出器で量子

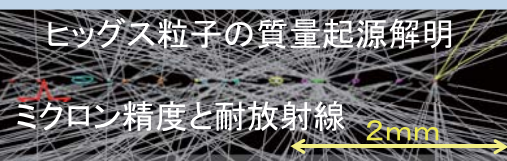
広範囲の科学研究に展開し、

素粒子イメージング

ヒッグス粒子の質量起源解明

ミクロン精度と耐放射線

2mm



128x128(目標)

1.8K動作 多画素

遠赤外

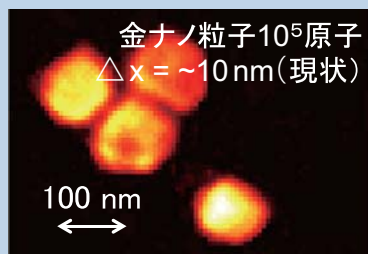
星と銀河の進化



金ナノ粒子 10^5 原子

$\Delta x \sim 10$ nm(現状)

100 nm



極限環境

高強度

XFEL
フェムト秒と1nmの解像度

● 領域概要

本領域研究「3次元半導体検出器で切り拓く新たな量子イメージングの展開」(平成25年度～29年度)では、SOI技術を中心とした最新半導体技術を使った検出器開発を通じて、新たな量子イメージング測定手法を開拓し、素核・宇宙・物質・生命科学等のサイエンスにブレークスルーをもたらす事を目的としています。

SOI積層ウエハー技術を用いる事により、センサーと読み出し回路とを3次元的に一体化させた半導体検出器を作る事が出来ます。さらにSOIの持つ2つの活性層を活かした新機能素子やSOIの極低温動作特性を活かした研究

「見える」に！ イメージングを革新～

サイエンスに革新をもたらす



図1：本新学術領域の目指すもの

も行います。これらにより、様々な量子ビーム（光、赤外線、X線、電子線、荷電粒子等）に対する高度な量子イメージング測定技術を発展させます。

本領域には、半導体検出器開発に興味を持つ研究者と、既存のイメージング装置に限界を感じている研究者が多数参加しています。技術開発を中心とした2つの計画研究（A01, A02班）、新たなサイエンスの展開を目指す6つの計画研究（B01～D02）、さらに公募により採択した7つの研究が一体となり領域研究を進めています。

【本領域の目的】

目に見えないX線・赤外線・荷電粒子等の放射線は波としての性質と同時に、個々に量子としての性質を持っています。これを超微細画素の3次元半導体センサにより捕え、新たな構造の発見や知見を得る事を目指すのが本領域の目的です。

これを実現する為に、本領域では半導体技術者と宇宙・素粒子・物質生命等さまざまな分野の研究者等が一体となり（図1）、産業界の最先端技術を活用しながら、研究開発を進めて行きます。

【本領域の内容】

二種類のシリコン層を張り合わせた半導体基板技術（SOI: Silicon-On-Insulator）をベースに、高感度量子イメージセンサと集積回路とを3次的に一体化させた検出器技術を開発します（図2）。

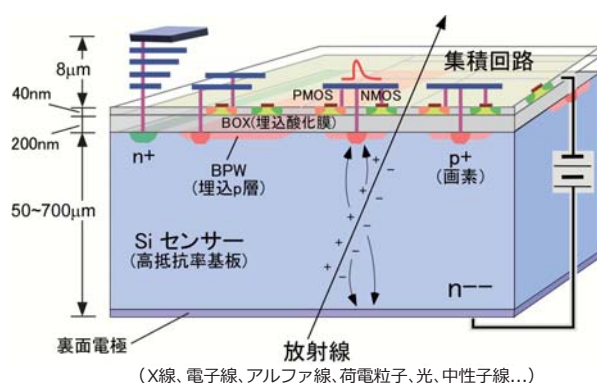


図2：SOI量子イメージング検出器構造

SOIイメージング検出器では、センサ構造と回路とをそれぞれ最適化しながら、一体として半導体微細加工技術で製造することが出来ます。また2つのシリコン活性層を利用することで、極低ノイズで単一量子の検出を行うなど、従来型デバイスでは実現できなかった新たな機能の実現を目指します。

さらにSOIは極低温でも動作する特性をもっており、これを活かした遠赤外線の測定や、超伝導素子と組み合わせた検出器も実現します。

このように開発した検出器は、実際の研究プロジェクトに用いる事で評価を行い、さらに次世代の研究へと繋げて行きます。

【期待される成果と意義】

科学の大きな飛躍の際には、しばしば新たな測定技術が端緒となります。従来の我が国の研究では、海外から輸入した測定器技術に頼る事も多いのですが、SOI検出器では先端実験に臨む研究者自らが検出器開発に携わり、様々なアイデアを実現する事が出来ます。

このようにして日本発の新たな革新的検出器の創出と測定手法を開拓する事で、各分野において世界をリードする研究が可能となります。

また、従来から行われているような測定に於いても、SOI技術を用いる事でより小型・高性能な検出器の利用も可能となります。

計画研究

研究項目

- A01 SOI 3次元ピクセルプロセスの研究
- A02 SOI 技術を用いた極低ノイズ・高速イメージングデバイスの研究
- B01 宇宙最初期ブラックホールの探査研究を実現する衛星搭載X線精密イメージングの開拓
- B02 ダストに隠された宇宙の物質進化を暴く極低温 SOI 赤外線イメージングの開拓
- C01 高輝度加速器実験のための素粒子イメージング
- C02 X線自由電子レーザーによる超高速ナノ構造解析用検出器
- D01 放射光を用いた空間階層構造とダイナミクス研究のためのイメージング
- D02 投影型イメージング質量分析による迅速で高解像度な生体内分子イメージング

A01 班

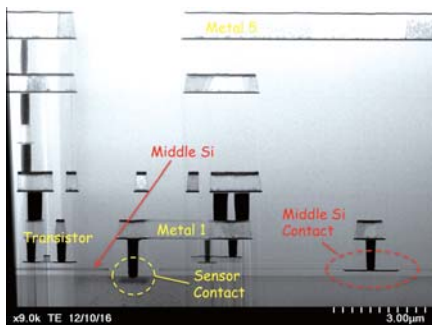
SOI 3次元ピクセルプロセスの研究

本計画研究はこの領域のコアとなる研究のひとつで、SOI 基板を用いた量子イメージングデバイス用半導体プロセス開発を目的としています。プロセスは商用の 0.2 μm CMOS Fully-Depleted SOI プロセスを元に独自に改良を加えていきます。プロセス後の検出器の断面写真を右図に示します。

本研究班はこのプロセスを用い、多数の設計を載せた Multi Project Wafer (MPW) ランを主催し、各計画研究で必要とする検出器開発の機会を提供する役割も担います(下右図)。同時に、他研究班への技術アドバイス、人材育成のための教育も行います。

この他次に示すような研究も行っています。

- 低リーク電流、高感度センサーに向けたウエハー・プロセス開発、
- 高放射線耐性構造、高集積化、大面積化へ向けた研究、
- Si 貫通ビアによる多層検出器の実現に向けた研究開発、
- 3次元回路実装技術の研究。



SOI プロセスで作成した検出器の断面図



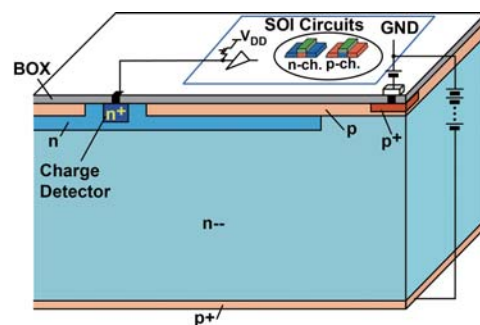
MPW ランで試作したチップのウエハー写真

A02 班

SOI 技術を用いた極低ノイズ・高速イメージングデバイス

デバイスプロセスを開発する A01 班と連携しながら、B、C 班の研究成果を測をえ、その性能を飛躍的に高めるための要素技術について研究しています。pinned SOI pixel (BPSPIX) 構造があります。SOI 層のバックゲートによって発生したキャリアを中央の微小な電荷検出部に集める電荷検出器となり得ます。その他、量子線の到来に基づいて回路を動作させるイベント駆動型検出回路をより低ノイズかつ広ダイナミックレンジで実現するセル、時間デジタル変換技術等について研究開発を進めています。

イベント駆動型検出回路をより低ノイズかつ広ダイナミックレンジで実現するセル、時間デジタル変換技術等について研究開発を進めています。



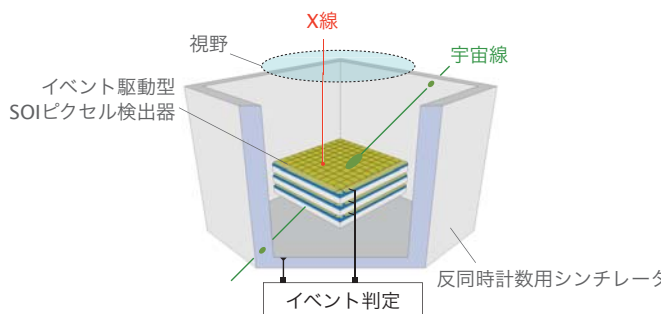
構造図

Backgate Pinned SOI Pixel (BPSPIX): SOI のバックゲート部と裏面の両方に pn 接合を形成、パンチスルーを抑えながら SOI 層のバックゲート電位を安定化します。

B01 班

宇宙最初期ブラックホールの探査研究を実現する衛星搭載X線精密イメージングの開拓

宇宙最初期に誕生する超巨大ブラックホール「ファーストブラックホール」の探査が最終目標です。これを達成するためには微弱な天体の X 線とヒット位置情報が出力可能な「イベント駆動型 SOI ピクセル検出器」を開発し、その優れた時間分解能によってこれを実現します。さらに、厚い空乏層と裏面照射による広帯域性能、ファノ限界を超える精密分光、広視野かつ高解像度での撮像を実現します。



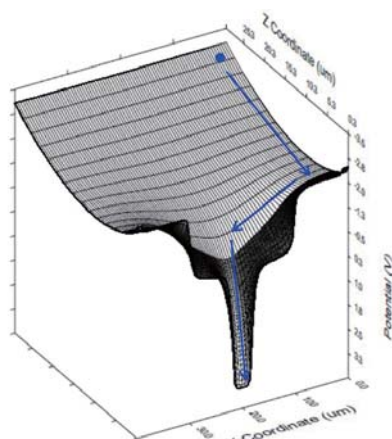
撮像分光システムの構想図

イベント駆動型 SOI ピクセル検出器では、各ピクセルに比較器回路を内蔵します。これにより CCD では不可能な反同時計数を行うことができ、バックグラウンドを飛躍的に低減することが可能となります。

デバイスの研究

D 班のサイエンス領域でなされる高エネルギー物理に関する先端計研究を行います。最近提案したその重要技術の一つに、Backgateエレクトロンの電位を固定して SOI 回路の動作を安定化しながら、量子線に位置分布を形成することで、超高感度で超精密なエネルギー計測が可能です。

レンジで行う回路技術、高い時間分解能で計測するロックインピク



電位分布図

PBSPiX の 2 次元電位分布：基板を全空乏化させることにより、中央の電荷収集部にキャリアを集め、また SOI バックゲートからの電位障壁を確保した電位分布が形成されます。

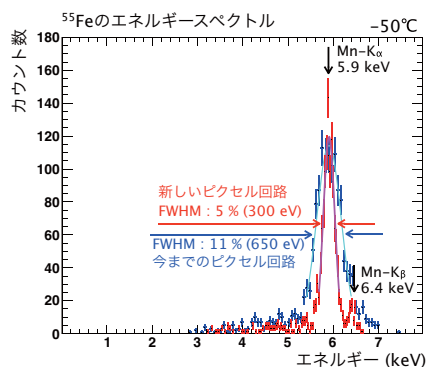
衛星搭載 X 線精密イメージングの開拓

「バックホール」を探索・研究し、銀河も含めた形成と進化を読み解く X 線精密分光撮像が不可欠です。我々は、イベント検出のタイミング

換
。こ



反同時計数によるバックグラウンドの改善



新ピクセル回路による分光性能向上： ^{55}Fe の $\text{Mn-K}\alpha$ ・ $\text{Mn-K}\beta$ の輝線の分離が可能となります。

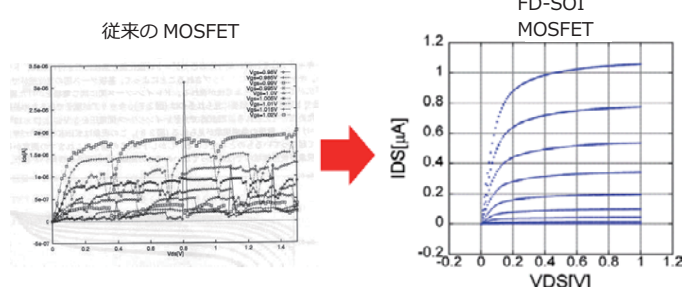
B02 班

ダストに隠された宇宙の物質進化を暴く 極低温 SOI 赤外線イメージングの開拓研究

星間塵による吸収の影響を受けず、星の生成や銀河の進化を正確に評価できる遠赤外線イメージセンサーは、光赤外線天文学では極めて重要なデバイスです。しかし、この波長帯では、国内・海外を含めて、十分な性能を持つイメージセンサーの開発例が無く、観測が進んでいません。我々は、この状況を、二つのブレークスルー、すなわち、

- 1) 表面活性化ウエハ接合技術と分子線結晶成長技術を用いて開発した、高性能遠赤外線検出器「p+i 構造赤外線検出器」と、
- 2) FD-SOI CMOS プロセスを用いて開発した「極低温動作読みだし集積回路」により打破し、本格的な赤外線イメージセンサーを開発します。

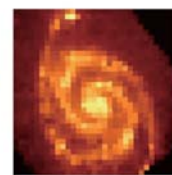
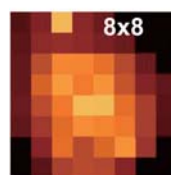
電流電圧特性（極低温）



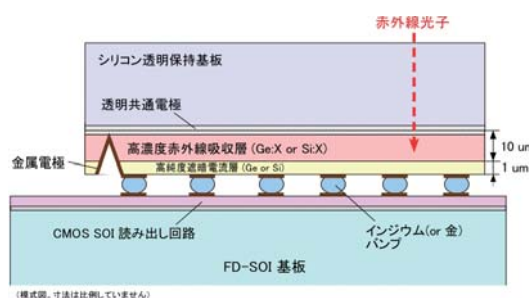
読み出し集積回路のための極低温（＜ 4K）環境：従来の MOSFET は動作不能であるが（左図）FD-SOI MOSFET ではその動作が実証されました（右図）。

あかり衛星時代
(2006年)
(3×20=60素子)

SPICA 時代
(2025年予定)
(32×32素子)



「遠赤外線」は最後の未開拓波長領域で「多画素画像センサー」を開発し、高解像度画像より、ダストに隠された銀河のエネルギー源を明らかにします。



SOI 読み出し回路を 3D 技術を用いて接続した、多画素赤外線イメージセンサー

C01 班

高輝度加速器実験のための素粒子イメージング

LHC アップグレード・ILC に代表される、現在計画中の高エネルギー加速器物理学実験では、目的とする物理事象の発生頻度が極めて低いため、加速器の高輝度化が必須となっています。素粒子の発生・崩壊を測定するためのバーテックス検出器に対しては、この環境であっても、高い粒子検出効率・位置分解能・時間分解能、さらに長期間運転に耐える耐放射線性が要求されます。この要請をみたす素粒子イメージングデバイスとしては、粒子軌跡センサーとサブミクロン CMOS 電子回路をモノリシックセンサーとして形成する SOI 技術が最適です。

次世代高エネルギー加速器実験 HL-LHC/ILC では、高エネルギー・高輝度の加速器実験により素粒子質量の謎にせまります。そこでは荷電粒子飛跡検出器（バーテックス検出器）が粒子を



識別し反応を理解するための中心的な役割を果たします。

そのためにピクセルの微細化により位置分解能を向上させ、ヒットの重なりを減らします。さらにセンサーの薄化(50 μm 以下)により粒子測定への影響（多重散乱）も減らします。

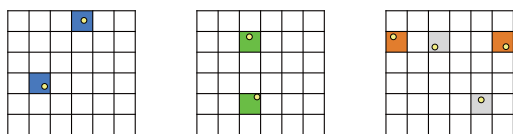
SOI 技術によりセンサーと CMOS 電子回路が集積できるためシリコンセンサー内で発生する信号を高効率・高精度で増幅し信号処理します。これにより時間分解能が向上し異なるタイミングの事象を分離することが可能になります。また高速読み出し回路により大量の情報をロス無くデータ収集システムに転送します。

高エネルギー高輝度加速器実験にとって重要な耐放射線性能をセンサーと CMOS 回路との干渉を減らすための Double SOI 構造の最適化により達成します。

本研究では、研究期間である 5 年の間に、十分な耐放射線性能・位置分解能・そして読み出し機能を持つ SOI デバイスを開発し、次世代高エネルギー実験で用いるだけの性能を持つことを実証します。



ピクセルサイズの小型化で、位置分解能向上に加え、空間的に重なる信号が分離できる。



さらに時間分解能の向上で、異なる時間に発生した事象の分離が可能になる。

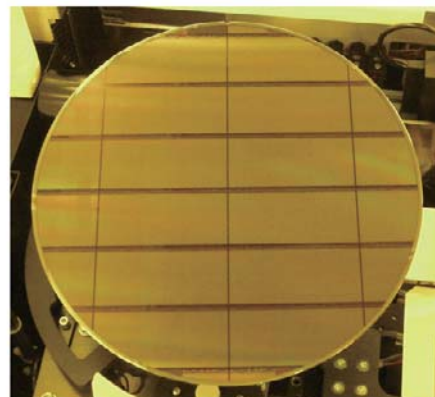


開発される SOI ピクセル検出器による高精度崩壊点検出能力と高時間分解能で、複雑に多重化したビーム衝突事象から、ヒッグス粒子や未知の粒子を見つけ出します。

C02 班

X 線自由電子レーザー (XFEL) による超高速ナノ

フェムト秒領域からミリ秒オーダーまでの動力学の理解は、科学・生命科学において極めて重要です。X 線自由電子レーザーは、フェムト秒分解能でナノ構造情報を直接取得できる手法です。しかし、従来の X 線自由電子レーザーでは、空間分解能が制限されたものになっています。本研究では SOI ピクセル検出器により空間分解能、試料適用範囲を飛躍的に拡大し、XFEL による



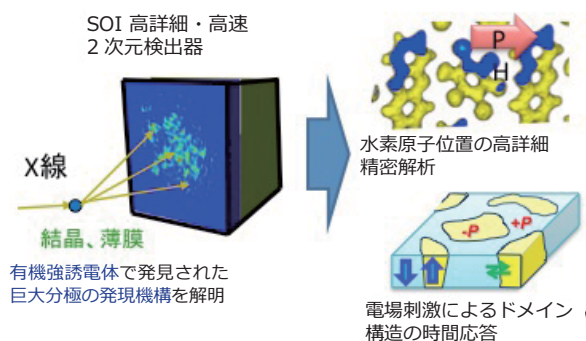
開発中の大面積センサー SOPHIAS
(Silicon-On-Insulator PHoton Imaging Array Sensor)
(66mm×33mm)

D01 班

放射光を用いた空間階層構造とダイナミクス研究

放射光を用いた空間階層構造とダイナミクス研究のため、高精密・高速ピクセル検出器は有機強誘電体などの先端的機能性原子の位置の特定や分極構造の電場による応答を 1 μs オーダーで結晶化できない生体分子や細胞内構造を調べるには SOI イメージングレベルを持つ原子に着目して構造を調べるため、軟 X 線でも十分な

先端的機能性物質（有機強誘電体）の研究

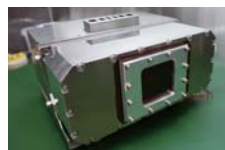


構造の空間・時間変化を精密に捕らえるため、高精密（30 μm ピクセル）・高

構造解析用検出器

材料・生命分子などの機能の根源を理解することにつながるため物質一(XFEL)を利用したコヒーレントX線回折顕微鏡(CDI)は、フェしながら検出器を含む測定技術の限界によって得られる手法で情報が器技術を基盤としXFEL用の新たな検出器技術開発を行います。これらの物質科学・生命科学分野の研究を加速します。

XFEL用広ダイナミックレンジ検出器 SOPHIAS (SOi PHpton Imaging Array Sensor) の開発



Prototype of SOPHIAS Dual sensor Detector



SOPHIAS mounted on Ceramic package

Target Specifications of SOPHIAS

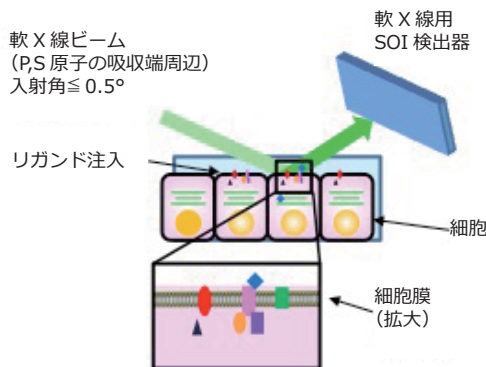
Pixel Size	30 μm X 30 μm
Pixel Number	1.9 M
Frame Rate	60 frame/sec
Noise	150 e-rms
Depletion Depth	500 μm @VHV=200V
Peak Signal	7 Me-/pixel
Photon Energy limitation	< 7 keV
Gain	High : 7.2uV/e Low : 0.15uV/e H:L=50:1

ここでは1光子 $\sim 10^8$ 光子/ショット/画素の計測が必要です。SOPHIASは、(1)画素内の電荷収集電極の複数化、(2)画素内回路の多ゲイン化、により超広ダイナミックレンジを実現します。

のためのイメージング

精細・高速・高感度のX線イメージング用SOI検出器を開発します。物質研究に大いに役立ちます。巨大分極発現にかかわって重要な水素で調べることを目標とします。放射光X線マイクロビームを使ってング検出器の高精細・高速性が威力を発揮します。数keVにエネルギー感度を持つ高感度検出器を実現します。

細胞膜近傍の構造変化を捉える



速 (1マイクロ秒毎に動的撮影)・高感度 (軟X線) のX線検出器を開発する。

D02 班

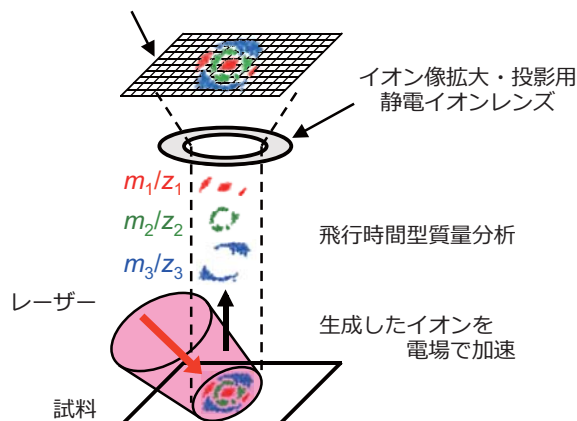
投影型イメージング質量分析による迅速で高解像度な生体内分子イメージング

質量分析を用いて質量毎に分離した様々な物質の空間分布を同時に測定するイメージング質量分析 (imaging mass spectrometry; IMS) のための、イオンの衝突位置と時間を同時に高空間分解能・高時間分解能かつ高頻度で検出可能なSOI検出器を開発します。これにより実用的な投影型イメージング質量分析が可能になり、迅速で高解像度な生体分子イメージングへの道が拓かれます。バイオ・医療分野では病理研究や迅速な病理診断、放射性物質の体内動態の測定などへの応用が期待できます。さらに、医薬品業界では新薬開発の高効率化が期待でき、工業分野でも新たなアプローチでの有機電子デバイス開発などが可能になると予想されます。

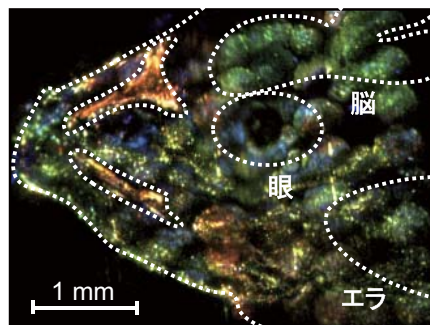
空間分解能1 μm の分子イメージングを実現することで上記目的を達成します。

飛行時間と入射位置を同時に測定可能なイオン検出器

(現状では1 μs に1個のイオンしか検出できない)



Csを取り込ませたメダカ頭部の測定結果



青: $\text{Cs}^+ (m/z=133)$, 赤: $\text{Na}^+ (m/z=23)$, 緑: $\text{K}^+ (m/z=39)$

全ピクセルが同時に時間分解能1nsで動作可能なSOIイオン検出器の開発で生体内分子の迅速なイメージングが可能になる

公募研究

平成 26-27 年度の公募研究を紹介



Fermi 国立加速器研究所 (USA)
での研究会

研究項目

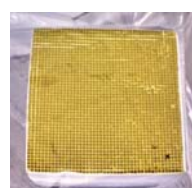
- A01- I 高分解能検出器の開発および応用
- A01- II ワイドレンジプラズモンフィルタを実装した SOI 量子イメージセンサの開発
- A02- I 軟 X 線用の背面反射回折環二次元イメージング機構の開発
- A02- II 究極のエネルギー分解能を持つ大面積 X 線検出器の開発
- B01- I XRPIX の位置分解能向上と G2 格子不要の X 線タルボ干渉計の開発
- B01- II 中性子星の磁場構造を解き明かす X 線偏光イメージャーの開発研究
- C02 SOI 技術を用いたイメージセンサの重粒子線への応用

A01- I 班

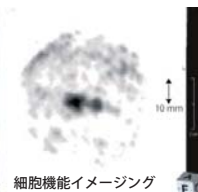
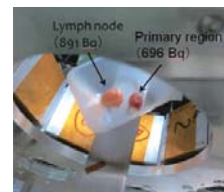
高分解能検出器の開発および応用

(SOI 技術とシンチレータアレイ技術を融合した超高分解能イメージングデバイスの開発研究)

医療用 PET や SPECT 等の分子イメージングや環境放射能のイメージングの高度化には高位置分解能、時間分解能を持つγ線検出器が必須となっており近年ピクセルの微細化に伴い光センサの高度化が望まれています。このような用途において集積回路技術とセンサを集積可能な SOI 検出器が有望です。本研究では共晶体を含む微細結晶アレイ技術と SOI 技術の融合により、荷電粒子および X 線~γ線領域での相互作用を検出する複合基盤技術の研究開発を行います。回路部の可用性が高い SOI 検出器技術により時間領域での信号処理を利用することで高バックグラウンド下で動作可能な荷電粒子センサや散乱イベントにおける相互作用を検出する新たな検出器技術の開発研究および高精度化を行い、医療や環境応用を加速します。

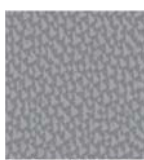


微細結晶アレイ技術

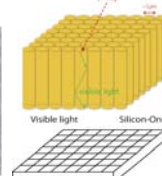


細胞機能イメージング

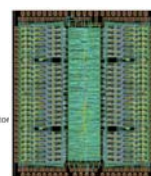
*K. Shimazoe et.al. NIMA 2014



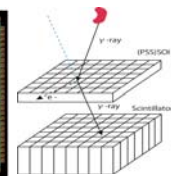
共晶体結晶化技術



SOI 基盤技術



ASIC(集積回路)技術



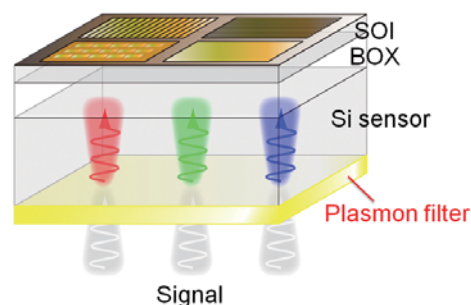
高位置、時間分解能の実現

A01- II 班

ワイドレンジプラズモンフィルタを実装した SOI 量子イメージセンサの開発

本研究は、紫外域から赤外域にかけて波長選択性の高いイメージセンサを開発することを目的とします。吸収中心波長、波長帯域を制御したプラズモンフィルタをイメージセンサにオンチップ形成することにより、色純度の極めて高いイメージセンサを実現します。プラズモンフィルタは金属をナノ加工することにより得られます。従来金属は不透明であり、電極やミラーとして用いられますが、金属にナノサイズの凹凸構造と開口を作製することにより、特定波長域において光を透過するようになります。プラズモンフィルタを SOI 基板部にオンチップ形成し、SOI 基板をセンサとし(裏面照射型)、薄膜 SOI に検出回路を集積化した 3 次元構造とします。プラズモンフィルタは、金属で形成されるため、SOI 基板部にオンチップ形成することにより、ゲート電極としても併用されます。プラズモンフィルタは、感度、色純度、光クロストークにおいて優れており、紫外や近赤外にも適用可能なこれまでにないフィルタを開発することは、イメージセンサの進展において非常に意義深いことです。

プラズモンフィルタ搭載 SOI イメージセンサ

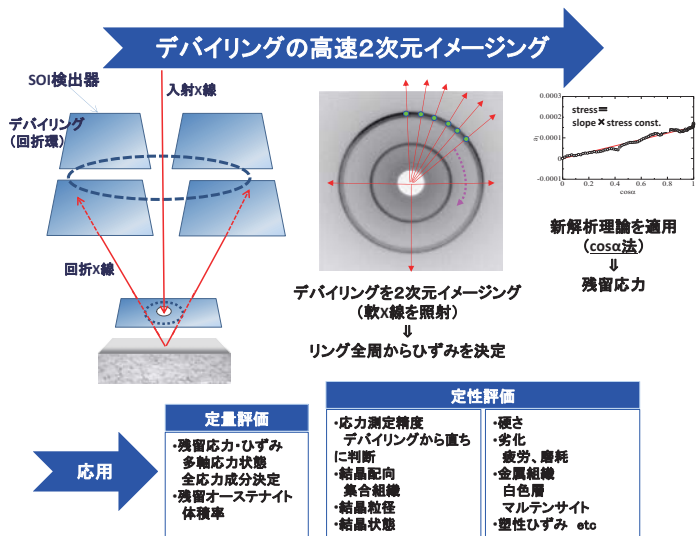


A02- I 班

軟 X 線用の

背面反射回折環二次元イメージング機構の開発

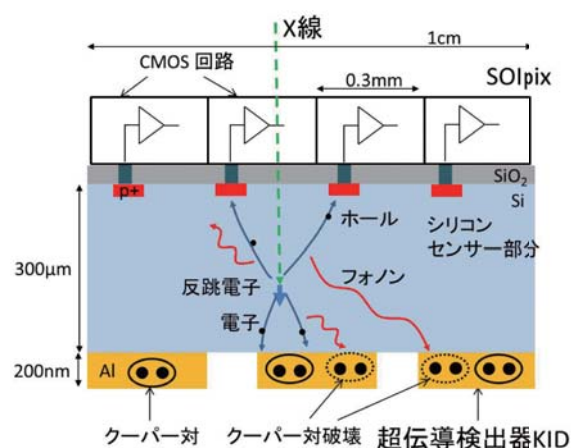
SOI 技術の応用の一つとして、機械金属部品の製造過程や構造物の保守検査に利用することを目指しています。これらの測定対象は、微細な結晶粒からできており、X 線を当てると円環状に X 線を反射させ(デバイリング)、これを計測して解析すると、残留応力や結晶状態などが判明し、材質や耐久性の評価に役立ちます。従来から X 線応力測定法(X 線回折法)として利用されてきた技術ですが、計測時間や評価精度、現場適用の面にやや制約がありました。SOI 技術によれば、回折 X 線の 2 次元情報をより効率的かつ高速に取得可能となります。本研究では、この技術の心臓部となる X 線検出器部分に SOI 技術を適用することを計画しています。



A02- II 班

究極のエネルギー分解能を持つ大面積 X 線検出器の開発

本研究は、高いエネルギー分解能を持つ超伝導検出器の一種である KID (Kinetic Inductance Detector) と、0.1mm の位置分解能を持つ SOI ピクセル検出器を組み合わせることにより、半導体検出器の 5 分の 1 のエネルギー分解能を持つ 100mm² の大面積 X 線検出器の開発を行います。通常の SOI ピクセル検出器の裏面の Al 膜に、KID のパターンを形成することにより、SOI ピクセル検出器では電離で生じたホールを、KID では非熱的フォノンを同時検出します(右図)。超伝導検出器が稼働する極低温(0.3K)でも、SOI の CMOS 回路は動作し、センサー部分と一体になっていることが大きな強みです。本研究開発が成功すれば、放射光施設による非平衡科学物理や元素分析といった物性実験のみならず、暗黒物質探索やニュートリノの絶対質量測定といった素粒子・宇宙分野における新規な実験も可能となります。



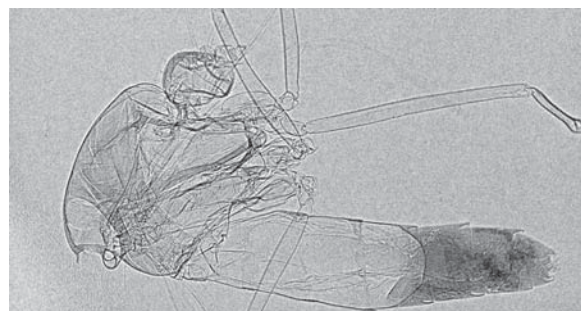
B01- I 班

XRPIX の位置分解能向上と G2 格子不要の X 線タルボ干渉計の開発

X 線タルボ干渉計は、近年急速に進展している位相コントラスト撮像法の一手法です。X 線源として工業用のマイクロフォーカス X 線源を使用することも可能であること、2 枚の回折格子と X 線検出器を使用した単純な構成で実現できることから、医療用途などにむけた実用化の最前線にいます。ただし、検出器直前におく回折格子(G2 格子)は硬 X 線を吸収する素材を細密に加工する必要があります。

高い位置分解能の X 線検出器を用いることができれば、原理的には G2 格子は不要となるはずですが。本研究では、B01 班で開発中の XRPIX を用いて G2 格子を用いない X 線タルボ干渉計を実現することを目的とします。

XRPIX を特徴をいかし、強い X 線強度においても光子計数モードで動作させます。X 線 1 個 1 個のイベントに対して、検出器中での電子雲のひろがりを利用し、サブピクセルの位置分解能を実現させます。X 線 CCD を用いて 1 時間かけて撮影した右のような写真に対して、短時間で試料全面にわたる微細コントラストを得られることが期待されます。

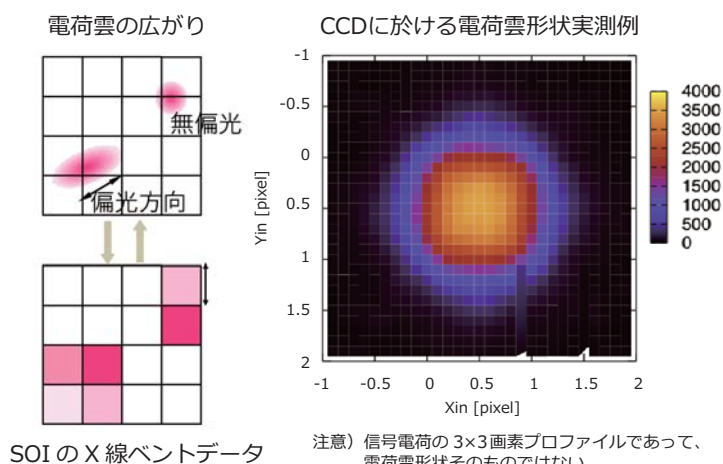


X 線 CCD フラックスモードで撮影した蚊のエッジコントラスト写真
(文原篤史 2008 年度阪大修士論文～p62)

B01- II 班

中性子星の磁場構造を解き明かす X 線偏光イメージャーの開発研究

中性子星は宇宙で最も高密度な物質で、強い磁場 ($>10^{13}\text{G}$) を持ちます。その詳細な磁場構造については未だ謎のまま、磁場構造を直接観測するためには偏光検出が非常に有用ですが、X 線での偏光ベクトルの撮像は未だ実現していません。X 線パルサーにおける偏光パルスの検出とイメージングが実現できれば、中性子星の磁場構造の詳細が明らかになり、中性子星の内部構造の解明に大きな進展をもたらします。本研究では、X 線 CCD の性能を維持しつつ、高い計数率に対する困難を解決し、X 線の偏光検出を実現する新しい X 線イメージャーの実現を目指します。このための基礎実験として、光電子放出方向の異方性をトレースした偏光検出器を開発するため、検出器内部での電荷雲形状を測定します。



C02 班

SOI 技術を用いたイメージセンサの重粒子線への応用

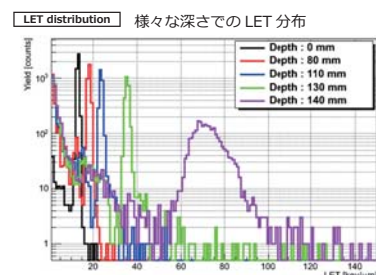
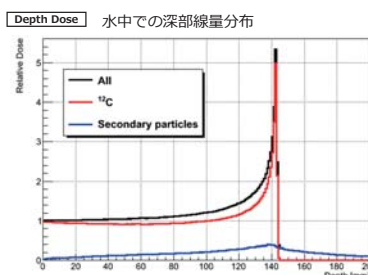
炭素線を用いた重粒子線がん治療は、より患者の“生活の質 (QOL)” を重視した低侵襲のがん治療法として近年大きな注目を集めています。実際の治療では、加速された炭素線が様々な機器を通過する過程で様々なエネルギーの放射線が混在し、治療用炭素線場を形成しています。この線質はビームライン機器や体内の物質によって変化します。本研究では、治療用炭素線場の物理線量・線質を同時に測定でき、臨床線量の直接推定が可能な SOI 技術を用いたイメージセンサを新たに開発し、炭素線場応答を含めた性能評価を行います。これにより炭素線場の理解を飛躍的に向上させる計測基盤技術を確立することを目的とします。

がん治療用重粒子線 (炭素線) の線量・線質の同時測定が可能、かつ高い空間分解能を有する SOI イメージセンサの開発

治療用炭素線場の新たな知見

- ・より高精度ながん治療へ
- ・極小標的用の装置の開発、QA/QC
- ・トラック構造の理解

媒質中で線質が大きく変化する炭素線



第 3 回 新学術研究会 (金沢工業大学にて)

● 計画研究班

X00	代表	新井 康夫	(KEK 素粒子原子核研究所)
	分担	幅 淳二	(KEK 素粒子原子核研究所)
	分担	三好 敏喜	(KEK 素粒子原子核研究所)
A01	代表	新井 康夫	(KEK 素粒子原子核研究所)
	分担	三好 敏喜	(KEK 素粒子原子核研究所)
	分担	井田 次郎	(金沢工業大学工学部)
	研究員	山田 美帆	(KEK 素粒子原子核研究所)
A02	代表	川人 祥二	(静岡大学電子工学研究所)
	分担	安富 啓太	(静岡大学電子工学研究所)
	分担	池辺 将之	(北海道大学情報科学研究科)
	分担	香川 景一郎	(静岡大学電子工学研究所)
B01	代表	鶴 剛	(京都大学大学院理学研究科)
	分担	森 浩二	(宮崎大学工学教育研究部)
	分担	幸村 孝由	(東京理科大学理工学部)
	分担	田中 孝明	(京都大学大学院理学研究科)
	連携	中嶋 大	(大阪大学大学院理学研究科)
	研究員	武田 彩希	(京都大学大学院理学研究科)
B02	代表	和田 武彦	(JAXA 宇宙科学研究所)
	分担	金田 英宏	(名古屋大学大学院理学研究科)
	連携	渡辺 健太郎	(東京大学先端科学技術センター)
	連携	中屋 秀彦	(国立天文台)
	連携	池田 博一	(JAXA 宇宙科学研究所)
C01	代表	坪山 透	(KEK 素粒子原子核研究所)
	分担	原 和彦	(筑波大学数理解物科学研究所)
	分担	幅 淳二	(KEK 素粒子原子核研究所)
	分担	外川 学	(大阪大学大学院理学研究科)
	分担	石川 明正	(東北大学大学院理学研究科)
	連携	花垣 和則	(大阪大学大学院理学研究科)
	連携	田窪 洋介	(KEK 素粒子原子核研究所)
	研究員	小野 峻	(大阪大学大学院理学研究科)
C02	代表	初井 宇記	(理化学研究所 XFEL)
	分担	桐原 陽一	(理化学研究所 XFEL)
	分担	工藤 統吾	(理化学研究所 XFEL)
	分担	阿部 利徳	(高輝度光科学研究センター)
	分担	寺西 信一	(兵庫県立大学高度産業科学技術研究所)
	連携	亀島 敬	(高輝度光科学研究センター)
D01	代表	岸本 俊二	(KEK 物質構造科学研究所)
	分担	五十嵐 教之	(KEK 物質構造科学研究所)
	分担	熊井 玲児	(KEK 物質構造科学研究所)
	連携	足立 伸一	(KEK 物質構造科学研究所)
	連携	清水 伸隆	(KEK 物質構造科学研究所)
	研究員	橋本 亮	(KEK 物質構造科学研究所)
D02	代表	粟津 邦男	(大阪大学大学院工学研究科)
	分担	間 久直	(大阪大学大学院工学研究科)
	分担	青木 順	(大阪大学大学院理学研究科)
	研究員	本堂 敏信	(大阪大学大学院工学研究科)
	研究員	松岡 久典	(大阪大学大学院工学研究科)
	連携	豊田 岐聡	(大阪大学大学院理学研究科)

● 公募研究班

A01-I	代表	島添 健次	(東京大学大学院工学系研究科)
	連携	鎌田 圭	(東北大学未来科学技術共同研究センター)
	連携	織田 忠	(独) 日本原子力研究開発機構 (JAEA)
A01-II	代表	小野 篤史	(静岡大学電子工学研究所)
A02-I	代表	佐々木 敏彦	(金沢大学人間科学系)
	連携	江尻 正一	(岩手医科大学 教養教育センター)
	連携	鷹合 滋樹	(石川県工業試験場)
	連携	幸田 啓	(独) 高齢・障害・求職者雇用支援機構)
	連携	新井 康夫	(KEK 素粒子原子核研究所)
	連携	三好 敏喜	(KEK 素粒子原子核研究所)
	連携	三井 真吾	(KEK 素粒子原子核研究所)
A02-II	代表	石野 宏和	(岡山大学大学院自然科学研究科)
	連携	樹林 敦子	(岡山大学大学院自然科学研究科)
	連携	岡本 晃範	(岡山大学大学院自然科学研究科)
	連携	川人 祥二	(静岡大学電子工学研究所)
	連携	新井 康夫	(KEK 素粒子原子核研究所)
B01-I	代表	林田 清	(大阪大学大学院理学研究科)
	連携	鶴 剛	(京都大学大学院理学研究科)
B01-II	代表	平賀 純子	(東京大学大学院理学系研究科)
C02	代表	松村 彰彦	(群馬大学重粒子線医学研究センター)
	連携	初井 宇記	(理化学研究所 XFEL)
	連携	桐原 陽一	(理化学研究所 XFEL)
	連携	工藤 統吾	(理化学研究所 XFEL)
	連携	阿部 利徳	(高輝度光科学研究センター)
	連携	亀島 敬	(高輝度光科学研究センター)

(平成 27 年 3 月現在)



歩み

2005	SOI Pixel R&D 提案 @ KEK 測定器開発室
2006	SOI 共同研究スタート 第1回相乗りプロセス(MPW)をスタート
2007	第2回 MPW (2008 年以降年2回)
2008	SOI 研究会 @ KEK
2009	SOI Workshop @ 京都大学 SPIE (国際光工学会)誌に掲載
2010	物理学会誌に紹介(表紙に)
2011	SOI 国際共同研究会議 @ Fermi 国立加速器研究所(USA) JST 先端計測分析技術・手法開発事業(2007-2011)で最高評価(S)
2012	SOI 国際共同研究会議 @ Lawrence Berkeley National Laboratory(USA) PIXEL2012 国際会議 @ 猪苗代(120名参加、外国人60名)
2013	SOI 国際共同研究会議 @ INP and AGH, Krakow(Poland) SOI Mini workshop @ IHEP, Beijing (China) 物理学会シンポジウム「ピクセルセンサー技術で広がる科学者の視野」 第1回新学術研究会 @ 京都大学
2014	第2回新学術研究会 @ 大阪大学 第3回新学術研究会 @ 金沢工業大学
2015	International Workshop on SOI Pixel Detector (SOIPIX 2015)@ 仙台



SOI 国際共同研究会議 @ INP and AGH, Krakow(Poland)

展望

- 3次元半導体検出器技術を基に、理学・工学の融合研究により、新奇検出器の創出と、革新的な計測手法を実現し、新しい量子イメージングの研究領域を創ります。
- 量子イメージングを通して、素核・宇宙・物質・生命の幅広い分野においてサイエンスのブレイクスルーを実現し、世界をリードします。
- 検出器・量子イメージング技術の革新を担う人材を分野横断的に育成し、将来の発展につなげます。



SOI デバイスの製造工程
(提供：ラピスセミコンダクタ宮城株式会社)