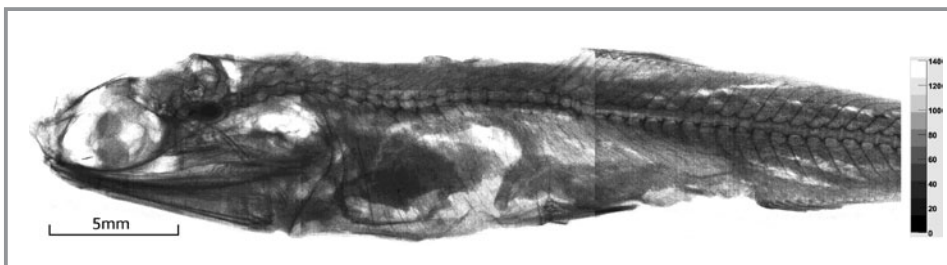
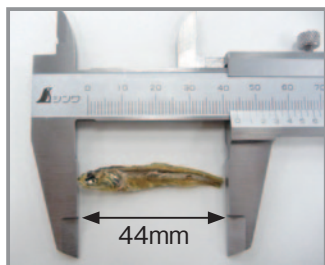
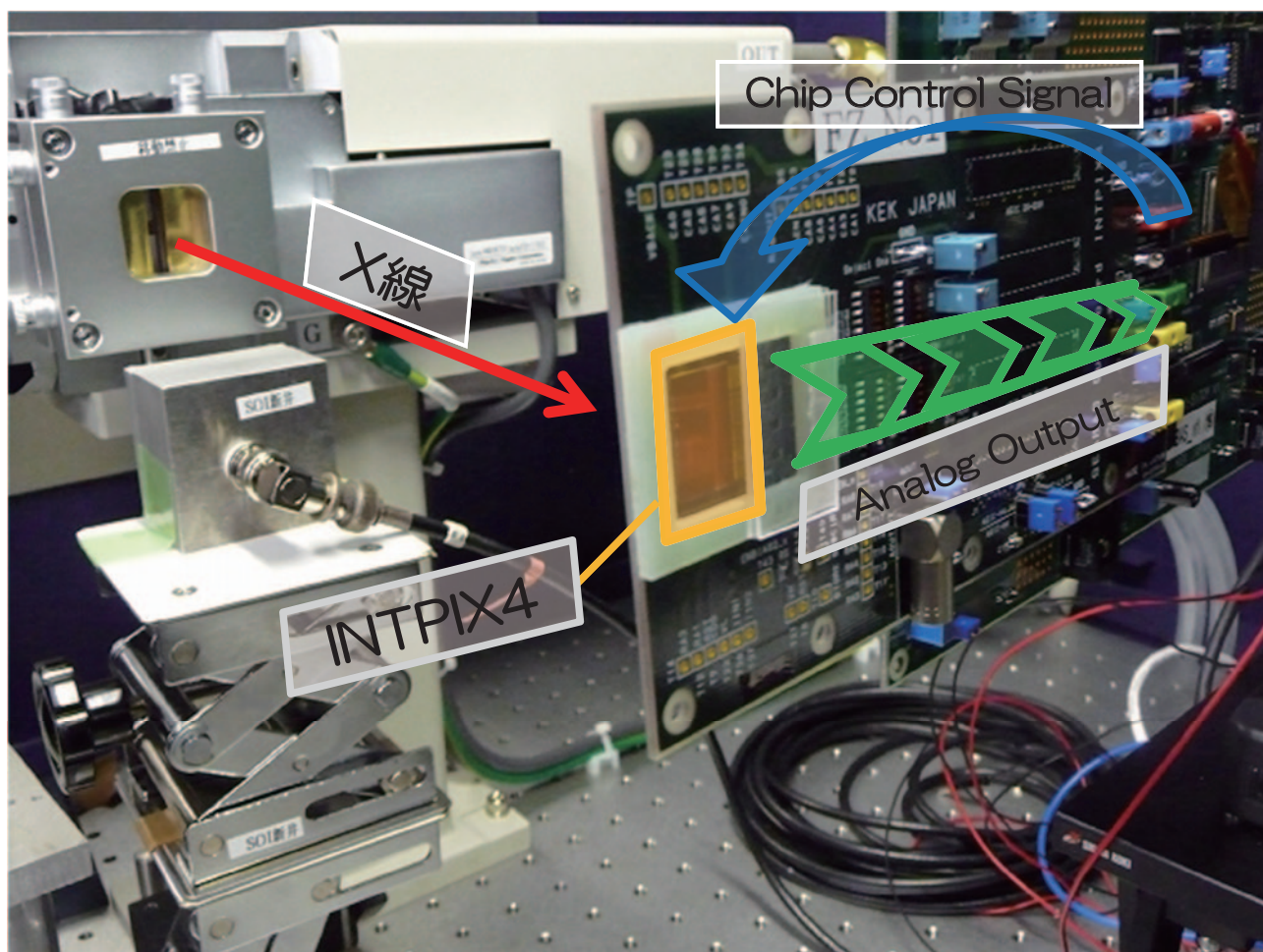


March. 2011

高輝度光子ビーム源開発室 ニュース

Quantum Beam Technology Program supported by MEXT

Vol.6



KEK 測定器開発室*の「Silicon-On-Insulator (SOI) 技術を用いたピクセルセンサー開発」プロジェクトで開発された積分型 SOI イメージセンサーによる煮干しの X 線像（右下、画像 3 枚を横に並べた合成）、X 線照射実験の配置写真（上）。実験と X 線像の詳細は本ニュース記事を参照して下さい。

* KEK 測定器開発室ウェブサイト <http://rd.kek.jp/index.html>

高輝度光子ビーム源開発室ニュース Vol.6 をお送り致します。ニュース Vol.6 の記事として、高エネルギー加速器研究機構・素粒子原子核研究所、三好敏喜氏に「SOI 技術を用いた新しいピクセルセンサー開発の最近の進展」の記事をお願いしました。また、広島大学先端物質科学研究科、栗木

雅夫氏に 2011 年 1 月に行われました「第八回高輝度・高周波電子銃研究会」の報告をお願いしました。ニュース Vol.7 は開発レーザー装置の実用化と本光子ビーム源を使った応用実験に関する報告を行う予定です。ご期待下さい。

■ SOI 技術を用いた新しいピクセルセンサー開発の最近の進展

三好敏喜

高エネルギー加速器研究機構 素粒子原子核研究所

はじめに

量子ビーム技術プログラムでは、軟 X 線から硬 X 線領域の小型高輝度 X 線源の開発を進めています。発生する X 線の品質が向上したとしても、X 線を検出する装置、例えば X 線ピクセルセンサーの性能が今までと変わらないままだと、強い X 線を受けきれない、X 線像がぼやけて見える等、せっかくのビーム性能向上の恩恵を十分に受けられなくなる可能性があります。従って、X 線源の性能向上にともない、X 線ピクセルセンサーの性能向上も必要不可欠であり、今までにないような新しい次世代 X 線ピクセルセンサーの開発が必要です。

KEK の測定器開発室では、赤外・可視光領域から高エネルギービーム領域まで幅広いビーム応用分野で、レーザー及び放射線発生装置の発展に負けないように最先端の検出器の開発を進めています。その中でも、「Silicon-On-Insulator (SOI) 技

術を用いたピクセルセンサー開発」プロジェクトが進行中です。量子ビームプログラムによる小型 X 線源にも対応できる次世代ピクセルセンサーの候補の一つと考えられますので、開発計画の開始当初から一部補助を受けてピクセルセンサー開発が進められてきました。今回は最新の研究成果について報告します。

SOI ピクセルセンサー開発

SOI 技術とは、2 つのシリコンウエハーを、絶縁膜を介して貼り合わせる技術です。使用する 2 つのシリコンウエハーの性質は異なっても構いません。一般に、シリコン半導体センサーの製作には、低電圧でも空乏層を厚くできるように高抵抗率のシリコンウエハーが使われています。一方、LSI 回路用途には低い抵抗率のシリコンウエハーが使われています。従って、互いに抵抗率の異なるシリコンウエハーから SOI 基板を製作し、

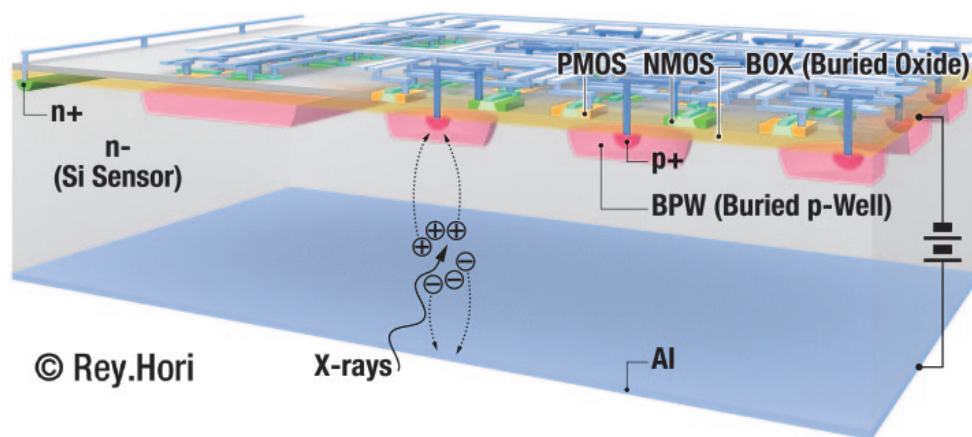


図 1. SOI ピクセルセンサーの模式図

高抵抗率シリコンに pn 接合を形成し、もう一方のシリコン上に形成された回路とタングステン配線等で接続すれば、回路とセンサーが一体化した“モノリシック”半導体センサーを作ることができます。これが、SOI-CMOS イメージセンサー開発の基本構想となります。図 1 に SOI ピクセルセンサーの模式図を示します。市販されている CMOS ピクセルセンサーの多くは、上述のようにセンサーと回路は互いに抵抗率の異なるウエハーが望ましいため、それぞれ別々に製作し、後ほどワイヤー接続やバンプと呼ばれる球状の導電体を用いて回路接続を行います。工程が多いためコスト高になり、また余分な物質により寄生容量が増えることが SN 比の向上を妨げ、また空間分解能を上げるためには極小バンプを形成しなければならないなど高度な技術を要します。一方、SOI ピクセルセンサー製作はすべて LSI プロセスで行いますので、ピクセルセンサー接続部分の面積を小さくでき、寄生容量が小さくなることで SN 比の向上に繋がります。また空間分解能に関しても、LSI プロセスの最小配線幅は μm 以下のオーダーになっているので、高分解能化を比較的容易に達成できます。しかし課題もいくつかあり、回路と

センサーが近すぎるためにクロストークの問題が生じやすく、またセンサーに高電圧を与えることで、回路側のポテンシャルが変動し、回路動作に影響を与える問題がありました。

2005 年の測定器開発室発足時より、SOI イメージセンサー開発は R&D 課題の一つとしてスタートしました。センサー製作は、OKI セミコンダクタ宮城の $0.2\ \mu\text{m}$ 全空乏化 (FD) SOI プロセスを用いて行っています。プロセスマスク代は一般的に高いため、国内外の大学や研究所から参加者を募り、1 セットのマスクに複数のデザインを搭載し、コストをシェアして効率化を図るという、マルチ・プロジェクト・ウエハー (MPW) ランとして行ってきました。複数回に渡る試作によりセンサー開発用にプロセス改良が加えられ、課題を少しずつクリアしてきました。当初は 10 V 以上センサー電圧をかけると回路動作に影響が起ころいじめましたが、プロセス改良により、現在では 200-300 V までセンサー電圧をかけても回路が動作するようになりました。2009 年度からは、年 2 回の MPW ランを行い、開発スピードが増しています。図 2 に、例として 2009 年度 1 回目の MPW ランのマスクレイアウトを示します。この



図 2. MPW ラン・マスクレイアウトの例

ランでは KEK、理研 XFEL、京都大学、ハワイ大学、IFJ (Krakow)、Fermi Lab. が参加していました。20.8 mm 角のマスク内に複数のデザインが分割配置されています。

積分型 픽셀センサーの最近の試験結果

イメージセンサーにはいくつか種類がありますが、開発開始当初から、一定時間内の発生電荷を積分して信号の大きさを測定する「積分型」と呼ばれるイメージセンサーを SOI 技術を用いて開発しています。当初は有効面積が数 mm 角のイメージセンサーを用いて性能評価を行っていましたが、2009 年度に、有効面積 14 mm x 8 mm の比較的大きな面積の積分型イメージセンサー (INTPIX4) を試作しました。図 3 に INTPIX4 の 픽セル回路図を示します。この回路は、標準的なアクティブ 픽セルセンサー回路に、蓄積コンデンサーとノイズ低減のための相関 2 重サンプリング (correlated double sampling) 回路を搭載しています。トランジスタ数が少ないので、픽セルサイズを小さくできます。今回は、픽セルレイアウトの工夫により 17 μm 角まで 픽セルサイズを縮小することができました。픽セルエリアの周辺には、픽セル選択を制御する回路、バイアス電圧回路、アナログバッファ回路、入出力パッドが配置されています。センサー部には数百 V の高電圧が印加されますが、なるべく高い電圧まで絶縁破壊が起らないように、バイアスリングやガードリングを設けています。以上の構成で完

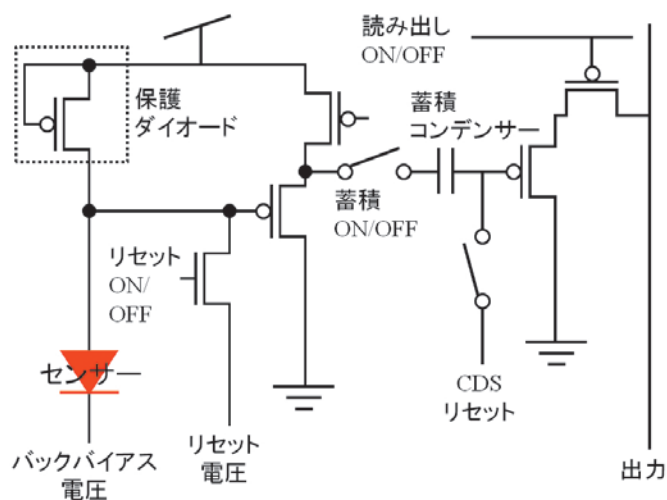


図 3. INTPIX4 픽셀回路図

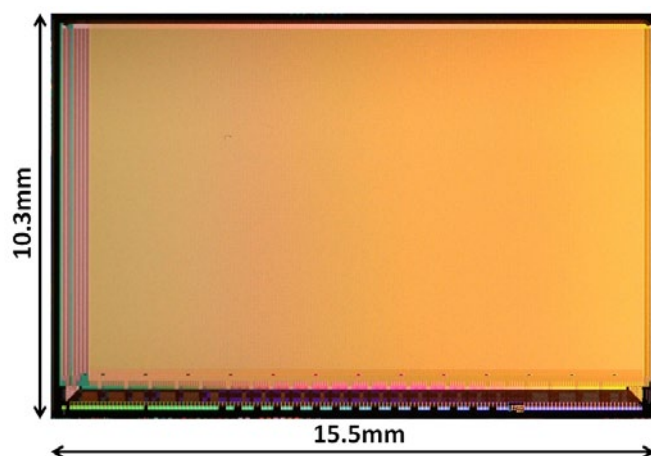


図 4. INTPIX4 写真

表 1. INTPIX4 の仕様

チップ面積	15.5 mm x 10.3 mm
픽セルサイズ	17 x 17 μm
픽セル数	832 x 512 (約 43 万画素)
有効面積	14.1 mm x 8.7 mm
アナログ出力数	1 または 13

成したチップ写真を図 4 に、INTPIX4 の仕様を表 1 に示します。

2010 年中に基本動作試験を行ってきましたが、正しい回路動作を確認し、読み出しシステムを構築した後に、封入管型 X 線発生装置を使って X 線像撮影試験を行いました。使用した X 線管球はモリブデン (Mo) で、17.5 keV と 19.6 keV の特性 X 線と、連続 X 線が発生します。実験セットアップの写真を図 5 に示します。INTPIX4 は専用のボード上に設置されています。読み出しボード上には 2 個の FPGA が搭載されていて、一つは INTPIX4 の読み出しをコントロールするためのもの、もう一つは、取得したデータをイーサネット経由で PC に送るためのものです。生体試料として煮干しを採用し、INTPIX4 チップから X 線ビーム方向に数 mm 前方に配置しました。X 線管からのビームはある角度を持ってコーンビーム上に射出されますが、この配置の場合はあまり拡大されずにほぼ 1 対 1 の画像が得られます。撮影した X 線像を図 6 に示します。選択した煮干しの体長が 40-50 mm なので、3 ブロックに分けて撮影を行い、画像をつなぎ合わせました。X 線信号の、1 画像当たりの積分時間は 250 μs 、フレー

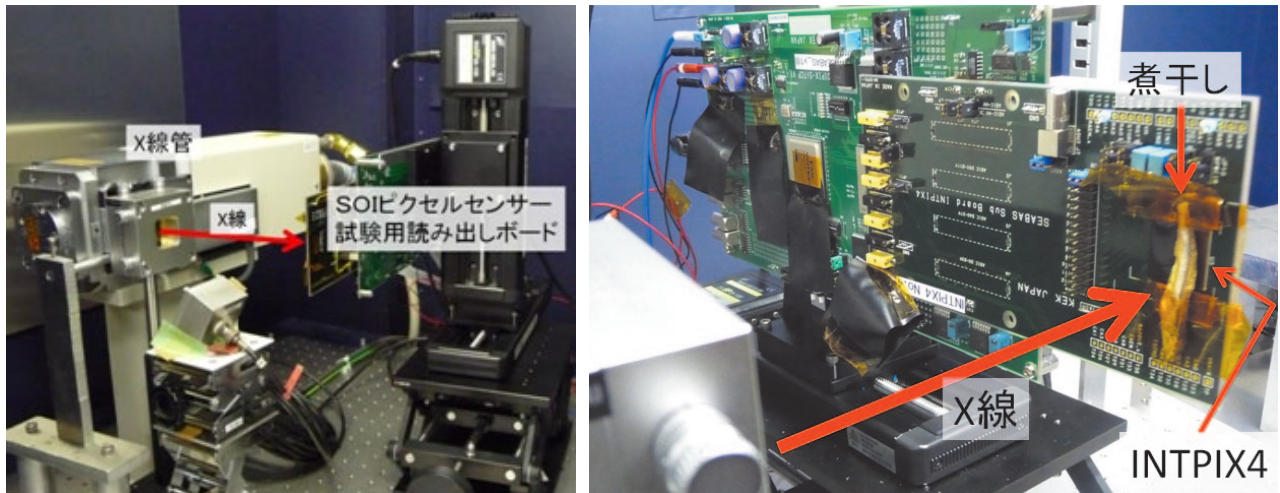


図 5. X 線照射実験の配置写真：全体写真（左）と試料近傍の写真（右）

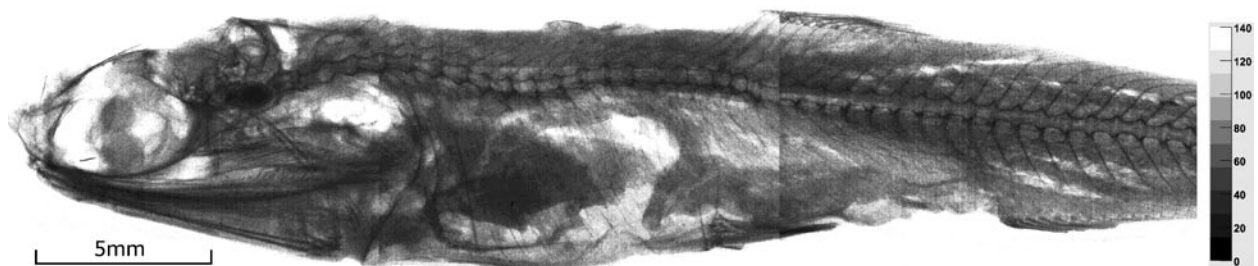


図 6. 積分型ピクセルセンサーで得られた煮干しの X 線像（画像3枚を横に並べて合成）

ムレートは約 3 fps で、今回は 500 枚の画像を積算平均しているので、正味の撮像時間は 125 ms に相当します。X 線管の管電圧は 20 kV、管電流は 5 mA に設定しました。この管電圧では、Mo の特性 X 線はほとんど発生せず、20 keV までの連続 X 線のみ出力されます。それでも、煮干しの骨や 2 個の眼球まで鮮明に描写できています。このことは、特性 X 線を使わなくても、幅広い X 線エネルギー領域の連続 X 線を使うことで、煮干しの厚い部分と薄い部分のコントラストがきれいに得られていることを意味しています。特筆すべき箇所は、高い空間分解能です。40-50 μm 程度の細い骨の部分が識別できています。高解像度特性を示す例として、同じ X 線管で撮影した、X 線テストチャートの X 線像を図 7 に示します。200 枚の平均画像を解析しました。ここで、ラインペア数 20 lp/mm というのは、1mm に 20 組のライン＆スペースが含まれていることを意味しています。すなわち、25 μm 毎にラインとスペースが交互に繰り返されています。画像からは、

20 lp/mm スリットがはっきりと分かれて見えていることが確認できます。このことから、この積分型イメージセンサーの空間分解能が非常に高いことが言えます。これら一連の実験結果により、SOI-X 線ピクセルセンサーは高解像度 X 線イメージング研究に応用できる可能性がある、ということがわかりました。次のステップとしては、様々なタイプの X 線発生装置との組み合わせ試験、特に放射光 X 線を用いて応用試験を行い、実用化の道を探ります。

積分型 SOI イメージセンサーの将来展望

積分型 SOI イメージセンサー開発における今後の方針について説明します。まず、小型 X 線源との組み合わせ試験が考えられます。新しい発生装置を製作するわけですから、発生 X 線の評価試験が大変重要な課題です。今回紹介したイメージセンサーの利点の一つは、積分時間を非常に短い時間領域まで自由に変えられることです。最小で数百 ns のオーダーまで短くできます。現在の

ところ、積分時間を長くするとノイズが大きくなるという課題が残っていますが、プロセスの改良と、ペルチェ素子による電子冷却機構を設けることで対処できるものと考えています。また、FPGA による読み出しプログラムを変更することで、見たい画像領域を自由に変えることができます。ピクセル当たりの読み出し時間は現在は 500 ns 程度ですので、ピクセル数を絞れば現状でも高速読み出しが可能となります。また、今回の測定ではシングルアナログ出力を用いてデータ読み出しを行っているため、フレームレートが遅かったのですが、INTPIX4 の出力は 13 個のピクセルブロックに分かれていて、それぞれ独立にアナログ出力を行える機能が搭載されています。現在、16 個の ADC を搭載した新しい読み出しボードを開発中で、それが完成すると、もちろんパソコンのデータ受信速度の限界も関係していますが、原理的には現在と比べ 13 倍速いデータ転送が実現でき、すなわち TV レートかそれ以上の速度で画像読み出しができるようになりますので、静止画だけでなく動画撮影も可能となります。また、プログラムによりトリガー同期も可能ですので、加速器からのトリガー信号との同期時間を変化させて、発生 X 線強度の時間変化を追うことも可能です。

今回製作した積分型イメージセンサーの有効面積は比較的大面積ではありますが、それでも他の市販されている X 線ピクセルセンサーよりも小

さいので、有効面積をいかに大きくするかが重要な課題となっています。現在、有効面積はマスクサイズ (20.8 mm 角) で制約されています。マスクサイズはプロセスにより定まっているので変更は難しいのですが、将来は特別なプロセスにより 1 枚の 8 インチウエハー内で、できるだけ大きな面積でセンサーを切り出すことで大面積化を図る計画も進められています。また、市販されている CMOS イメージセンサーのいくつかは、複数のセンサーを基盤目状に並べて、ギャップをなるべく狭くして面積を大きくする、とう手法を取っています。これらと同様の方法で、複数枚を並べて大きくするための研究開発も現在進行中です。

おわりに

2005 年から 5 年に渡り、測定器開発室では検出器 R&D の一つとして、SOI ピクセルセンサーの開発が進められてきました。開発は困難を極めました。ようやく生体試料の X 線像を鮮明に得ることができるようになり、着実に進展していることが目に見えて分かるようになりました。世界中で、赤外・可視・放射線と様々なビーム発生装置の高度化が進められていますが、これら発生装置の発展に負けないように、新しいピクセルセンサーの開発を進め、品質を上げていき、ゆくゆくは研究業界だけでなく産業界でも広く使われるような新世代のピクセルセンサーを製作できるように、今後も精進していきたいと考えています。

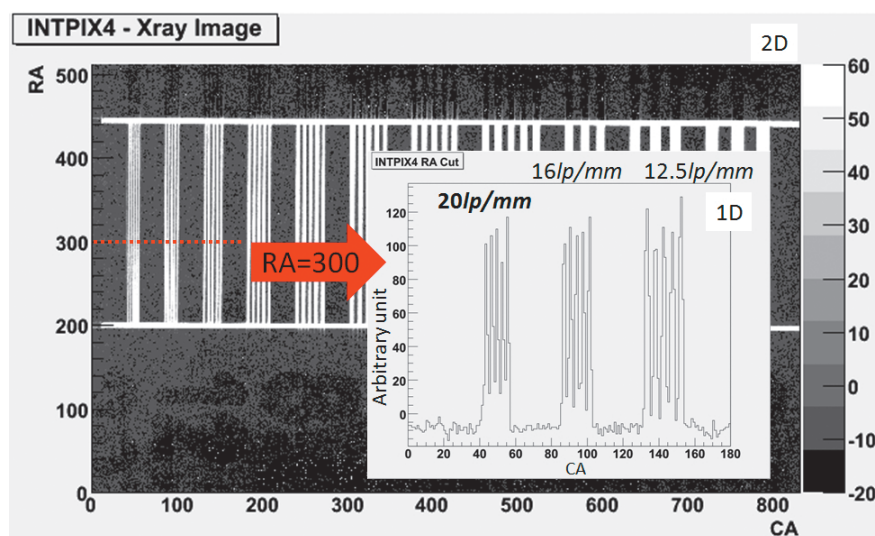


図 7. X 線テストチャートの X 線像

■第八回高輝度・高周波電子銃研究会報告

栗木雅夫

広島大学先端物質科学研究科

2011 年の年明けまでもない広島県賀茂地方では、中国山地から冬の季節風に運ばれた雪がちらつく日々が続いていた。そのような冬の厳しい冷え込みのなか、1 月 11 日と 12 日に第八回高輝度・RF 電子銃研究会が広島大学の東広島キャンパスで開催された。会場となった広島大学中央図書館のライブラリーホールには 25 名あまりの参加者がそろい、最新の研究結果について熱心に議論がかわされた。

RF 電子銃は 1980 年代に FEL のための理想的な電子銃として提案されたが、1990 年代に入って高輝度・短パルス電子ビーム生成のための研究用の電子銃として使われ始め、21 世紀に入って各地の研究所で精力的に研究開発が行われるようになってきた。そのような背景のもと、RF 電子銃の技術的、学術的情報の共有と研究のさらなる発展を目指して 2004 年の 1 月に第一回目の本研究会がつくばの高エネルギー加速器研究機構で開催された。同年の 11 月には第二回研究会が播磨の

SPring-8 において、2005 年の 11 月には第三回研究会が大阪大学産業科学研究所で行われている。今回の研究会は第八回目であり、昨年度の 2009 年 11 月の東北大学原子核理学研究施設（現電子光物理学研究センター）に続く開催である。

今まで本研究会の前後にシミュレーション研究会が行われてきたが、今回初めての試みとして、本研究会の最初のセッションをシミュレーションセッションとして行った。今回の本セッションでの講演者は三人で、それぞれカソード近傍における空間電荷効果および鏡像効果のエミッタンスへの影響について、PARMELA や独自コードにおけるベンチマークテストの結果について報告があった。世話人の一人である京都大学の増田氏からは、いままでの歴史的経緯も含めての現状が報告され、そしてシミュレーションによる物理の理解の重要性が指摘された。もう一人の世話人である SPring-8 の水野氏の講演では、トラッキングコードである PARMELA が、条件によっては他



写真1：会議の出席者

の計算コードと有意に異なる結果を出す場合があることが指摘された。続く大阪大学の管氏からは PARMELA による鏡像効果の影響を中心に報告があり、条件の設定によって結果が影響されることが指摘された。PARMELA は最も広く使われているコードのひとつであり、テスト結果の差の原因を明らかにし、シミュレーションの信頼性の向上をはたすことが期待される。

午後の前半のセッションでは DC 電子銃の研究開発について、四つの講演があった。広島大学の久保氏は高輝度 DC 電子銃で GaAs カソードを使用するさいに寿命問題が最大の課題であることを

指摘し、その解明と長寿命の実証を目的とした陰極テスト装置の開発について報告した。東京大学の伊藤氏からは、ERL を想定した 100mA クラスの大電流発生のため、GaAs カソードドライブ用のレーザー開発について報告があった(図8、9)。Yb ファイバーレーザーをベースとしたシステムを開発し、アンプ出力で 31W を達成している、とのことであった。単純な出力だけからみれば既に ERL の要求性能を満たしており、その進展の速さに驚かされる。OPA による波長変換など取り組む課題も多いが、大きな成果をあげていることは間違いない。

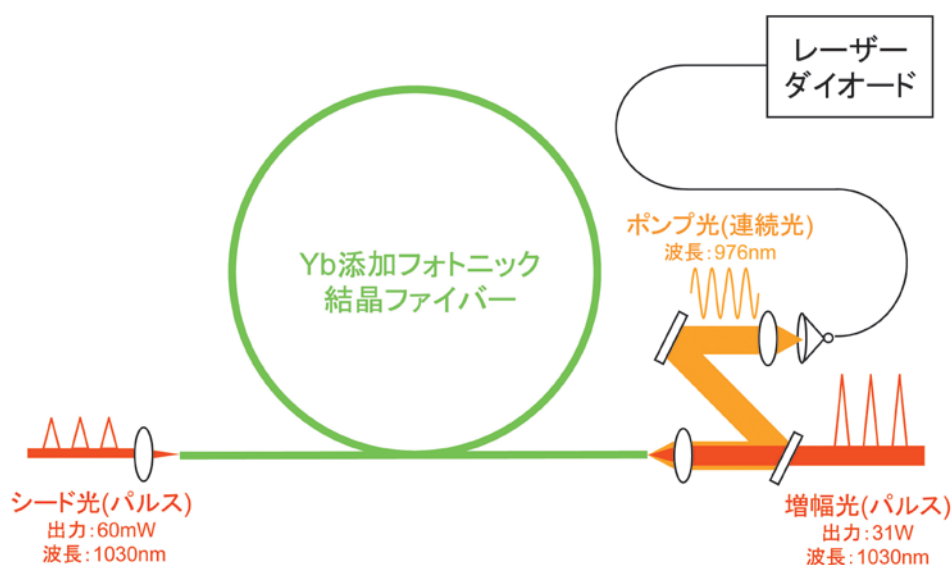


図 8. Yb ファイバーレーザー増幅器の概略図

Yb イオンが添加されたフォトニック結晶ファイバーにポンプ光を後方から入射して、前方から入射したシード光を増幅する。自己位相変調などの非線形光学効果の影響の少ないパルス光の増幅が期待できる。

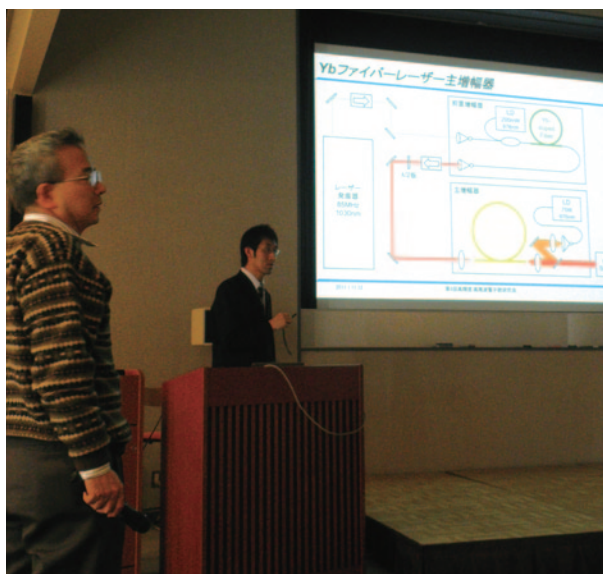


写真 2 : 東京大学 伊藤氏の発表

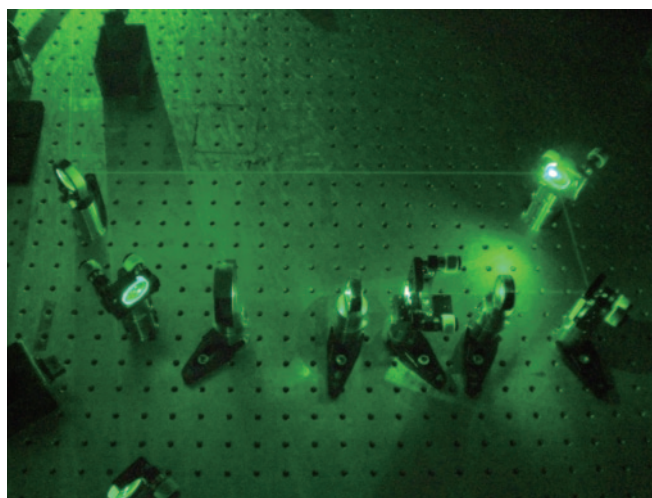


図 9. 第二高調波発生(SHG)のセットアップ

Yb ファイバーレーザー増幅器で増幅した基本光（波長：1030nm）を LBO 結晶に入射する。第二高調波（波長：515nm）の変換効率は 49% まで達した。

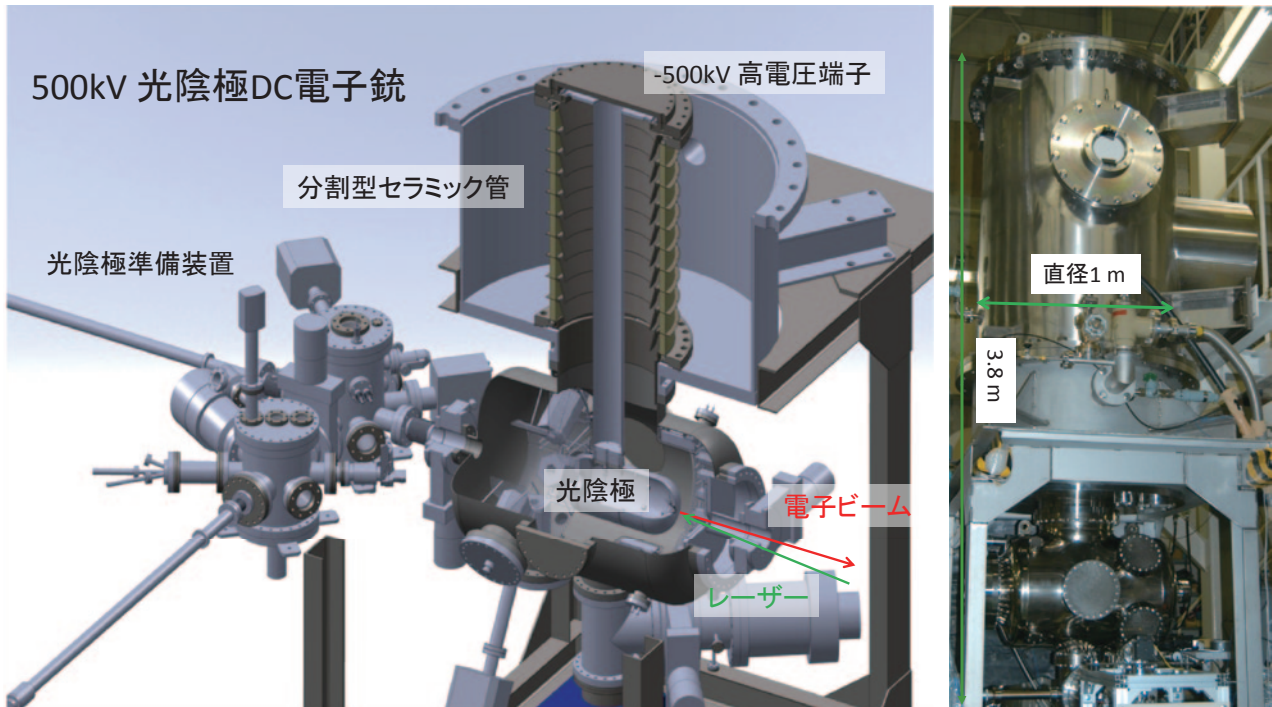


図 10. 500 kV 光陰極 DC 電子銃の構成（左）と全体写真（右）

続いて JAEA の西森氏からは、ERL 用の電子源として開発中の 500 kV 電子銃について報告があった（図 10）。すでに世界記録となる 500 kV の安定印加という大きな成果をあげているが、現在はビーム引き出し試験に向けて精力的に取り組んでいるとのことであった。放射線量の上昇が見られるとのことで、その原因究明が待たれるところである。セッション前半の最後は JAEA の永井氏による GaAs カソードからのビームのエミッタンス計測についての報告であった。JAEA の 250 kV 電子銃に磁場打ち消しのためのバックグコイルを使用してエミッタンスを計測し、等価温度で $kT=42\text{meV}$ という値を得た、とのことであった。この値は ERL で仮定されている 0.1mm.mrad という極小エミッタンスが sub mm クラスのスポット径で実現できることを実験的に示したものである。

午後の後半のセッションでは RF 電子銃をもちいたマルチバンチ生成について二つの講演があった。最初は早稲田大学の坂上氏による講演であった。早稲田大学では放射線化学実験、レーザー逆コンプトン散乱による X 線生成、がん治療の研究などを目的として S-band の RF 電子銃からマルチバンチ生成実験をおこない、今回 100 バン

チの生成に成功したとこのことであった。エネルギーの均一化にも成功しており、今後は全体的な安定性の向上など、より実用を意識した研究開発に重点を移していくようである。続いて高エネルギー加速器研究機構の浦川氏より、S-band の RF 電子銃とレーザーパルス蓄積空洞による小型 X 線源の開発について講演があった。マルチバンチ電子ビームと空洞内に蓄積されたレーザーパルスで逆コンプトン散乱を行うことで大量の X 線を発生させ、最終的には $1.2\text{E}+11\text{Hz}$ (10%BW) という桁違いに大きな X 線フラックスを得ることを KEK の STF (Superconducting Test Facility) で実証する、とのことであった。本研究は量子ビームプラットフォームのプロジェクトとして採用されており、その実現は「国民との約束」であり、必ず実現させなくてはならない、と強調していたのが印象的であった。

一日目のセッション終了後、山陽本線の西条駅前にある泉ホールを会場にして懇親会が行われた。西条駅周辺は有数の酒どころであり、駅周辺だけで八の醸造元が酒の生産を行っている。会場となった泉ホールはそのような醸造元のひとつである賀茂泉酒蔵が経営するイベント会場である。当初は賀茂泉酒蔵の敷地内にある酒泉館という会

場で懇親会を行うことを意図していたが、酒の仕込みの繁忙期ということで、残念ながら酒蔵での開催はあきらめざるを得なかった。それでも懇親会では地元の酒が汲み交わされ、研究内容や日頃の苦労などについて話は尽きなかった。

二日目の朝も会場の中央図書館前の広場は雪で薄く覆われていた。午前のセッションの最初は広島大学の増元氏による NEA 表面ポテンシャルについての研究である。氏によると NEA GaAs の活性化および劣化時において、量子効率の変化は従来から言われている EA (Electron Affinity, 電子親和性) の増減ではなく、障壁ポテンシャルの変化が原因であることが強く示唆される、とのことである。従来の説とは異なる見解であり、今後の研究の進展が待ち望まれる。続く SPring-8 の富澤氏からは、Z 偏光レーザーによる GaAs カソードからのビーム生成について講演があった。氏によると、カソード表面で進行方向に電場成分を有する Z 偏光状態を人為的に作り出してやることで、実効的な仕事関数を下げることが可能で、NEA という表面修飾に頼らずに GaAs カソードからの電子発生が可能である、とのことであった。実現すれば RF 電子銃から偏極ビーム発生が可能となる夢のある話題である。午前中前半のセッションの最後は広島大学の飯島氏の NEA GaAs カソードの寿命についての発表であった。NEA GaAs の寿命劣化を生じているプロセスのうち、ガス吸着を分析するために TPD (Thermal Programed Desorption) 測定をおこない、NEA 活性化を行った場合のみ H_2 などの TPD ピークが観測されるとのことで、これらの分子は NEA 表面 (Cs-O) にのみ吸着しているという注目すべき結果であった。

午前後半のセッションは RF 電子銃における基礎的な研究として三つの講演があった。まず最初は NaKSb というマルチアルカリ陰極の RF 電子銃への実装についての東京大学の中園氏の講演である。これは従来光電子増倍管に使われてきた物質であるが、高い量子効率をその特長としており、電子銃で使用できればその性能を大幅に向上できる。RF 電子銃に NaKSb 陰極を実装して実験おこない、2300 h 後で 266 nm の UV 光を用いて 0.02% の量子効率を得た、とのことであった。ここでも量子効率は時間的に減少しており、そのメカニズ

ムの理解と克服が実用化の鍵であろう。続く京都大学の Bakr 氏からは、熱陰極 RF 電子銃におけるバックボンバードメントについてのシミュレーション研究の講演があった。W-dispenser カソードと LaB_6 カソードについてバックボンバードメントの影響の多寡を評価し、 LaB_6 カソードが影響の軽減という観点からは有利、との結果であった。続いて京都大学の高崎氏から、三極管構造の熱陰極 RF 電子銃の設計研究について講演があった。カソード部を三極構造とすることでバックボンバードメントの大幅な軽減が可能であり、現在はコールドモデルの製作とその特性の理解をすすめているとのことであった。前の Bakr 氏との講演と合わせて、熱陰極 RF 電子銃の性能向上に系統的に取り組んでいる姿が印象的であった。

午後のセッションは RF 電子銃を使用した研究についての講演が続いた。まず最初は大阪大学の菅氏による RF 電子銃のビームによる CCR (Coherent Cerenkov Radiation) 発生についての講演であった。導体で囲まれた誘電体のパイプ中を短パルスの電子ビームが通過するとコヒーレントな THz 光が発生し、それが CCR である。加速器の人間にはビームが誘起する加速管中のウエーク場、と説明したほうがわかりやすいかもしれない。氏によると、RF 電子銃からのビームにより CCR の発生が確認され、構造の TM モードと周波数が一致した、とのことであった。今後はパルス長測定への応用などを視野に特性の理解を進めていきたい、とのことであった。続いて高エネルギー加速器研究機構の福田氏から小型 X 線源の開発の現状について報告があった。いままでに $1.3E+5$ Hz (10%BW) 程度の X 線の発生に成功しているが、多くの問題点も明らかになっている。そのうち、マルチバンチ発生の際のバンチ間隔の均一化、光蓄積空洞内のミラーのダメージ軽減のための光学設計の変更などに取り組み、その一部は成果をあげつつある、とのことであり、今後の高強度 X 線生成の実証が待たれるところである。次に東北大学の日出氏から、t-ACTS 計画のための熱陰極 RF 電子銃開発について講演があった。東北大学の電子光理学研究センターは歴史ある旧核理研の改組によって誕生した新しい組織であり、その次期計画として iso-chronous ring に RF 電子銃からの短パルスビームを打ち込み、リ

ング中でコヒーレント THz 光の発生を目指している。 α マグネットと加速管での速度変調を援用して、100fs の短バンチビーム生成がみこまれる。そのための電子源として二つの空洞を独立して制御できるユニークなタイプの熱陰極 RF 電子銃の開発に取り組んでおり、現在は熱陰極の RF 特性への影響などの評価を進めている、とのことであった。本研究会最後の講演として、大阪大学の楊氏より、阪大産研におけるフォトカソード RF 電子銃の利用研究について報告していただいた(図 11、12)。阪大産研は早くから RF 電子銃の研究、そして利用研究に取り組み、現在は複数の RF 電子銃システムを用いて短パルスビーム生成、パルスラジオリシス、超高速電子回折、そして時間分解顕微鏡観測、等にとりこんでおり、一部ではおおきな成果をあげている。RF 電子銃の研究がすすめば自ずとデバイス自体の研究から利用研究、応用研究へと幅を広げていくべきであるが、阪大は

そのモデルケースとなりつつあるように思う。

最後に、研究会が今回も例年通り盛会であったことを全員で確認し、主催者から全ての講演者、参加者への感謝の念が述べられた。また、次回の研究会がつくばの高エネルギー加速器研究機構で開催されることが報告された。高エネルギー加速器研究機構は今まで RF 電子銃の研究についても国内において先導的役割を果たしてきたが、高エネルギー物理学の次期計画として採択された Super B factory 計画において、従来の熱電子銃にかえて RF 電子銃を採用することが真剣に検討されている。これが実現すれば国内の大型加速器施設で RF 電子銃が実用化される初めてのケースとなり、長年 RF 電子銃開発に関わってきたものとしては感慨を感じざるを得ない。冒頭でも述べたように本研究会は 2004 年に KEK で始まり、今回の広島開催でほぼ一巡した感がある。次回から二巡目となるが、そのタイミングで RF 電子銃の本

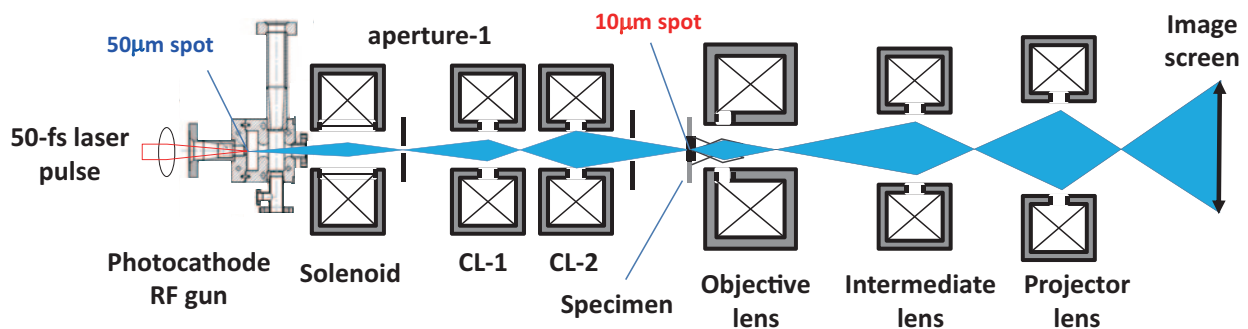


図11. フォトカソードRF電子銃を用いた次世代の時間分解・MeV電子顕微鏡

阪大産研で開発中であるフォトカソードRF電子銃を用いた時間分解MeV電子顕微鏡の構成図を示す。

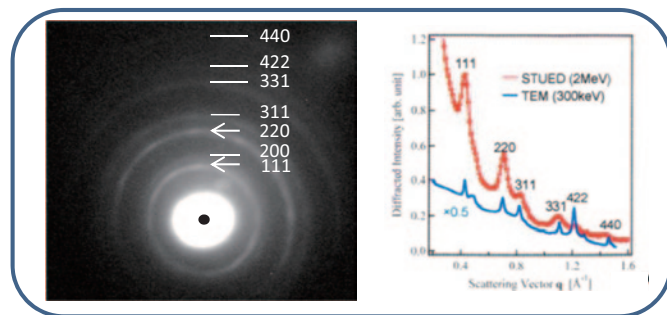


図12. フォトカソードRF電子銃を用いたフェムト秒時間分解・MeV電子線回折装置

フェムト秒時間分解・MeV電子線回折装置の写真を示す(左)。フォトカソードRF電子銃は大阪大学とKEKとの共同研究で開発したものである。本装置で得られたアルミ箔の回折像と、通常の300keV透過型電子顕微鏡から測定した結果の比較を示す(右)。回折像の明瞭さは、RF電子銃の単色性・低エミッタンスを示している。

格的な実用化が現実のものとなってきたことは、研究会として一定の役割を果たしてきたことの証左であるとも言えるのではないだろうか。来年の

研究会ではいままで以上に有意義な議論が行われることはもちろん、Super B factory の大いなる進展を期待して、本稿の筆を置く。



写真 3 : 2011 年 1 月 12 日朝 広島大学中央図書館広場にて

Acknowledgments

This News is supported by Quantum Beam Technology Program of the Ministry of Education, Science, Sports, Culture and Technology of Japan (MEXT).

量子ビーム基盤技術開発プログラム (2008-2012 年度)

Quantum Beam Technology Program supported by MEXT [<http://www.quantumbeam.net/>]

次世代ビーム技術開発課題「超伝導加速による次世代小型高輝度光子ビーム源の開発」(拠点責任者：浦川順治)
Development for Next Generation Compact High Brightness X-ray Source using Super Conducting RF Acceleration Technique



大学共同利用機関法人 高エネルギー加速器研究機構 (KEK)

High Energy Accelerator Research Organization

〒305-0801 茨城県つくば市大穂 1-1 TEL 029(879)6248

小型高輝度光子ビーム源開発室 [<http://kocbeam.kek.jp/>]