

令和 3 年 6 月 11 日現在

機関番号：82118

研究種目：基盤研究(A) (一般)

研究期間：2017～2020

課題番号：17H01078

研究課題名(和文) Si-APDピクセルX線検出器の高性能化による放射光ナノ秒連続測定

研究課題名(英文) Continuous measurements in nanosecond time scale of synchrotron radiation with advanced Si-APD pixel X-ray detector

研究代表者

岸本 俊二 (Kishimoto, Shunji)

大学共同利用機関法人高エネルギー加速器研究機構・物質構造科学研究所・教授

研究者番号：00195231

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 33,300,000円

研究成果の概要(和文)：X線画像検出器自身の応答をシリコン・アバランシェフォトダイオード(Si-APD)ピクセルアレイによりナノ秒まで高速化、空乏層厚さを30 μm に改良したSi-APDアレイの直接検出によりサブナノ秒時間変化するX線像の記録、Fe-57放射光核共鳴散乱への応用に成功した。また、重元素添加ナノ秒発光シンチレータ装着により100keVまでの高感度・高速検出を目指し、ZrO₂、HfO₂、Bi₂O₃のナノ粒子を40重量%まで含み発光寿命2nsの高感度・高速プラスチックシンチレータ製作に成功した。比例モードSi-APDを受光素子とするピクセルアレイ検出器への搭載が可能となった。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究は超高速応答・高感度画像検出器システムの実現を目指すものである。X線センサーとしてのSi-APDピクセルアレイの高速・高精度タイミング特性を生かす測定システムを開発した。本システムは新機能材料の探索のためなど、時間分解能を活かした特徴ある分析手法として活用が期待される。さらに重元素添加でX線・ γ 線に感度があり、しかも従来よりも10分の1から100分の1という短時間で応答・発光するプラスチックシンチレータの開発にも成功した。これは高エネルギーX線の高精度測定につながる新しい放射線センサーであり、Si-APDピクセルアレイに装着して新しいX線画像検出器システムとしての利用が期待できる。

研究成果の概要(英文)：We have obtained nanosecond response in X-ray imaging detector by developing a Si-APD pixel array detector with a 30-micrometer-thickness depleted layer, and the direct X-ray detection with the Si-APD array detector was applied to recording X-ray images changing with sub-nanosecond and synchrotron nuclear resonant scattering on Fe-57. We also succeeded in producing new plastic scintillators loaded ZrO₂, HfO₂, Bi₂O₃ nanoparticles up to 40 wt%, which had high sensitivity to detect X-rays up to 100 keV, and fast response by 2-ns decaying light emission. These scintillators can be mounted on a proportional-mode Si-APD pixel array as photodetector.

研究分野：放射光X線計測学

キーワード：量子ビーム 放射光X線 ピクセルアレイ検出器 時間分解測定 シリコン・アバランシェフォトダイオード 放射光核共鳴散乱 重元素含有プラスチックシンチレータ

科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属します。

1. 研究開始当初の背景

X線画像検出器として普及しているCCD(電荷結合素子)検出器やピクセルアレイ検出器(PAD)は出力応答に数100ナノ秒~マイクロ秒を要する。一方、比例モード作動のシリコン・アバランシェフォトダイオード(Si-APD)は高電界かつ電荷増幅機能を有するため、高速アンプを使えばX線光子1個によるナノ秒幅パルス信号が得られる。そのためSi-APDは本研究代表者によって世界で初めて超高速X線検出器として放射光利用研究に導入(Nucl. Instr. Meth. A309 (1991) 603)、サブナノ秒時間分解能を必要とするFe-57(励起準位14.4keV,半減期98ns)などの原子核共鳴散乱や電子軌道遷移による核励起(NEET)実験(Rev. Sci. Instrum. 63 (1992) 824, Phys. Rev. Lett. 85 (2000) 1831) $\times 10^8 \text{ s}^{-1}$ に及び高計数率X線回折測定(Rev. Sci. Instr. 69(2)(1998) 384)に使われてきた。比例モードSi-APDは今でも最高速X線パルス検出素子である。フォトダイオードアレイやCCD検出器など通常の1次元・2次元検出器と単一放射光パルスを使った「ポンプ-プローブ法」は、レーザーによる「刺激」後の構造変化をX線像により調べることができる。この方法は遅延時間の精度が保証されていれば、時間スケール選択の自由度がある(fsからms)しかし、ポンプとプローブ間の遅延時間を1点ごとに設定・撮像すること、「遅い」検出器がデータ取得できる時間、通常 $> 1 \mu\text{s}$ 以上の放射光パルス間隔が必要である。そのため、時間変化を観測する効率が悪い。エネルギー分析の場合にシングルチャンネル分析器の閾値を1点ごとに変えながらエネルギースペクトルを得る方式に似ている。その上、放射光パルス間の十分な時間間隔を確保するために特別な加速器運転(シングルまたはセベラルバンチモード運転)や特殊なビームライン設備(X線パルスセレクター)が必要という実験実施の制約が生じる。そこでSi-APDピクセルアレイにより画像検出器自身の応答をナノ秒まで高速化すればサブナノ秒時間分解能が得られること、2ns間隔の放射光通常モードのX線パルスを使えばサブナノ秒時間変化の記録をポンプ-プローブ法と比べて1000倍以上($1 \mu\text{s}$ 以上とサブnsの違い)高速化できるという着想を得た。我々は基盤(A)「ナノ秒時間分解・超高速ピクセルアレイX線検出器の開発」(H25-28、課題番号:25246040)で有効長20mmのSi-APDリニアアレイによって空間分解能: $150 \mu\text{m}$ (傾けて $30 \mu\text{m}$)で $T: 0.5 \text{ ns}$ ごとに連続2048チャンネル($\sim 1 \mu\text{s}$)計数システムを実現した。このシステムは、FPGA(Field Programmable Gate Array)によってマルチチャンネル・スケイラー(MCS)を構成しイメージセンサーの各ピクセルが T ごとに連続計数できる。遅延時間1点ずつの撮像でなく、一度の計測でX線強度の時間変化を記録できる。放射光パルスによって励起した原子核からの時間遅れ線を時間分光する応用はすでに実施した(Rev. of Sci. Instr. 85(2014)113)。2016年には実際に2ns間隔のX線パルスを時間分解能0.5nsで分離し記録することに成功した(AIP Conf. Proc. 1741 (2016), 040034)。本研究では、このシステムの時間領域・検出効率・記録方式についての高性能化を行い、新しい応用として放射光サブナノ秒高感度イメージングを進めようとした。

2. 研究の目的

(1) Si-APDリニアアレイ・システムの高性能化:

連続測定時間を広げ、データ転送を高速化する。1次元アレイシステムを8192チャンネル連続計数可能として $T: 0.5 \text{ ns}$ でも $\sim 4 \mu\text{s}$ (放射光リング国内最長のSPring-8のほぼ1周分)の連続記録を可能とする。デジタル信号のFPGAによる多段大容量処理と10Gbpsデータ転送系(SiTCP, IEEE Trans. NS-55 (2008) 1631)を備えることで時間スペクトルデータの高速転送を実現する。これにより試料環境をmsオーダーで変化させるような測定にも対応する。

センサーの検出効率を引き上げる。空乏層の厚いSi-APDの新規製作によって、X線を直接検出する20keVまでの領域で3倍とし、リニアアレイによる高感度イメージング法を実施する。

アナログメモリセル(AMC)による超高速パルス波形デジタイザーを完成させる。AMCは微細な静電容量セルアレイから電荷をスイッチングにより順に読みだす回路(IEEE NSS. 2007 Conf. Rec., 2373)で0.5 nsより速い時間変化や同じタイミングにパルスが重なる大強度散乱の記録を可能にする。

(2) Si-APDアレイ・シンチレーション検出器を製作、核共鳴散乱に応用する。:

ナノ秒発光シンチレータ装着により100keVまでの高エネルギーX線領域で10-80%の検出効率を得る。先行の基盤研究(A)によって高速シンチレータの候補が重元素ナノ粒子添加プラスチックシンチレータに絞られた。このシンチレータをSi-APDアレイに装着してSi-APDシンチレーション検出器を製作、高エネルギーX線領域の核共鳴散乱に応用し実用的な検出効率を得る。

3. 研究の方法

(1) X線直接検出で検出効率3倍となる128ch Si-APDリニアアレイ・システムを製作。これにより20keV以下のX線領域で時間スペクトル測定を行う。:

先行の基盤研究(A)で128チャンネルSi-APDリニアアレイ(ピクセルサイズ:H100xV200および $400 \mu\text{m}$ 、有感部19.2mm)製作の実績がある。このアレイは空乏層厚さが $10 \mu\text{m}$ であったが、

厚さを 30 μm (期待される APD 素子固有の X 線時間分解能: 300 ps) とし、さらにピクセルギャップを狭めることを課題とした。空乏層を厚くしたうえでピクセルギャップを狭めることは困難だったが、浜松ホトニクスに製作を依頼し、厚さ 10 μm でのギャップ幅の実績 50 μm から 45 μm まで狭めたリニアアレイが製作できた。

新しい 128 チャンネル Si-APD リニアアレイのため、8192 チャンネル連続計数可能となるように MCS ボードを設計してナノ秒領域移での連続測定時間を広げ、最短 $T: 0.5 \text{ ns}$ でも $\sim 4 \mu\text{s}$ (国内最大の放射光リング SPring-8 のほぼ 1 周分) の連続記録が可能にすることを検討した。FPGA によるデジタル信号の多段大容量処理と複数の 10Gbps データ転送系 (SiTCP) を備えることで時間スペクトルデータの高速転送 (32bit \times 8192ch \times 128 ピクセル=33Mbit を 10ms 以下が目標) を実現するつもりであった。また、下記 (3) の高速シンチレーション光の信号処理のため、既存の高周波アンプ・シェーパー・ディスクリミネータ ASIC (ASD-ASIC) をもとに、さらに高い信号/雑音比が得られる ASD-ASIC の開発を目指した。既存 ASIC の回路構成を基に、4 および 16ch/4mm 角チップの高信号/雑音比の超高速 ASIC アンプを 65nmCMOS プロセスにて試作した。残念ながら、ASD-ASIC 試作の遅れ、また設計の不具合等により、MCS ボードのフロントエンド回路基板に搭載することはできず、既存の ASD-ASIC を採用した。また、配分予算の不足、および 10Gbps の SiTCP の開発が間に合わなかったため、時系列 2048 チャンネル、1GbpsSiTCP 搭載の仕様で MCS ボードを製作した。それでも、最短 $T: 0.5\text{ns}$ の場合、連続時系列の測定時間は $\sim 1 \mu\text{s}$ までにとどまるものの測定用ソフトウェアの改良を行って、新規製作の MCS ボードにより試料環境 (温度など) や入射 X 線強度などが ms オーダーで変化するような測定にも対応できた。大型 X 線干渉計による高感度イメージング法と組み合わせ、物質のサブナノ秒密度変化を可視化する測定も試みた。

(2) 超高速パルス波形デジタイザの開発: 128 チャンネル Si-APD リニアアレイ用デジタイザにより、出力パルスが重なる高強度でもサブナノ秒時間変化が記録できるシステムを FY2018 までに完成させる予定だった。現有 16 チャンネル 5GSps デジタイザボード (AMC である DRS4 チップを使用: 2008 IEEE NSS Conf. Rec., N11-8) にリング加速空洞用 500MHz 信号をタイミング基準信号として入力して測定トリガーの時間ジッターを現状 5 ns から 100 ps 以下まで改良、128ch リニアアレイ用回路ボードを製作することを計画したが、配分予算の不足により断念した。

(3) Si-APD アレイ・シンチレーション検出器の開発:

研究開始時、受光素子である比例モード Si-APD に載せるナノ秒発光高速プラスチックシンチレータ (PLS) として重元素酸化物ナノ粒子: HfO_2 、 Bi_2O_3 を 10 重量%以上添加したものを試験中であった。比例モード Si-APD によるシンチレーション光パルス検出には 1000 倍程度の大ゲイン超高速 ASIC アンプの開発が必要となる。高速 APD アレイ・シンチレーション検出器のフロントエンド製作のためにも、(1) で述べた高信号/雑音比の超高速 ASIC アンプが必要であったが、完成にいたらなかった。信号量が小さなシンチレーション光検出には、受光素子である Si-APD の増幅率をできる限り引き上げ、かつ雑音を抑えるために低温 (-30 程度) 作動が重要である。そのため、ペルチェ素子による冷却方式の改良を引き続き行った。一方、重元素ナノ粒子添加プラスチックシンチレータは「4. 研究成果」で報告するように大きな進展があった。ASD-ASIC 開発が遅れて当初予定した 3 mm 角 Si-APD $\cdot 8 \times 8$ アレイによる 32 mm 角の高エネルギー X 線用 APD アレイ・シンチレーション検出器の製作には至っていないが、酸化ジルコニウム (ZrO_2)、酸化ハフニウムナノ粒子を 40wt% から 60wt% まで添加した高感度・高速プラスチックシンチレータを東京インキ (株) の協力により製作し、その特性を明らかにすることができた。受光素子として光電子増倍管 (PMT) ガイガーモード Si-APD (MPPC) だけでなく、当初予定していた比例モード Si-APD と組み合わせた高速シンチレーション検出器としての特性評価を進めた。

4. 研究成果

(1) X 線センサーとして、これまでの 3 倍の空乏層厚さ 30 μm の 128 ピクセル Si-APD リニアアレイを製作できた。ピクセルサイズは $\text{H}100 \times \text{V}200 \mu\text{m}$ と $\text{H}100 \times \text{V}400 \mu\text{m}$ の 2 種類とした (製作: 浜松ホトニクス株)。空乏層を厚くすると、より高い印加電圧を必要とするため表面漏洩電流の増加などピクセル間ギャップを狭めることは困難になるが、これまでの素子の 50 μm よりも狭い 45 μm を実現できた。X 線センサーとしての有効長は 18.6mm である。ただし、この素子の各ピクセルからの信号配線部 (アルミ配線) 周辺に X 線に有感な領域が生成してしまうことが判明している。またブレークダウン電圧に数 V まで近づけた電圧印加時には受光 X 線電荷量に依存して突発的なブレークダウンが発生しやすいことが見つかっている。空乏層 10 μm の素子では見られなかった現象であり、何らかの素子構造が原因と考えられるが、未解明である。

(2) 128ch の Si-APD リニアアレイ用最短 0.5ns サンプルングのマルチチャンネル・スケーラー (MCS) を製作、放射光 X 線ビーム (PF リング ハイブリッドモード運転) を使った実験により時間分解能 (半値全幅 FWHM): 0.5-0.6 ns の確認に成功した (国際学会 SRI2018 で発表。AIP Conf. Proc., 2054 (2019) 060068.)。新規の設計による ASD-ASIC は間に合わなかったものの、既存の ASD-ASIC を搭載して FPGA からの発熱と合わせたボードの温度上昇、高周波ノイズの混入に対する対策を取ることで低ノイズレベルの測定が実現できた。エネルギー 6keV の X 線が入

射する場合でも十分にピークとノイズが区別できる波高分布が記録できている (図 1)。

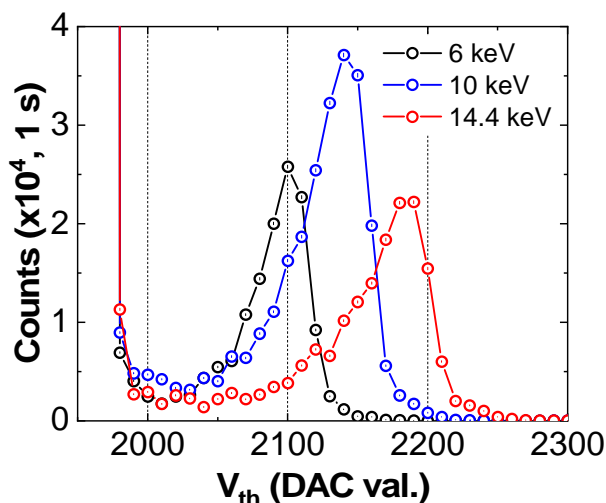


図1 Si-APD リニアアレイ検出器による X 線パルス波高分布。ピクセル No.64 に 10 μm サイズの X 線ビーム (6keV, 10keV, 14.4 keV) を入射し、ASD-ASIC の波高閾値を走査して計数値の差から波高分布を得た。

試料環境をミリ秒で変化させる、あるいは測定対象の X 線強度分布がミリ秒で変化するときでも、その各過程の X 線強度変化はサブナノ秒で記録できるような多重の時間分解測定に対応できるようにデータ取得ソフトウェアの改良を進めた。その結果、不感時間 17ms (平均値。改良前は 90 ms) が残るものの、20 ms ごとの連続測定 (0.5 ns ごとの時系列測定を継続しながら測定) が可能となった。図 2 は 4 象限スリットの片側の刃が検出器に入射する X 線ビームを遮る様子を連続的に記録したものである。

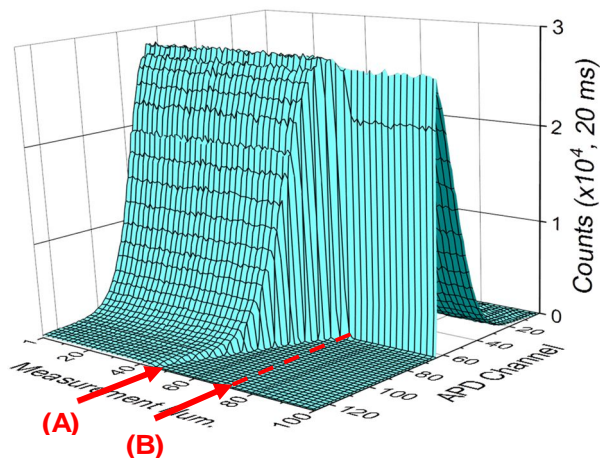


図2 入射 X 線ビームの半分がスリットにより遮られる様子を連続測定。20 ms ごとに記録。測定回数 no.49 (A) でスリットがビームを遮り始め、no.73 (B) で中心付近に到達。

(3) 重元素 (ジルコニウム、ハフニウム、ビスマス) 酸化物ナノ粒子を含有させたプラスチックシンチレータ (PLS) について東京インキ株の協力を得て実用レベルのシンチレータ製作に成功した。X 線エネルギーを核共鳴散乱実験の対象核種である Ni-61 の励起準位と同じ 67.4 keV として、厚さ 1mm の検出効率: >10%、発光寿命は 2ns 以下、発光効率: >10% (NaI:TI 比) が得られる高速シンチレータを目指して特性評価を行った。酸化ハフニウム (HfO₂) ナノ粒子添加 PLS では、40 重量 (wt) % の試料 (8mm 径、厚さ 3mm) で市販品 (鉛 5wt% 含有。EJ-256) と比べ検出効率は 7 倍以上 (49%、18%/mm) 時間分解能 (FWHM) は 0.46 ns から 0.32 ns に改善 (発光寿命 < 2 ns) それでも発光効率は市販品の ~80% を維持 (4100 光子/MeV。NaI:TI の ~10%) という結果であった。図 3 に HfO₂ ナノ粒子添加 PLS、40wt% と 60wt% の試料 (8mm 径、厚さ 3mm) の写真を示す。ZrO₂ ナノ粒子含有 PLS の結果は国際会議 SCINT2019 で、HfO₂-PLS については国際会議 2019 IEEE-NS で発表した。また、それぞれについて論文で報告を行った (IEEE Trans. NS, 67 (2020)983 および IEEE Trans. NS, 68 (2021) 165)。2020 年 12 月にはプラスチックシンチレータ製造に関する特許 (酸化ジルコニウムおよび酸化ハフニウムのナノ粒子を含む PLS が対象) も登録された。この成



図3 HfO₂ ナノ粒子添加 PLS : 40wt% (左) と 60wt% (右) の試料 (8mm 径、厚さ 3mm) の写真。

果を受けて Bi_2O_3 -PLS の製作に取り組み、これまでに酸化ビスマス・ナノ粒子を 40wt%まで含有させた PLS の製作に成功している。この PLS 製作についても 2021 年 4 月に特許を出願した。これらの重元素含有 PLS を使用して、受光素子に光電子増倍管 (PMT)、ガイガーモード Si-APD (MPPC)、また比例モード Si-APD を使うシンチレーション X 線検出器の開発を進め、その進展を適宜、応用物理学会、日本物理学会などで発表した。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計7件（うち査読付論文 7件 / うち国際共著 0件 / うちオープンアクセス 0件）

1. 著者名 Kishimoto Shunji, Toda Akehiro	4. 巻 68
2. 論文標題 High-Energy and High-Rate X-Ray Measurements Using HfO ₂ Nanoparticle-Loaded Plastic Scintillator	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 IEEE Transactions on Nuclear Science	6. 最初と最後の頁 165 ~ 172
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1109/TNS.2020.3048943	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -
1. 著者名 Toda Akehiro, Kishimoto Shunji	4. 巻 67(2)
2. 論文標題 X-Ray Detection Capabilities of Plastic Scintillators Incorporated With ZrO ₂ Nanoparticles	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 IEEE Transactions on Nuclear Science	6. 最初と最後の頁 983 ~ 987
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1109/TNS.2020.2978240	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -
1. 著者名 S. Kishimoto, M. Koshimizu, F. Hiyama, R. Haruki, F. Nishikido	4. 巻 968
2. 論文標題 Measurements of 73-keV X-ray time spectrum with avalanche-photodiode scintillation detector using Bi ₂ O ₃ -nanoparticle-doped plastic scintillator	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Nuclear Inst. and Methods in Physics Research, A	6. 最初と最後の頁 163908
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1016/j.nima.2020.163908	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -
1. 著者名 S. Kishimoto, R. Haruki, M. Tanaka, and T. Mitsui	4. 巻 58
2. 論文標題 Nuclear Bragg reflection of 57FeB ₂ O ₃ in radio-frequency magnetic field observed with Si-APD linear array detector	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Japanese Journal of Applied Physics	6. 最初と最後の頁 016501-1 ~ 6
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.7567/1347-4065/aae89c	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 S. Kishimoto, T. Mitsui, R. Haruki, S. Shimazaki, and M. Tanaka	4. 巻 2054
2. 論文標題 64- and 128-pixel Si-APD linear array x-ray detectors with 0.5 ns time resolution	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 AIP Conference Proceedings	6. 最初と最後の頁 060068-1~6
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1063/1.5084699	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Inoue Keisuke, Kobayashi Yasuhiro, Yoda Yoshitaka, Koshimizu Masanori, Nishikido Fumihiko, Haruki Rie, Kishimoto Shunji	4. 巻 880
2. 論文標題 Measurement of nuclear resonant scattering on ^{61}Ni with fast scintillation detector using proportional-mode silicon avalanche photodiode	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section A: Accelerators, Spectrometers, Detectors and Associated Equipment	6. 最初と最後の頁 87-91
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.nima.2017.10.029	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 K. Inoue, M. Koshimizu, F. Hiyama, K. Asai, F. Nishikido, R. Haruki, and S. Kishimoto	4. 巻 65
2. 論文標題 Fast Scintillation X-Ray Detector Using Proportional-Mode Si-APD and a HfO ₂ -Nanoparticle-Doped Plastic Scintillator	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 IEEE Trans. on Nucl. Sci.	6. 最初と最後の頁 1012-1017
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1109/TNS.2018.2807801	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

〔学会発表〕 計21件 (うち招待講演 1件 / うち国際学会 6件)

1. 発表者名 岸本 俊二
2. 発表標題 128チャンネルSi-APDリニアアレイX線検出器 による20ms連続測定
3. 学会等名 日本物理学会 第76回年次大会 領域10
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 岸本俊二, 戸田明宏
2. 発表標題 Hf02添加プラスチックシンチレーション検出器による50keV X線の高計数率測定
3. 学会等名 日本物理学会・2020年秋季大会 領域10
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 岸本俊二, 戸田明宏, 錦戸文彦
2. 発表標題 Hf02-PLS搭載シンチレーション検出器による Hf K吸収端前後X線エネルギーでの測定
3. 学会等名 第81回応用物理学会秋季学術講演会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 岸本俊二
2. 発表標題 ナノ秒時間分解X線イメージング・システムのエネルギー特性
3. 学会等名 日本物理学会 2019年秋季大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 岸本俊二
2. 発表標題 128 チャンネルSi-APD リニアアレイX線検出器システムの改良
3. 学会等名 日本物理学会 第75回年次大会 (2020年)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 岸本 俊二, 戸田 明宏
2. 発表標題 Hf02-PLS搭載MPPCシンチレーション検出器による高エネルギーX線測定
3. 学会等名 第80回応用物理学会秋季学術講演会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 戸田 明宏, 岸本 俊二
2. 発表標題 酸化ハフニウムナノ粒子充填プラスチックシンチレータのX線検出特性
3. 学会等名 第80回応用物理学会秋季学術講演会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 岸本 俊二, 戸田 明宏
2. 発表標題 Hf02ナノ粒子プラスチックシンチレータ搭載 Si-APDシンチレーション検出器のX線検出特性
3. 学会等名 第33回日本放射光学会年会・放射光科学合同シンポジウム
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 戸田 明宏, 岸本 俊二
2. 発表標題 酸化ハフニウムナノ粒子充填プラスチックシンチレータのX線検出特性
3. 学会等名 第67回応用物理学会春季学術講演会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Akehiro Toda and Shunji Kishimoto
2. 発表標題 X-ray detection capabilities of plastic scintillators incorporated with ZrO ₂ nanoparticles
3. 学会等名 Conference on scintillating materials and their applications (SCINT 2019) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Shunji Kishimoto and Akehiro Toda
2. 発表標題 High-energy and high-rate X-ray counting with HfO ₂ nanoparticle-doped plastic scintillator
3. 学会等名 2019 Nuclear Science Symposium (NSS) and Medical Imaging Conference(2019 IEEE NSS-MIC) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 岸本 俊二, 春木 理恵, 越水 正典, 樋山 史幸, 錦戸 文彦
2. 発表標題 Bi203-PLS搭載比例モードAPDシンチレーション検出器による73keV X線時間スペクトル測定
3. 学会等名 第79回応用物理学会秋季学術講演会 2.2 検出器開発
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 岸本 俊二, 春木 理恵
2. 発表標題 128チャンネル・30 μm厚Si-APD ピクセルアレイの性能評価
3. 学会等名 第32回日本放射光学会年会・放射光科学合同シンポジウム
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 岸本 俊二, 春木 理恵, 三井 隆也, 田中 真伸 他
2. 発表標題 Si-APDリニアアレイX線検出器による 時間分解イメージング
3. 学会等名 日本物理学会・第74回年次大会(2019年) 領域10
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Shunji Kishimoto, Masako Sakamaki, Kenta Amemiya
2. 発表標題 Measurements of low-energy X-rays with a scintillation detector using an MPPC
3. 学会等名 5th International Workshop on New Photon-Detectors (PD18) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 S. Kishimoto, T. Mitsui, R. Haruki, S. Shimazaki, and M. Tanaka
2. 発表標題 64- and 128-pixel Si-APD linear array X-ray detectors with 0.5 ns time resolution
3. 学会等名 The 13th International Conference on Synchrotron Radiation Instrumentation (SRI 2018) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 S. Kishimoto, R. Haruki, and T Mitsui
2. 発表標題 X-ray measurements with sub-nanosecond resolution of Si-APD linear array detector
3. 学会等名 BIT's 7th Annual Conference of AnalytiX-2019 (AnalytiX-2019) (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 岸本 俊二、三井 隆也、春木 理恵、田中 真伸
2. 発表標題 64ピクセル・Si-APDリニアアレイ検出器による $^{57}\text{FeB03}(333)$ のRF磁場印加測定
3. 学会等名 第78回応用物理学会 2.2 検出器開発
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 岸本 俊二、春木 理恵
2. 発表標題 Si-APDピクセルアレイによる電子線検出
3. 学会等名 第31回日本放射光学会年会・放射光科学合同シンポジウム
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 岸本 俊二、酒巻 真粧子、雨宮 健太
2. 発表標題 MPPCシンチレーション検出器による低エネルギーX線測定
3. 学会等名 第65回応用物理学会春季学術講演会 2.2 検出器開発
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 K. Inoue, M. Koshimizu, F. Hiyama, K. Asai, F. Nishikido, R. Haruki, and S. Kishimoto
2. 発表標題 Fast scintillation X-ray detector using proportional-mode Si-APD and a HfO ₂ -nanoparticle-doped plastic scintillator
3. 学会等名 14th Int. Conference on Scintillating Materials and their Applications (SCINT2017) (国際学会)
4. 発表年 2017年

〔図書〕 計0件

〔出願〕 計1件

産業財産権の名称 プラスチックシンチレータおよびその製造方法	発明者 戸田 明宏, 岸本 俊二	権利者 同左
産業財産権の種類、番号 特許、特願2021-068191	出願年 2021年	国内・外国の別 国内

〔取得〕 計1件

産業財産権の名称 プラスチックシンチレータおよびその製造方法	発明者 戸田 明宏, 岸本 俊二	権利者 同左
産業財産権の種類、番号 特許、6810941	取得年 2020年	国内・外国の別 国内

〔その他〕

<p>(1)Si-APDによるX()線用ピクセルアレイ検出器の開発 http://rd.kek.jp/project/fpix/index_j.html (2)高速シンチレータの開発 (FSCI) http://rd.kek.jp/project/fsci/index_j.html</p> <p>(1)はKEK測定器開発室 (DTP) ホームページ内のFPiXプロジェクトのページを示す。KEK-DTPプロジェクトとしてFPiXプロジェクトは終了したが引き続き成果については追記予定。 (2)はKEK測定器開発室 (DTP) ホームページ内のFSCIプロジェクトのページを示す。</p>

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究分担者	田中 真伸 (TANAKA Manobu) (00222117)	大学共同利用機関法人高エネルギー加速器研究機構・素粒子 原子核研究所・教授 (82118)	
研究分担者	足立 伸一 (ADACHI Shin-ichi) (60260220)	大学共同利用機関法人高エネルギー加速器研究機構・物質構 造科学研究所・教授 (82118)	
研究分担者	春木 理恵 (HARUKI Rie) (30404031)	大学共同利用機関法人高エネルギー加速器研究機構・物質構 造科学研究所・研究員 (82118)	

6. 研究組織（つづき）

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
連携研究者	三井 隆也 (MITSUI Takaya) (20354988)	国立研究開発法人量子科学技術研究開発機構・関西光科学研究所 放射光科学研究センター・上席研究員 (82502)	
連携研究者	越水 正典 (KOSHIMIZU Masanori) (40374962)	東北大学・工学(系)研究科(研究院)・准教授 (11301)	
連携研究者	錦戸 文彦 (NISHIKIDO Fumihiko) (60367117)	国立研究開発法人量子科学技術研究開発機構・放射線医学総合研究所 計測・線量評価部・研究員 (82502)	
連携研究者	内田 智久 (UCHIDA Tomohisa) (40435615)	大学共同利用機関法人高エネルギー加速器研究機構・素粒子原子核研究所・准教授 (82118)	
連携研究者	島崎 昇一 (SHIMAZAKI Shoichi) (80391803)	大学共同利用機関法人高エネルギー加速器研究機構・素粒子原子核研究所・専門技師 (82118)	
連携研究者	瀬戸 誠 (SETO Makoto) (40243109)	京都大学・原子炉実験所・教授 (14301)	

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------