

## 科学研究費助成事業 研究成果報告書

令和元年6月7日現在

機関番号：82118

研究種目：新学術領域研究(研究領域提案型)

研究期間：2013～2017

課題番号：25109008

研究課題名(和文)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

研究課題名(英文)Imaging for the studies of spatial hierarchy structure and dynamics using synchrotron radiation

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) 95,600,000円

研究成果の概要(和文)：SOI(Silicon On Insulator)技術によるX線用計数型ピクセルセンサーの開発をテストチップ製作から行い放射光X線によって評価した。電荷分配対策回路を装備した高機能化や4keV以下の軟X線検出のための薄い空乏層のチップなどの開発に成功した。また、SOI技術に基づく電荷積分型ピクセルセンサーSOPHIAS(C01班が開発)を使って放射光X線小角散乱やX線回折実験を実施しピクセルサイズ30 $\mu\text{m}$ という高精細さを活かして高分子材料などの特徴ある構造を示すデータを得ることができた。

研究成果の学術的意義や社会的意義

新しい物質材料や生体高分子などの構造や機能を探るためのX線2次元検出器の基礎開発と放射光X線を使う実験への応用を行った。X線を一つ一つ区別して数える方式の微細なピクセルからなる検出器の基礎となるテスト用チップをSOI技術と呼ばれる方式で製作し、その有効性をしめすことができた。また、同じSOI技術を使ったもので、X線によって発生する電荷を集めて画像として記録することができる積分型検出器・SOPHIASを使って放射光X線実験を行った。SOPHIAS検出器を使ってX線散乱の様子を調べることで、新しい材料として注目される試料に特徴的な分子構造を証明することに成功した。

研究成果の概要(英文)：We developed some tips of test element groups(TEGs) for X-ray counting-type pixel sensor, based on the SOI(Silicon On Insulator) technology. We evaluated the TEGs using synchrotron X-rays, and the charge comparing circuit and the thin structure for detecting soft X-rays were successfully confirmed by the experiments. We also used the SOPHIAS detector that was developed by the C01 group, for synchrotron X-ray experiments of the X-ray small scattering and of the X-ray diffraction. A new phase of a polymer material was surely determined by using a fine pixel size of 30  $\mu\text{m}$  of the SOPHIAS detector.

研究分野：放射光X線科学

キーワード：放射光X線 X線検出器 ピクセルアレイ SOI技術 計数型 2次元画像

## 様式 C-19、F-19-1、Z-19、CK-19 (共通)

### 1. 研究開始当初の背景

次世代太陽電池や光触媒への応用が期待される光反応性金属錯体の励起分子構造解析、光合成反応中心タンパク質の構造研究などのため、放射光パルス X 線ビームを使った時間分解 X 線回折実験や分光実験が展開されてきた。また結晶構造・磁気構造解析からマルチフェロイック薄膜での大きな電気分極の起源を明らかにするような先端的機能性材料の開発につながる研究が放射光 X 線を用いて行われている。しかし、回折強度分布のこれまでの測定は主に CCD (電荷結合素子) X 線検出器を使って行われてきたため、信号のダイナミックレンジや応答速度の制約があった。最近では、より大きな信号/雑音比や計数値ダイナミックレンジの広さ、信号処理速度の優位さからシリコンフォトダイオードを検出素子とするパルス型のピクセルアレイ検出器 (PAD) が多くの放射光施設に導入されるようになった。Dectris 社・Paul Scherrer Institute (スイス) による PILATUS (<http://pilatus.web.psi.ch/>)、その後継機として 2013 年から投入された EIGER がよく知られている。これらの PAD はセンサーと信号処理回路とをバンプボンディングを介してつなぐハイブリッド型検出器である。EIGER はピクセルサイズを 75  $\mu\text{m}$  角まで小さくし、12 ビットで 8kHz (0.125 ミリ秒) 高速のデータ読み出しが可能になった。しかしながら、ピクセルサイズを 50  $\mu\text{m}$  程度以下にしようとする、バンプボンディングがピクセル高精細化を困難にする。

一方、本・新学術研究代表者の新井らが開発してきた SOI 技術によれば、X 線センサーと信号処理回路系の一体化が実現できるため、カウンタを備えた計数型センサーでもピクセルサイズを 50  $\mu\text{m}$  以下とする高精細化が可能である。放射光 X 線を使った X 線構造解析では一辺が数 100mm サイズの領域の画像を記録することが多く、数 mm サイズ以下の回折像を判別、強度分布の解析が行われる。その場合、空間分解能 100  $\mu\text{m}$  がひとつの目安となっている。最近の研究では、隣接した回折像の、より精密な識別や、4keV 以下の軟 X 線領域で測定するため真空槽内に検出器を設置する要求などによる装置自体の小型化が必要とされる。試料と検出器が接近すると、画像測定領域は狭まって検出器側に 50  $\mu\text{m}$  以下の、より高い空間分解能が求められる。また、試料に外場からの刺激を与えて物質構造の時間変化を研究することは、新奇機能性エレクトロニクス材料の開発などに不可欠となっている。そのため、1 フレームあたりの画像検出器のデータ記録を高速化することが要求される。電場や熱、圧力などの刺激を受けて試料の原子構造がある範囲で変化するひとつの目安は、0.1-1 ミリ秒である。カウント数のダイナミックレンジは 16 ビット (65k) が望ましい。精密 X 線構造解析を実施しドメイン構造の電場応答などを探る上で、バンプボンディングを介さず X 線センサーと回路が一体化した SOI による高精細・高速ピクセル検出器の開発は欠かせない。さらにメモリ内蔵によるマイクロ秒やそれ以下の高速現象の連続記録を可能とするような測定をもぜひ実現したいと考えた。

### 2. 研究の目的

(1) SOI 技術によりピクセルサイズ: 50  $\mu\text{m}$  角、20mm $\times$ 20mm サイズの X 線受光域を有する 2 次元パルス計数型検出器を実現する。1 フレーム 160k ピクセルのうち、注目する領域を選択して 1  $\mu\text{s}$ ・連続 8 枚 (または 10-20  $\mu\text{s}$ ・連続 64 枚)、ピクセルあたりのデータ容量 16 ビットでデータをメモリに格納する。このようにマイクロ秒オーダーで時間分解測定する性能を活かして時間分解 X 線構造解析による光反応性分子の電子状態の研究に応用する。

(2) さらに (1) の SOI 素子をタイル配置することによって 2 次元検出器の X 線受光域を 20mm $\times$ 200mm サイズまで拡大、小角散乱実験および X 線回折・散乱実験に応用する。

(3) 4keV 以下、2keV 程度までの軟 X 線領域での高空間分解能による研究に用いるため、真空仕様・薄い空乏層による電荷拡散抑制を実現する。30  $\mu\text{m}$  角ピクセル、20mm $\times$ 20mm サイズ (4M ピクセル) 以上の X 線画像検出器により、高精細とタイミング性能を両立させた新しい研究領域を開拓する。

### 3. 研究の方法

#### (1) 第 1 段階 (FY2013~FY2015)

研究目的 (1) に掲げた計数型 SOI センサー製作に技術的課題が残されていたため、計数型 TEG (Test Element Group) の設計から開始した。ピクセルサイズ: 64  $\mu\text{m}$  角、2mm $\times$ 2mm サイズ、32 $\times$ 32 アレイを有する SOI による計数型 TEG (CPIXTEG1) について、計画研究 A01 班: 新井らの協力を得て回路構成を決め、エーアールテック(株)に設計の実作業を委託した。6mm 角 TEG チップとして 2014 年 1 月の MPW ランに投入した。「double SOI」仕様によりセンサーで検出される電荷の回路部への影響を避けてアレイ全体の安定動作を目指すものである。P 型ウェハ仕様、空乏層厚 300  $\mu\text{m}$ 、閾値 1 入力のディスクリミネータ、10MHz・16 ビットのカウンタからなる回路から構成される。ピクセル回路内でのクロストーク対策、各ピクセルの閾値ばらつきへの対応を課題として、いくつかの回路パラメータによるテストができるように設計されたものだった。

研究目的 (2) のような SOI 検出器の放射光実験への応用を速やかに進めるため、計画研究 C01 班で開発中の積分読み出し型 SOI センサー (ピクセルサイズ 30  $\mu\text{m}$ ) による「SOPHIAS 検出器」の PF ビームライン BL-14A でのテスト実験を行うとともに、新アンジュレータビームライン BL-15A2、BL-8A などに設置、小角散乱や X 線回折実験を実施し、ピクセルサイズ 30  $\mu\text{m}$  という高精細さを活かした応用を開始した。

## (2) 第2段階 (FY2016~2017)

KEK側で製作された計数型TEG(CPIXTEG1)だけでなく、先行して中国・高能研(IHEP)とKEKとで共同製作されたTEG:CPIXTEG3bのX線ピクセルセンサーとしての性能評価をPF・BL-14Aの放射光X線ビームを使ってIHEPとの共同研究として開始した。さらにCNPIX1(ピクセルサイズ<math>< 50 \mu\text{m}</math>/六角形、ピクセル数:82k、電荷分配対策回路を装備。図1)を共同で設計、MPWランにより製作し、その特性評価のための読み出し回路基板への実装等を行なおうとした。その途中、残念ながら設計不具合が見つかったためCNPIX1を改良したTEG:CNPTEG1を新たにMPWランに投入、製作した。一方、KEKでは独自にパルス計数型TEG:CPIXTEG2をMPWランにより製作した。このTEGは第1段階のCPIXTEG1を改良し、かつセンサー厚さを75 $\mu\text{m}$ 、不感層厚さを0.5 $\mu\text{m}$ 以下とする裏面処理を行ったTEGである。研究目的(3)に向けて2keVまでの低エネルギーX線を照射しX線1光子による信号を検出する試験を進めようとした。また、10 $\mu\text{m}$ 径以下のマイクロX線ビームを取り出すためのピンホール製作など、ピクセル性能試験が可能な環境を、実験を行う放射光科学研究施設(PF)ビームライン側で整備した。2017年9月、TEGチップCNPTEG1の製造過程で、想定しなかったウェハの"反り"が見つかり、"反り"を軽減する検討と処置を行うために6か月を要した。その結果、チップ製作・納入は2018年3月にずれ込むことになった。そのため、当初の予定より時期を半年ずらして性能評価を実施することになった。

電荷積分型SOIセンサー「SOPHIAS検出器」によるX線検出器システムの放射光利用研究での応用実験を本格化するため、精細なピクセルサイズを活かした小角散乱やX線回折実験を引き続き実施した。BL-8Aでは温度によって相転移する誘電体試料を使ったX線回折像の記録、BL-15A2では高分子材料のブロックコポリマーを試料とするX線小角散乱像の取得を行なった。

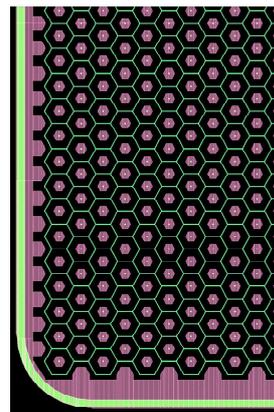


図1 CNPTEG1のピクセル配列

## 4. 研究成果

### (1) Middle Si層をもつダブルSOI構造によるTEG:CPIXTEG1

およびCPIXTEG2)を製作・評価して、センサーで検出された放射線による電荷の回路部への影響を避けてピクセルアレイ全体の安定動作させることが可能であることを示した。さらに、CPIXTEG3bの評価、CNPTEG1の共同設計・製作を経てPF・BL-14Aでの放射光X線ビームによるX線ピクセルセンサーとしての性能評価を中国・高能研(IHEP)と共同研究として行なった。このTEGは隣接ピクセル間での電荷共有による計数問題(多重計数または計数欠損を生じる)に対応する電荷分配対策回路を新しく搭載したものである。チップ納入後、TEG用読み出し回路基板を製作し電子回路の動作試験・データ読み出し試験を事前に進め、放射光科学研究施設(PF)のビームラインBL-14AにてマイクロX線ビームを使ってピクセルごとに評価することを行った。この実験はTEGを共同で設計した中国IHEPグループをKEK短期招聘研究員として招くなどして合同で行った。その結果、TEGに組み込ヨルド時の多重計数を有効に抑制することが確認できた(図2)。これらTEG評価の結果について下の(2)の結果と合わせ、日本放射光学会、日本物理学会、国際会議SRI2015、PIXEL2016、SRI2018で発表した。

(2)センサー厚さ75 $\mu\text{m}$ と薄くした計数型TEGを製作し軟X線用センサーとしての開発を進めた。MPWランにより製作したパルス計数型TEG:CPIXTEG2(センサー厚さ:75 $\mu\text{m}$ 、不感層厚さ:0.5 $\mu\text{m}$ 以下とする裏面処理を行ったもの)を6keVのX線を照射して不感層厚さなどを評価した。10 $\mu\text{m}$ 程度の不感層が存在する結果となったが、今後、改良する予定である。

(3)SOPHIAS検出器を使ってBL-8Aでは温度によって相転移する誘電体試料を使ったX線回折像の記録、BL-15A2では高分子材料のブロックコ

ポリマーを試料とするX線小角散乱像の取得を行なった。30 $\mu\text{m}$ サイズ・ピクセルによる高い空間分解能によって、隣接したX線回折ピークを分離し試料条件に応じた特徴ある構造を示すデータを得ることができた。これらの結果について日本放射光学会、日本物理学会、国際会議SOPIX2015、TIPP2017で発表した。小角散乱の結果について論文にまとめ発表した。

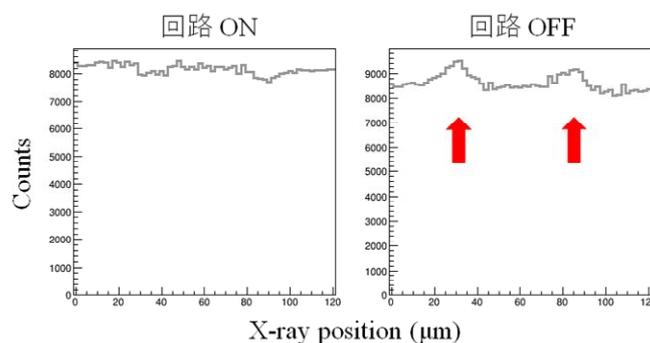


図2 電荷分配対策回路のON/OFFによる計数の変化

## 5. 主な発表論文等

[雑誌論文](計9件)

R. Hashimoto, Y. Arai, N. Igarashi, R. Kumai, I. Kurachi, T. Miyoshi, R. Nishimura,

and S. Kishimoto, "Test result of the synchrotron radiation experiments using the counting-type SOI pixel for low-energy x-rays", AIP Conf. Proc., 査読有, 2054, 2019, 060069.

DOI: 10.1063/1.5084700

H. Takagi, R. Hashimoto, N. Igarashi, K. Yamamoto, "High spatial resolution small angle X-ray scattering experiments using SOPHIAS detector", Nuclear Inst. and Methods in Physics Research, A, 査読有, 924, 2019, 417-421.

DOI: 10.1016/j.nima.2018.09.073

H. Takagi, R. Hashimoto, N. Igarashi, S. Kishimoto, and K. Yamamoto, "Synchrotron SAXS Studies on lattice Structure of Spherical Micelles in Binary Mixtures of Block Copolymers and Homopolymers", J. Fiber Sci. Technol., 査読有, 74, 2018, 10-16.

DOI: 10.2115/fiberst.2018-0002

L. Song, Y. Lu, R. Hashimoto, R. Nishimura, S. Kishimoto, Y. Zhou, Z. Wu, Y. Arai, Q. Ouyang, "Performance evaluation of an SOI pixel sensor with in-pixel binary counters", Radiation Detection Technology and Methods, 査読有, 2, 2018, 12.

DOI: 10.1007/s41605-018-0043-5

R. Hashimoto, Y. Arai, N. Igarashi, R. Kumai, H. Takagi, S. Kishimoto, T. Kudo, and T. Hatsui, "Application of the SOPHIAS detector to synchrotron radiation X-ray experiments", Proc. of International Conference on Technology and Instrumentation in Particle Physics 2017, 査読有, Vol. 2, 2018, 263-266.

DOI: 10.1007/978-981-13-1316-5\_49

H. Takagi, R. Hashimoto, N. Igarashi, S. Kishimoto, "Frank-Kasper phase in polybutadiene-poly( $\epsilon$ -caprolactone) diblock copolymer/polybutadiene blends", J. Phys.: Condens. Matter, 査読有, 29, 2017, 204002.

DOI: 10.1088/1361-648X/aa6908

R. Hashimoto, Y. Arai, N. Igarashi, R. Kumai, Y. Lu, T. Miyoshi, R. Nishimura, Q. Ouyang, Y. Zhou and S. Kishimoto on behalf of SOIPIX collaboration, "Evaluation of a pulse counting type SOI pixel using synchrotron radiation X-ray", J. of Instrumentation, 査読有, 12, 2017, C03061.

DOI: 10.1088/1748-0221/12/03/C03061

Y. Zhou, Y. Lu, R. Hashimoto, R.

Nishimura, S. Kishimoto, Y. Arai and Q. Ouyang, "Synchrotron beam test of a photon counting pixel prototype based on Double-SOI technology", J. of Instrumentation, 査読有, 12, 2017, C01037.

DOI: 10.1088/1748-0221/12/01/C01037

R. Hashimoto, Y. Arai, N. Igarashi, R. Kumai, T. Miyoshi, and S. Kishimoto, "Test results of a counting type SOI device for a new x-ray area detector", AIP Conference Proceedings, 査読有, 1741, 2016, 040031.

DOI: 10.1063/1.4952903

#### [学会発表](計19件)

橋本 亮, 岸本 俊二, 熊井 玲児, 五十嵐 教之, 新井 康夫, 三好 敏喜, 西村龍太郎, 「計数型 SOI TEG の放射光 X 線による評価(6)」, 日本物理学会 第 74 回年次大会(2019 年), 2019 年 03 月 14 日~2019 年 03 月 17 日, 九州大学伊都キャンパス

橋本 亮, 新井 康夫, 五十嵐 教之, 熊井 玲児, 三好 敏喜, 西村 龍太郎, 岸本 俊二, 「SOI 技術によるパルス計数型ピクセル検出器の性能評価」, 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, 2019 年 1 月 9 日~11 日, 福岡国際会議場

R. Hashimoto, Y. Arai, N. Igarashi, R. Kumai, I. Kurachi, T. Miyoshi, R. Nishimura and S. Kishimoto, "Test result of the synchrotron radiation experiments for the counting type SOI pixel for the low energy X-ray", The 13th International Conference on Synchrotron Radiation Instrumentation (SRI 2018) (国際学会), 2018 年 6 月 10 日~6 月 15 日, Taipei International Convention Center(台湾)

橋本 亮, 岸本 俊二, 熊井 玲児, 五十嵐 教之, 新井 康夫, 三好 敏喜, 西村龍太郎, 「計数型 SOI TEG の放射光 X 線による評価(5)」, 日本物理学会 第 73 回年次大会(2018 年), 2018 年 3 月 22 日~2018 年 3 月 25 日, 東京理科大学野田キャンパス

橋本 亮, 岸本 俊二, 熊井 玲児, 五十嵐 教之, 春木 理恵, 小林 賢介, 工藤 統吾, 寺西 信一, 初井 宇記, 西村 龍太郎, 「SOI 二次元検出器 SOPHIAS によるクロコン酸の X 線回折実験」, 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, 2018 年 1 月 8 日~1 月 10 日, つくば国際会議場

R. Hashimoto, S. Kishimoto, R. Kumai, N. Igarashi, Y. Arai, I. Kurachi, T. Miyoshi, R. Nishimura, "Synchrotron radiation X-ray experiments for a pulse-counting type SOI pixel for the soft X-ray measurements", 11th International "Hiroshima" Symposium on the Development and Application of Semiconductor Tracking Detectors (HSTD11) in

conjunction with 2nd Workshop on SOI Pixel Detectors (SOIPIX2017) (国際学会), 2017年12月11日~12月15日, 沖縄科学技術大学院大学

橋本 亮, 新井 康夫, 五十嵐 教之, 熊井 玲児, 三好 敏喜, 西村龍太郎, 岸本 俊二, 「計数型 SOI TEG の放射光 X 線による評価 (4)」, 日本物理学会 2017 年秋季大会, 2017 年 9 月 21 日~2017 年 9 月 24 日, 岩手大学

R. Hashimoto, N. Igarashi, R. Kumai, H. Takagi, S. Kishimoto, T. Kudo, T. Hatsui, “Application of the SOPHIAS Detector to Synchrotron Radiation X-ray Experiments”, International Conference on Technology and Instrumentation in Particle Physics 2017 (TIPP2017)(国際会議), 2017 年 5 月 22 日~5 月 26 日, Beijing International Convention Center

橋本 亮, 岸本 俊二, 熊井 玲児, 五十嵐 教之, 新井 康夫, 三好 敏喜, 西村龍太郎, 「計数型 SOI TEG の放射光 X 線による評価 (3)」, 日本物理学会第 72 回年次大会 (2017 年), 2017 年 3 月 17 日~2017 年 3 月 20 日, 大阪大学豊中キャンパス

岸本 俊二, 「ピクセル検出器評価用金製 3 $\mu$ m 径ピンホール X 線ビーム」, 日本物理学会 第 72 回年次大会 (2017 年), 2017 年 3 月 17 日~2017 年 3 月 20 日, 大阪大学豊中キャンパス

西村 龍太郎, 新井 康夫, 三好 敏喜, 平野 馨一, 岸本 俊二, 橋本 亮, 「SOI ピクセルディテクタ用新型 DAQ システムの開発現況について」, 日本物理学会 第 72 回年次大会 (2017 年), 2017 年 3 月 17 日~2017 年 3 月 20 日, 大阪大学豊中キャンパス

橋本 亮, 岸本 俊二, 熊井 玲児, 五十嵐 教之, 高木 秀彰, 工藤 統吾, 初井 宇記, 西村 龍太郎, 「SOI 二次元検出器 SOPHIAS によるブロック共重合体の小角散乱実験」, 第 30 回日本放射光学会年会・放射光科学合同シンポジウム, 2017 年 1 月 7 日~1 月 9 日, 神戸芸術センター

R. Hashimoto, Y. Arai, N. Igarashi, R. Kumai, T. Miyoshi and S. Kishimoto, “Test results of a counting type SOI device for a new X-ray area detector”, 8th International Workshop on Semiconductor Pixel Detectors for Particles and Imaging (PIXEL2016) (国際学会), 2016 年 9 月 5 日~2016 年 9 月 9 日, セストリレバンテ (イタリア)

橋本 亮, 新井 康夫, 五十嵐 教之, 熊井 玲児, 三好 敏喜, 西村龍太郎, 岸本 俊二, 「計数型 SOI TEG の放射光 X 線による評価 (2)」, 日本物理学会 2016 年秋季大会, 2016 年 9 月 13 日~2016 年 9 月 16 日, 金沢大学角間キャンパス

橋本 亮, 岸本 俊二, 熊井 玲児, 五十嵐 教之, 初井 宇記, 工藤 統吾, 「電荷積分型 SOI 二次元検出器 SOPHIAS を用いた X 線回折/X 線小角散乱実験の状況」, 日本物理学会第 71 回年次大会, 2016 年 3 月 19 日~3 月 22 日, 東北学院大学泉キャンパス

橋本 亮, 新井 康夫, 五十嵐 教之, 熊井 玲児, 三好 敏喜, 西村龍太郎, 岸本 俊二, 「計数型 SOI TEG の放射光 X 線による評価」, 日本物理学会 2015 年秋季大会, 2015 年 9 月 16 日~2015 年 9 月 19 日, 関西大学千里山キャンパス

R. Hashimoto, Y. Arai, N. Igarashi, R. Kumai, T. Miyoshi and S. Kishimoto, “Test results of a counting type SOI device for a new X-ray area detector”, The 12th International Conference on Synchrotron Radiation Instrumentation (SRI 2015) (国際学会), 2015 年 7 月 6 日~2015 年 7 月 10 日, ニューヨーク (USA)

R. Hashimoto, N. Igarashi, R. Kumai and S. Kishimoto, “Application of SOI Area Detectors to Synchrotron Radiation X-ray Experiments”, International Workshop on SOI Pixel Detector (SOIPIX2015) (国際学会), 2015 年 6 月 3 日~2015 年 6 月 6 日, 東北大学 (宮城県仙台市)

橋本 亮, 岸本 俊二, 熊井 玲児, 五十嵐 教之, 新井 康夫, 三好 敏喜, 初井 宇記, 工藤 統吾, 「放射光 X 線による物質構造解析のための二次元 SOI ピクセル検出器の評価」, 第 28 回日本放射光学会年会・放射光科学合同シンポジウム, 2015 年 1 月 10 日~1 月 12 日, 立命館大学びわこキャンパス

〔図書〕(計 0 件)

〔産業財産権〕

出願状況 (計 0 件)

名称：  
発明者：  
権利者：  
種類：  
番号：  
出願年：  
国内外の別：

取得状況（計 0 件）

名称：  
発明者：  
権利者：  
種類：  
番号：  
取得年：  
国内外の別：

〔その他〕

ホームページ等

D01 班：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

<http://soipix.jp/d01.html>

科研費・新学術研究「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25～29年度)のホームページのうち、計画研究 D01 班のページ

6. 研究組織

(1) 研究分担者

研究分担者氏名：五十嵐 教之

ローマ字氏名：(IGARASHI, noriyuki)

所属研究機関名：高エネルギー加速器研究機構

部局名：物質構造工学研究所

職名：准教授

研究者番号（8桁）：80300672

研究分担者氏名：熊井 玲児

ローマ字氏名：(KUMAI, reiji)

所属研究機関名：高エネルギー加速器研究機構

部局名：物質構造工学研究所

職名：教授

研究者番号（8桁）：00356924

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、研究者個人に帰属されます。