

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 30 年 6 月 27 日現在

機関番号：14401

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：25109009

研究課題名(和文) 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

研究課題名(英文) Rapid and high resolution molecular imaging with stigmatic imaging mass spectrometry

研究代表者

栗津 邦男(AWAZU, Kunio)

大阪大学・工学研究科・教授

研究者番号：30324817

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 87,100,000円

研究成果の概要(和文)：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装置の開発を行った。投影型イメージング質量分析の実用化にはイオンの入射位置と到達時間の両者を同時かつ高頻度に測定可能なイオン検出器の開発が必要となるため、半導体ピクセル検出器を用いた新規イオン検出器の開発を行った。平成25年度は年に2回、以降は年に1回の試作を行った。平成29年度には、これまでの試作チップの評価結果を反映させて、192 x 192ピクセルで13.75 x 15.3 mm²の最終試作チップ、同チップを動作させるための回路基板、および制御プログラムを作製し、目標としていた時間分解能1 nsでの動作を実現した。

研究成果の概要(英文)：A rapid and high resolution molecular imaging device with stigmatic imaging mass spectrometry has been developed. Since a position and time sensitive ion detector is required for practical use of stigmatic imaging mass spectrometry, novel ion detector has been developed with a semiconductor pixel detector. Prototype ion detectors have been developed two times in FY2013, and one time per year from FY2014 to FY2017. Finally, an ion detector with 192 x 192 pixels in 13.75 x 15.3 mm², its driving circuit, and control software have been developed in FY2017, and its operation at the target time resolution of 1 ns was confirmed.

研究分野：レーザー医工学、生体組織光学

キーワード：イメージング質量分析 投影型 silicon-on-insulator 3次元半導体検出器 量子イメージング

1. 研究開始当初の背景

質量分析を用いて質量と電荷数の比 m/z 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) がバイオ・医療分野、医薬品業界、工業分野など様々な分野で注目を集めている。IMS では染色や放射性同位体での標識を行わなくても特定の物質の分布を測定できるだけでなく、予め存在が予想できない物質でも質量から物質を同定し、その物質の分布を知ることができ、極微量の物質でも検出できるという利点がある。

通常の IMS は走査型 IMS と呼ばれ、厚さ 10 μm 程度に薄切した試料上にレーザーを集光し、ある点のみをイオン化させ、質量スペクトルを測定する。一定の間隔でレーザーの集光点を走査して各点での質量スペクトル測定し、試料全面から得られた質量スペクトルを統合して各 m/z におけるイオン信号強度の分布を画像化する。IMS が広く利用される前から用いられていた装置をそのまま使用でき、現在では市販の装置もあるが、空間分解能がレーザーの集光径で 10 μm 程度に制限され、精細な画像を得るためには膨大な点数を走査する必要があり、測定に数～数十時間という非常に長い時間を要する問題がある。

そこで、我々は平成 17～22 年度 JST、CREST プロジェクト「超高分解能高速イメージング質量分析装置 (質量顕微鏡) の構築」において試料全面に均一な強度分布のレーザーを照射して試料全面をイオン化させ、生成したイオンの空間分布を静電イオンレンズによって拡大し、イオンの位置と飛行時間の両者を同時に測定し得る検出器に投影する投影型 IMS 装置の開発を行った。投影型 IMS の利点は、走査型 IMS と比べて高い空間分解能で、短時間での測定が可能なことである。我々は、これまでに走査型 IMS よりも高く、投影型 IMS の中でも世界最高の空間分解能 1 μm を持つ装置の開発に成功し、生体組織からも μm オーダーの空間分解能を持ったイオン像が得られることを示した。

2. 研究の目的

投影型 IMS の実用化を阻害している最も大きな要素がイオン検出器である。現在、イオンの位置と飛行時間の両者を同時に測定できる市販の検出器はディレイライン型検出器 (独国 RoentDek 社) のみであるが、同検出器では原理上、複数のイオンが短時間に別の位置に入射すると、それらを区別することができない。このため、1 μs あたり 1 個の頻度でしかイオンを検出できず、質量分析を行うにはイオンの検出頻度が足りない。本新学術領域研究の中心となる技術である silicon-on-insulator (SOI) を用いれば、イオンの位置と飛行時間の両者を同時かつ高頻度に測定することが可能な半導体ピクセル検出器を製作することができる。本研究課題では、投影型 IMS に求められるナノ秒の時間分

解能を持った半導体ピクセル検出器を開発すると共に、イオン光学系の設計等を改善した投影型 IMS 装置を製作し、装置制御や測定の自動化を行うことにより、迅速な分子イメージングが可能な計測システムの構築を目指す。本研究で開発する生体内分子イメージング技術の実現により、バイオ・医療分野では病理研究や迅速な病理診断に加え、放射性物質の体内動態の測定などへの応用が、医薬品業界では新薬開発の高効率化が期待できる。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る。

3. 研究の方法

(1) 投影型 IMS 用イオン検出器の開発

投影型 IMS に必要となる半導体ピクセル検出器について、A01 班、A02 班の協力の下に検出器の詳細な仕様検討を行い、試作と評価を行った。平成 25 年度は、16 \times 16 ピクセルで 3 \times 3 mm^2 の試作チップ MALPIX3、および MALPIX4、これらのチップを動作させるための回路基板、および制御プログラムを製作した。また、これらの評価に用いるための IMS 用イオン源および真空容器の設計・製作を行った。平成 26～28 年度は、上記の評価結果を反映させて 64 \times 64 ピクセルで 6 \times 6 mm^2 の試作チップ MALPIX5、MALPIX6、および MALPIX7 をそれぞれの年度で製作し、評価した。平成 29 年度は、これまでの評価結果を反映させ、192 \times 192 ピクセルで 15.3 \times 13.75 mm^2 の大型最終試作チップ MALPIX8 を製作し、その評価を行った。

(2) 投影型 IMS 装置の製作

試料をコンピュータ制御により移動させるための電動ステージを備えた IMS 用イオン源を新規に設計・製作した。パルス繰返し周波数が従来の 100 倍である 1 kHz のイオン化用紫外レーザーを導入することで測定のスループットの向上を試みた。イオン化用紫外レーザーを試料へ均一な強度分布で照射するためのレーザー光学系を開発し、投影型 IMS 装置へ取り付けられた。結像収差を抑制したイオン光学系についてイオン軌道シミュレーションによる検討を行った。

(3) 試料作製法の検討

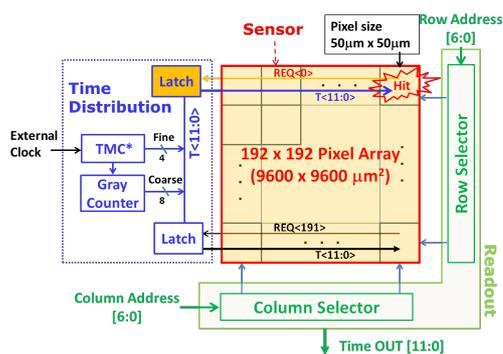
IMS では試料を厚さ数 μm 以下の切片にする必要があるため、マウスなどの動物や培養細胞などの生体から極薄試料切片を作製する方法について検討を行った。生体分子のような高分子のイオン化にはマトリックス支援レーザー脱離イオン化法 (matrix-assisted laser desorption/ionization; MALDI) が、一般的に用いられているマトリックスにゼオライトを混合することによるイオン化効率の向上を試みた。

4. 研究成果

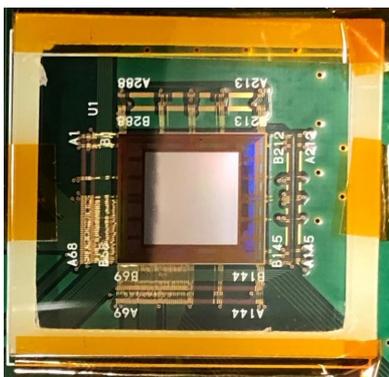
(1) 投影型 IMS 用イオン検出器の開発

投影型 IMS 用半導体ピクセル検出器の試

作チップ MALPIX3~MALPIX7 において、試作と評価を繰り返すことで、グレイコードカウンタ、ピクセル内メモリ、および目標時間分解能 1 ns を得るための回路である time memory cell (TMC) などに見られた課題を改善した。平成 27 年度に新たな課題として見つかった検出感度の向上について改良および評価を行い、単一イオンを検出可能な感度が得られていることを確認した。平成 29 年度に製作した最終試作チップである MALPIX8 の構成図、および写真を図 1 に示す。MALPIX8 において、本研究課題で目標としていた時間ダイナミックレンジ 12 bit、時間分解能 1 ns での動作を確認した。さらに、試作チップを用いてイオン像を得ることに成功した。



(a)



(b)

図 1. 最終試作チップ MALPIX8 の (a)構成図、および(b)写真。

(2) 投影型 IMS 装置の製作

試料をコンピュータ制御により移動させるための電動ステージを備えた IMS 用イオン源は当初の計画より早く平成 26 年度までに完成させた。平成 27 年度は高繰返し周波数のイオン化用紫外レーザーを導入することで測定のスループットを向上させることができた。イオン化用紫外レーザーを試料へ均一な強度分布で照射するためのレーザー光学系を開発し、投影型 IMS 装置へ取り付け、イオン像を得られることを確認した。

(3) 試料作製法の検討

MALDI で一般的に用いられているマトリックス 6-アザ-2-チオチミンに Na⁺置換型ゼオライト NaY5.6 を混合することによるイオン化効率の向上を試みた結果、抗がん剤ドセタ

キセルのイオン信号強度が約 6 倍に向上した。これにより、通常の MALDI では検出が困難であった、がん細胞内のドセタキセルを検出し、IMS を行うことに成功した。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計 14 件)

鶴本侑万, 間久直, 青木順, 豊田岐駿, 粟津邦男: “細胞スケールの投影型イメージング質量分析に向けた均一レーザー照射光学系の開発,” 電気学会 光・量子デバイス研究会資料, **OQD-17-66**, pp. 5-8 (2017) 査読無。

間久直: “レーザーイオン化を用いた投影型イメージング質量分析,” 応用物理 **86**, 402-406 (2017) 査読無。

S. Nomura, H. Hazama, Y. Kaneda, T. Fujino, K. Awazu: “Development of laser ionization techniques using zeolite matrix for imaging multiple drugs administered in cancer cells,” 電気学会 光・量子デバイス研究会資料, **OQD-17-14**, pp. 51-54 (2017) 査読無。

Y. Tachibana, Y. Nakajima, T. Isemura, K. Yamamoto, T. Satoh, J. Aoki, M. Toyoda: “High spatial resolution laser desorption/ionization mass spectrometry imaging of organic layers in an organic light-emitting diode,” *Mass Spectrom.* **5**, A0052-1-A0052-6 (2016) 査読有。

DOI: 10.5702/massspectrometry.A0052

野村秀成, 間久直, 金田安史, 藤野竜也, 粟津邦男: “ゼオライトマトリックスを用いたレーザー脱離イオン化によるがん細胞内複数薬剤のイメージング質量分析,” 電気学会 光・量子デバイス研究会資料, **OQD-16-70**, pp. 21-26 (2016) 査読無。

間久直: “投影型イメージング質量分析装置の開発秘話,” *J. Mass Spectrom. Soc. Jpn.* **64**, 35-39 (2016) 査読無。

DOI: 10.5702/massspec.S16-08

井本英志, 間久直, 廣部祥子, 岡田直貴, 中川晋作, 粟津邦男: “レーザーイオン化イメージング質量分析による経皮投与型薬剤の動態分析,” 電気学会 光・量子デバイス研究会資料, **OQD-15-49**, pp. 1-5 (2015) 査読無。

間久直, 粟津邦男: “投影型イメージング質量分析装置の開発動向,” *オプトニュース* **10**, 2-9 (2015) 査読無。

岡崎文音, 間久直, 粟津邦男: “投影型イメージング質量分析計の空間分解能向上に向けたイオン軌道シミュレーション,” 電気学会 光・量子デバイス研究会資料, **OQD-15-22**, pp. 11-15 (2015) 査読無。

H. Kannen, H. Hazama, Y. Kaneda, T. Fujino, K. Awazu: “Development of laser

ionization techniques for evaluation of the effect of cancer drugs using imaging mass spectrometry,” *Int. J. Mol. Sci.* **15**, 11234–11244 (2014) 査読有.

DOI: 10.3390/ijms150711234

J. Aoki, S. Ikeda, M. Toyoda: “Observation of accumulated metal cation distribution in fish by novel stigmatic imaging time-of-flight mass spectrometer,” *J. Phys. Soc. Jpn.* **83**, 023001-1–023001-3 (2014) 査読有. DOI: 10.7566/JPSJ.83.023001

T. Satoh, A. Kubo, H. Hazama, K. Awazu, M. Toyoda: “Separation of isobaric compounds using a spiral orbit type time-of-flight mass spectrometer, MALDI-SpiralTOF,” *Mass Spectrom.* **3**, S0027-1–S0027-5 (2014) 査読有.

DOI: 10.5702/massspectrometry.S0027

間久直, 守口直輝, 藤野竜也, 粟津邦男: “マトリックス支援レーザー脱離イオン化を用いた薬剤のイメージング質量分析に向けたゼオライトによるイオン化効率の向上,” *電学論 C* **134**, 657–663 (2014) 査読有.

DOI: 10.1541/ieejieiss.134.657

間久直, 粟津邦男: “レーザー脱離イオン化を用いた投影型質量顕微鏡の開発,” *光学* **42**, 565–567 (2013) 査読無.

〔学会発表〕(計 61 件)

藤田陽一, 新井康夫, SOIPIX グループ, 松岡久典, 本堂敏信, 間久直, 河井洋輔, 青木順, 豊田岐聡, 粟津邦男, 羅哲珍: “投影型イメージング質量分析用時間検知型半導体検出器の開発 IX,” 日本物理学会第 73 回年次大会, 東京理科大学 野田キャンパス, 千葉県野田市 (2018 年 3 月 22 日).

H. Hazama, T. Hondo, H. Matsuoka, J. Aoki, Y. Kawai, Y. Fujita, M. Ikebe, Y. Arai, M. Toyoda, K. Awazu: “Development of a position and time sensitive ion detector MALPIX for stigmatic imaging mass spectrometry,” 2nd Workshop on SOI Pixel Detector, Okinawa Institute of Science and Technology Graduate University, Onna, Okinawa, Japan (14 Dec. 2017).

Y. Fujita, Y. Arai, T. Hondo, H. Matsuoka, H. Hazama, Y. Kawai, J. Aoki, M. Toyoda, K. Awazu: “Development of a pixel ion detector for a stigmatic time-of-flight imaging mass spectrometry,” 2017 IEEE Nuclear Science Symposium and Medical Imaging Conference, Hyatt Regency, Atlanta, GA, USA (25 Oct. 2017).

藤田陽一, 新井康夫, SOIPIX グループ, 松岡久典, 本堂敏信, 間久直, 河井洋輔, 青木順, 豊田岐聡, 粟津邦男: “投影型イメージング質量分析用時間検知型半導体検出器の開発 VIII,” 日本物理学会

2017 年秋季大会, 岩手大学 上田キャンパス, 岩手県盛岡市 (2017 年 9 月 22 日). 間久直, 本堂敏信, 松岡久典, 青木順, 藤田陽一, 新井康夫, 池辺将之, 河井洋輔, 豊田岐聡, 粟津邦男: “質量分析による高解像度分子イメージングに向けた半導体検出器 MALPIX の開発,” 新学術研究領域研究「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」第 8 回研究会, 宮崎大学, 宮崎県宮崎市 (2017 年 6 月 30 日).

青木順, 間久直, 藤田陽一, 池辺将之, 本堂敏信, 松岡久典, 豊田岐聡, 粟津邦男, 新井康夫: “MALPIX を用いたイメージング質量分析,” 新学術研究領域研究「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」第 8 回研究会, 宮崎大学, 宮崎県宮崎市 (2017 年 6 月 29 日).

藤田陽一, 新井康夫, SOIPIX グループ, 松岡久典, 本堂敏信, 間久直, 粟津邦男, 河井洋輔, 青木順, 豊田岐聡: “投影型イメージング質量分析用時間検知型半導体検出器の開発 VII,” 日本物理学会第 72 回年次大会, 大阪大学 豊中キャンパス, 大阪府豊中市 (2017 年 3 月 17 日).

間久直, 本堂敏信, 松岡久典, 青木順, 藤田陽一, 新井康夫, 池辺将之, 河井洋輔, 豊田岐聡, 粟津邦男: “投影型イメージング質量分析用半導体検出器 MALPIX の開発,” 新学術研究領域研究「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」第 7 回研究会, SPring-8, 兵庫県佐用郡 (2016 年 11 月 21 日).

藤田陽一, 新井康夫, SOIPIX グループ, 松岡久典, 本堂敏信, 間久直, 粟津邦男, 河井洋輔, 青木順, 豊田岐聡: “投影型イメージング質量分析用時間検知型半導体検出器の開発 VI,” 日本物理学会 2016 年秋季大会, 金沢大学 角間キャンパス, 石川県金沢市 (2016 年 9 月 14 日).

間久直, 本堂敏信, 松岡久典, 青木順, 藤田陽一, 新井康夫, 池辺将之, 河井洋輔, 豊田岐聡, 粟津邦男: “質量分析を用いた高解像度分子イメージング用半導体検出器 MALPIX の開発,” 新学術研究領域研究「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」第 6 回研究会, 北海道大学, 北海道札幌市 (2016 年 6 月 29 日).

J. Aoki, Y. Kawai, Y. Fujita, H. Hazama, T. Hondo, K. Awazu, M. Toyoda, Y. Arai: “Development of a time and position sensitive ion detector for a stigmatic imaging mass spectrometer,” 64th ASMS Conference on Mass Spectrometry and Allied Topics, Henry B. González Convention Center, San Antonio, TX, USA (6 Jun. 2016).

- 藤田陽一, 新井康夫, SOIPIX グループ, 松岡久典, 本堂敏信, 間久直, 粟津邦男, 河井洋輔, 青木順, 豊田岐聡: “投影型イメージング質量分析用時間検知型半導体検出器の開発 V,” 日本物理学会第 71 回年次大会, 東北学院大学 泉キャンパス, 宮城県仙台市 (2016年3月19–22日).
- 間久直, 本堂敏信, 松岡久典, 青木順, 藤田陽一, 新井康夫, 池辺将之, 河井洋輔, 豊田岐聡, 粟津邦男: “質量分析による高解像度分子イメージング用検出器 MALPIX の開発,” 新学術研究領域研究「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」第5回研究会, 静岡大学 浜松キャンパス, 静岡県浜松市 (2015年12月2日).
- 藤田陽一, 池本由希子, 新井康夫, SOIPIX グループ, 河井洋輔, 松岡久典, 本堂敏信, 間久直, 粟津邦男, 青木順, 豊田岐聡: “投影型イメージング質量分析用時間検知型半導体検出器の開発 IV,” 日本物理学会 2015 年秋季大会, 関西大学千里山キャンパス, 大阪府吹田市 (2015年9月16日).
- 岡崎文音, 間久直, 粟津邦男: “イオン軌道シミュレーションによる投影型イメージング質量分析計の空間分解能評価,” 第 63 回質量分析総合討論会, つくば国際会議場エポカルつくば, 茨城県つくば市 (2015年6月17–19日).
- K. Watanabe, M. Ikebe, Y. Fujita, Y. Arai, H. Hazama: “SOI pixel circuits with synchronized TMC for time-of-flight stigmatic imaging mass spectrometry,” International Workshop on SOI Pixel Detector, Katahira Sakura Hall, Sendai, Miyagi, Japan (3 Jun. 2015).
- Y. Fujita, Y. Ikemoto, Y. Arai, T. Hondo, H. Matsuoka, Y. Kawai, H. Hazama, J. Aoki, M. Toyoda, K. Awazu: “Development of a pixel ion detector for stigmatic time-of-flight imaging mass spectrometry,” International Workshop on SOI Pixel Detector, Katahira Sakura Hall, Sendai, Miyagi, Japan (3 Jun. 2015).
- A. Okazaki, H. Hazama, K. Awazu: “Improvement of spatial resolution of a stigmatic imaging mass spectrometer by simulation of ion trajectories,” International Workshop on SOI Pixel Detector, Katahira Sakura Hall, Sendai, Miyagi, Japan (3 Jun. 2015).
- H. Hazama, T. Hondo, H. Matsuoka, J. Aoki, Y. Kawai, Y. Fujita, Y. Ikemoto, Y. Arai, M. Toyoda, K. Awazu: “Position and time sensitive ion detector for stigmatic imaging mass spectrometry,” International Workshop on SOI Pixel Detector, Katahira Sakura Hall, Sendai, Miyagi, Japan (3 Jun. 2015).
- J. Aoki, Y. Kawai, Y. Fujita, H. Hazama, T. Hondo, H. Matsuoka, K. Awazu, M. Toyoda, Y. Arai: “Development of a time and position sensitive ion detector for a stigmatic imaging mass spectrometer,” 63rd ASMS Conference on Mass Spectrometry and Allied Topics, America's Center, St. Louis, MO, USA (1 Jun. 2015).
- 21 藤田陽一, 池本由希子, 新井康夫, SOIPIX グループ, 本堂敏信, 河井洋輔, 松岡久典, 間久直, 青木順, 豊田岐聡, 粟津邦男: “投影型イメージング質量分析用時間検知型半導体検出器の開発 III,” 日本物理学会第 70 回年次大会, 早稲田大学早稲田キャンパス, 東京都新宿区 (2015年3月23日).
- 22 岡崎文音, 間久直, 粟津邦男: “投影型イメージング質量分析計の空間分解能向上に向けたイオン軌道シミュレーション,” 電気学会 光・量子デバイス研究会 (バイオメディカルフォトンクス応用), 東北大学東京分室, 東京都千代田区 (2015年3月2日).
- 23 間久直, 河井洋輔, 松岡久典, 青木順, 本堂敏信, 豊田岐聡, 藤田陽一, 新井康夫, 粟津邦男: “質量分析を用いた高解像度分子イメージングに向けた半導体検出器の開発,” 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」第3回研究会, 金沢工業大学, 石川県野々市市 (2014年11月26日).
- 24 Y. Fujita, Y. Ikemoto, Y. Arai, Y. Kawai, H. Matsuoka, H. Hazama, J. Aoki, M. Toyoda, K. Awazu: “Development of a time and position detectable detector for a stigmatic imaging mass spectrometer,” IEEE Nuclear Science Symposium, Washington State Convention Center, Seattle, WA, USA (8–15 Nov. 2014).
- 25 河井洋輔, 松岡久典, 間久直, 青木順, 豊田岐聡, 藤田陽一, 池本由希子, 新井康夫, 粟津邦男: “投影型イメージング質量分析用半導体検出器におけるイオン信号検出の性能評価,” 日本物理学会 2014 年秋季大会, 中部大学春日井キャンパス, 愛知県春日井市 (2014年9月8日).
- 26 藤田陽一, 池本由希子, 新井康夫, SOIPIX グループ, 河井洋輔, 松岡久典, 間久直, 青木順, 豊田岐聡, 粟津邦男: “投影型イメージング質量分析用時間検知型半導体検出器の開発 II,” 日本物理学会 2014 年秋季大会, 中部大学春日井キャンパス, 愛知県春日井市 (2014年9月8日).
- 27 Y. Kawai, H. Matsuoka, H. Hazama, J. Aoki, M. Toyoda, Y. Fujita, Y. Ikemoto, Y. Arai, K. Awazu, “Development of a time and position sensitive ion detector for a stigmatic imaging mass spectrometer,” 20th

- International Mass Spectrometry Conference, Centre International de Conférences Genève, Geneva, Switzerland (26 Aug. 2014).
- 28 J. Aoki, H. Hazama, K. Awazu, M. Toyoda: “Development of new stigmatic imaging mass spectrometer and its application for surface analysis of high functional organic materials,” 20th International Mass Spectrometry Conference, Centre International de Conférences Genève, Geneva, Switzerland (25 Aug. 2014).
- 29 J. Aoki, H. Hazama, K. Awazu, M. Toyoda: “Development of new stigmatic imaging mass spectrometer and its application to surface analysis of high functional organic materials,” 62nd ASMS Conference on Mass Spectrometry and Allied Topics, Baltimore Convention Center, Baltimore, MD, USA (19 Jun. 2014).
- 30 河井洋輔, 松岡久典, 間久直, 青木順, 豊田岐駿, 藤田陽一, 池本由希子, 新井康夫, 粟津邦男: “投影型イメージング質量分析用時間検知型半導体検出器の開発,” 第11回原子・分子・光科学討論会, 大阪大学豊中キャンパス, 大阪府豊中市 (2014年6月6-7).
- 31 河井洋輔, 松岡久典, 間久直, 青木順, 豊田岐駿, 藤田陽一, 池本由希子, 新井康夫, 粟津邦男: “投影型イメージング質量分析用時間検知型半導体検出器の開発,” 第62回質量分析総合討論会, ホテル阪急エキスポパーク, 大阪府吹田市 (2014年5月15日).
- 32 間久直, 河井洋輔, 松岡久典, 青木順, 豊田岐駿, 藤田陽一, 新井康夫, 粟津邦男: “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,” 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」第2回研究会, 大阪大学豊中キャンパス, 大阪府豊中市 (2014年5月9日).
- 33 藤田陽一, 池本由希子, 新井康夫, SOIPIX グループ, 河井洋輔, 間久直, 粟津邦男, 松岡久典, 青木順, 豊田岐駿: “投影型イメージング質量分析用時間検知型半導体検出器の開発,” 日本物理学会第69回年次大会, 東海大学湘南キャンパス, 神奈川県平塚市 (2014年3月30日).
- 34 河井洋輔, 間久直, 松岡久典, 粟津邦男, 青木順, 豊田岐駿, 藤田陽一, 池本由希子, 新井康夫: “超高分解能高速イメージング質量分析装置の開発と応用,” 日本物理学会第69回年次大会, 東海大学湘南キャンパス, 神奈川県平塚市 (2014年3月30日).
- 35 間久直, 河井洋輔, 松岡久典, 青木順, 豊田岐駿, 藤田陽一, 池本由希子, 新井

康夫, 粟津邦男: “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,” 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」研究会, 京都大学, 京都府京都市 (2013年12月13日).

〔その他〕

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」
ホームページ
<http://soipix.jp/>

大阪大学 大学院工学研究科 粟津研究室
ホームページ
<http://www.see.eng.osaka-u.ac.jp/seemb/seemb/>

大阪大学 大学院理学研究科 質量分析グループ ホームページ
<http://133.1.150.71/index.html>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

粟津 邦男 (AWAZU, Kunio)
大阪大学・大学院工学研究科・教授
研究者番号: 30324817

(2) 研究分担者

間 久直 (HAZAMA, Hisanao)
大阪大学・大学院工学研究科・准教授
研究者番号: 70437375

青木 順 (AOKI, Jun)
大阪大学・大学院理学研究科・助教
研究者番号: 90452424

(3) 連携研究者

豊田 岐駿 (TOYODA, Michisato)
大阪大学・大学院理学研究科・教授
研究者番号: 80283828

河井 洋輔 (KAWAI, Yosuke)
大阪大学・大学院理学研究科・助教
研究者番号: 90726671

(4) 研究協力者

本堂 敏信 (HONDO, Toshinobu)
松岡 久典 (MATSUOKA, Hisanori)
新井 康夫 (ARAI, Yasuo)
藤田 陽一 (FUJITA, Yowichi)
池辺 将之 (IKEBE, Masayuki)
鶴本 侑万 (TSURUMOTO, Yuma)
野村 秀成 (SHUSEI, Nomura)
川井 颯人 (KAWAI, Hayato)
井本 英志 (IMOTO, Eishi)
岡崎 文音 (OKAZAKI, Ayane)
守口 直輝 (MORIGUCHI, Naoki)
閑念 弘樹 (KANNEN Hiroki)