

科学研究費助成事業 研究成果報告書

令和 2 年 6 月 5 日現在

機関番号：14401

研究種目：基盤研究(A) (一般)

研究期間：2017～2019

課題番号：17H01060

研究課題名(和文)フェムト秒超短パルス電子ビームが拓く電子線結晶学の新展開

研究課題名(英文)New crystallography using femtosecond-pulse electron beam

研究代表者

楊 金峰 (Yang, Jinfeng)

大阪大学・産業科学研究所・准教授

研究者番号：90362631

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 32,300,000円

研究成果の概要(和文)：フェムト秒時間領域での超高速構造ダイナミクスの観察は、物質科学研究者の長年の夢であり、新しい物質の創製、機能の発見に重要な役割を果たす。本研究では、最先端の高周波加速器技術を利用したエネルギーが3 MeV、パルス時間幅が100フェムト秒以下の相対論的フェムト秒電子線パルスを発生し、それを用いた「超高圧パルス電子顕微鏡」を世界に先駆けて開発した。

また、それを用いて、フェムト秒電子線パルスによる金ナノ粒子等の電子顕微鏡像の測定と、フェムト秒時間分解電子回折法により光励起で発生する超高速構造相転移過程の観察を行い、新しい物質相への構造相転移ダイナミクスの研究に新たな道を拓いた。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本開発の超高圧パルス電子顕微鏡は、最先端の高周波加速器技術と超高圧電子顕微鏡技術の融合によって生まれた革新的な技術であり、生物科学、分子科学、材料科学を含めた広い分野での様々な高速現象の研究に応用可能であり、基礎科学研究において今後、多くの未知の現象の発見や解明に貢献する。自然科学研究における本研究のインパクトは限りなく大きいと考えている。

また、高周波電子銃を利用することで、従来の大型超高圧電子顕微鏡を、小型化する画期的な意義を有する。一般的な研究施設や研究室でも導入可能である。本研究の成果は、電子顕微鏡や計測産業の発展にも大きく寄与し、新たな応用に道を拓く。

研究成果の概要(英文)：Femtosecond atomic-scale imaging is a most challenging subject in materials science and has long been a cherished dream tool for scientists wishing to study ultrafast structural dynamics. In this research, we have developed innovative relativistic ultrafast electron diffraction and microscope (UED and UEM) with an ultimate temporal resolution of 100 femtoseconds using an advanced radio-frequency accelerator technology.

With our UED and UEM, we succeeded to detect the images of gold nanoparticles and to observe the photo-induced ultrafast phase transition dynamics in crystalline silicon and gold in real time. The obtained information was compared with theoretical descriptions, based on the molecular dynamic method and first-principle calculation, to encourage further the discovery of new knowledge and novel functions in materials science.

研究分野：理工学

キーワード：電子顕微鏡 電子回折 構造解析 ダイナミクス フェムト秒電子線パルス 電子銃

1. 研究開始当初の背景

フェムト秒時間領域での超高速構造ダイナミクスの観察は、物質科学研究者の長年の夢であり、新しい物質の創製、機能の発見に重要な役割を果たす。電子顕微鏡は物質の構造を原子・分子レベルで直接観ることが可能な強力な装置であるが、汎用の電子顕微鏡では高時間分解能がなく、フェムト秒やピコ秒時間領域での構造変化の観察が不可能である。

短パルス電子線を用いた超高速電子顕微鏡(UEM)の研究は、米国と欧州を中心に行われ、固体-液体の相転移、核の形成、過渡的な分子構造等の観察が試みられてきた。我が国では、我々のグループと名古屋大のグループ以外には殆ど行われていない。現在の UEM 実験では、汎用の 200 kV クラス電頭の電子銃をレーザーフォトカソード電子銃に置き換えることによって、電子を短パルス化する試みが行われている。しかし、200 kV の電頭では加速電圧が低く、空間電荷効果によるパルス時間幅とエネルギー幅が大きく広がるため、時間と空間分解能は 10 ns と 10 nm に留まっている。この「空間電荷効果」の問題を克服する為に、本研究では、相対論的エネルギーのフェムト秒電子線パルスを利用した超高速電子顕微鏡法を世界に先駆けて提案した。

2. 研究の目的

先端加速器技術を活用したフォトカソード高周波(RF)電子銃を用いて、エネルギーが 3 MeV、パルス幅が 100 フェムト秒(fs)以下の電子線パルスを発生し、100 fs の時間分解能を有する「フェムト秒電子線結晶構造解析法」を開発する。

これを用いて、(1)フェムト秒・ピコ秒時間領域での物質構造相転移現象等に関する構造ダイナミクスの研究を推進すると共に、(2)今まで測定困難であった不可逆過程に対する超高速構造変化の研究、損傷が起きる前に構造解析に必要な単一のフェムト秒電子線パルスによる結晶構造解析法(シングルショット測定法)を確立し、物質構造動力学の研究に新たな道を拓くことが本研究の目的である。

3. 研究の方法

(1)レーザーフォトカソード RF 電子銃を用いて高品質の相対論的フェムト秒電子線パルスを発生する。そのために、まず、フォトカソード材質を厳選し、低エネルギー分散の電子線パルスの発生を目指した。次に、高周波加速空洞を高度化し、電子を加速する際 RF によるビームエミッタンスとエネルギー幅の増大を極力に低減した。

(2)相対論的フェムト秒電子線パルスを用いた超高压パルス電子顕微鏡を製作する。ここでは、1970年に大阪大学超高压電子顕微鏡センターに設置された日立製作所製の超高压電子顕微鏡用のレンズ系を活用し、超高压パルス電子顕微鏡を世界に先駆けて製作した。しかし、装置が老朽化した為、電源、絞りと試料の駆動装置、真空排気システム等を全て再設計し、更新した。

(3)シングルショットフェムト秒電子線結晶構造解析法を確立する。ここで、今まで我々が開発した相対論的電子線パルス用高感度 CsI(Tl)シンチレーション検出器を高度化し、単一フェムト秒電子線パルスによる電子顕微鏡像と電子回折図形の測定法を確立した。

4. 研究成果

本研究は、最先端高周波加速器技術と電子顕微鏡技術を結集した前例のない研究であり、本研究の推進によって、以下の4つの重要な成果を得た。

(1)高品質の相対論的フェムト秒電子線パルス発生用の新型 RF 電子銃の開発に成功した。今までの短パルス電子ビームの発生は、1.6 セル RF 電子銃が利用されている。しかし、電子顕微鏡の電子源として応用する為には、2つの重大な問題が生じる。電子のエネルギー分散(エネルギー幅)の増大を抑えるため、 $\phi = 30^\circ$ の低い RF 位相で運転する必要がある。この時、電子加速に利用される実効的な加速電場($E = E_0 \sin \phi$)は低下し、最大電場の半分となる。

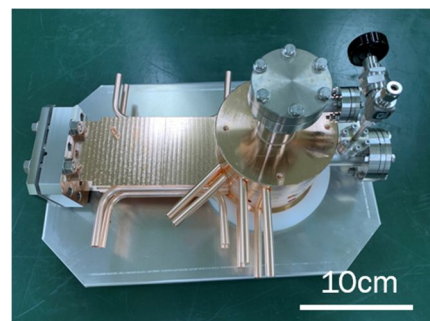


図1 新型 1.4 セル RF 電子銃の写真

加速電場が空洞間の電極 (Iris) 表面に集中され、RF 損失による Iris の温度が上昇し、電子線パルスの高繰返し運転に大きな支障が生じる。この2つの問題を克服する為に、本研究では、図1に示す新しい1.4セルRF電子銃を考案し、製作した。本RF電子銃は、

- 加速空洞の長さが短くすることにより、エネルギー幅の増大が抑えられ、カソードから発生した電子を $\phi = 73^\circ$ の高いRF位相と高電場で加速することが可能、
- 加速空洞間の Iris の形状を楕円形状に改良し、表面電場強度を下げ、温度上昇を極力に低減することが可能、
- カソード部や導波管等の冷却能力を増強し、将来に電子ビーム輝度向上のための1kHzの高繰返し運転が実現可能

という性能を有している。本RF電子銃には、時間応答性が速い無酸素銅カソードを採用し、電子線パルスの発生には、Ti:Sapphire フェムト秒レーザーの3倍波 (266 nm) を用いた。加速空洞をピークパワーが4 MWのSバンド (2.856 GHz) RFに駆動させることにより、エネルギーが3 MeV、パルス幅が55 fs、エネルギー幅が 6×10^{-5} 、パルス当たりの電子数が 10^6 個の高品質フェムト秒電子線パルスの発生に成功した。本RF電子銃は、電子顕微鏡の電子源としての応用のみならず、先端加速器の開発や新たなビーム利用にも応用可能である。

(2)RF電子銃を用いた超高压パルス電子顕微鏡を世界に先駆けて製作した。本装置は、相対論的フェムト秒電子線パルスが発生するフォトカソードRF電子銃、超高压電子レンズ系と電子顕微鏡像測定用検出器から構成されている。電子レンズ系には、1970年に大阪大学超高压電子顕微鏡センターに設置された日立製作所製の超高压電子顕微鏡用のレンズ系を活用した。しかし、この電子顕微鏡が老朽化した為、レンズ駆動用電源、絞りの駆動装置、試料の装着装置、冷却機構、真空排気等を全て再設計し、更新した。

図2に、本研究で製作した超高压パルス電子顕微鏡を示す。フォトカソードRF電子銃から発生したエネルギーが3 MeVのフェムト秒電子線パルスは、2つのコンデンサーレンズを通して試料を入射する。RF電子銃と第2コンデンサーレンズの直後に、RF電子銃絞りとコンデンサー絞りをそれぞれに設置し、ビーム制御を行った。結像レンズ系では、対物レンズの他に、中間レンズ1個、投影レンズ2個を用いた。電子レンズの直径は0.8mであった。対物レンズの最大起磁力は48 kATであり、到達真空度が 10^{-5} Paであった。装置の高さは3.5mに抑えられ、小型超高压電子顕微鏡とも言える。

顕微鏡像の測定では、独自で開発した高感度・高分解能のCsI(Tl)シンチレーション検出器を用いた。シンチレーターから変換された光イメージを、45°の反射鏡を経由してレンズカップリングしたEMCCDまたはCMOSカメラで記録した。構造ダイナミクスの測定(ポンププローブの測定)では、試料の励起条件によって、Ti:Sapphire フェムト秒レーザーの基本波 (800 nm)、2倍波 (400 nm) または3倍波 (266 nm) をポンプ光として利用可能である。

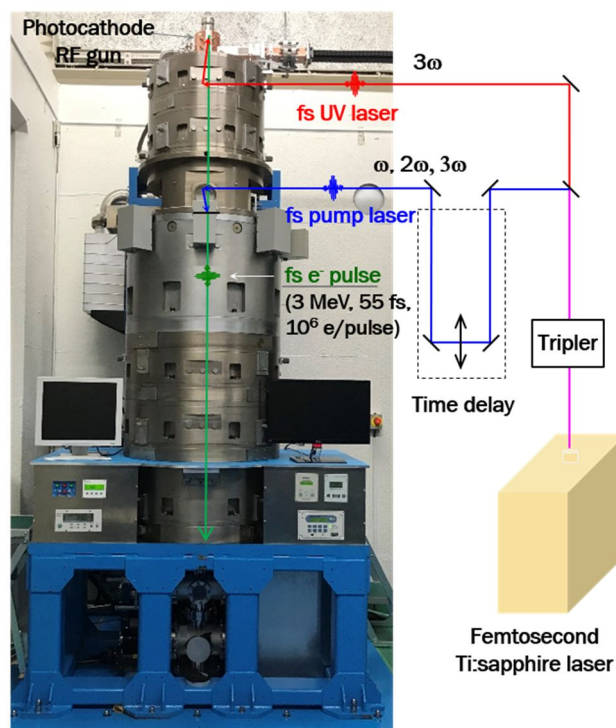


図2 RF電子銃を用いた超高压パルス電子顕微鏡

(3)フェムト秒電子線パルスのシングルショットイメージングに成功した。本装置を用いて、相対論的フェムト秒電子線パルスによる金やポリスチレンラテックス等のナノ粒子、酸化金属微結晶、塩化タリウム試料等の透過電子顕微鏡像の観察を試みた。図3に、エネルギーが3 MeV、

パルス当たりの電子数が 10^6 個のフェムト秒電子線パルスの測定条件で得られた直径 200 nm の金ナノ粒子の電子顕微鏡像を示す。

まず、直径 200 nm の金ナノ粒子の電子顕微鏡像が、シングルショットの測定で得られていることが大きな成果である。RF 電子銃を用いた超高速電子回折 (UED) の実験は、米国の SLAC、UCLA、BNL の研究グループ、中国の精華大学と上海交通大学の研究グループとドイツの DEZY の研究グループらに行われていたが、RF 電子銃を利用した電子顕微鏡の実験はまだ報告されていない。また、DC 加速によるエネルギーが 100~200 keV のフェムト秒電子線パルスを用いた UEM の研究は、欧米諸国の研究グループらに行われているが、フェムト秒電子線パルスのシングルショット測定による電子顕微鏡像を獲得した例は無い。

次に、10 パルスの積算測定条件では、明瞭な金ナノ粒子の顕微鏡像を得ることができた。この結果は、将来に電子ビームの輝度が 1 桁向上すれば、シングルショットの測定で明瞭な電子顕微鏡像が獲得できる事を示している。実験結果から、フェムト秒電子線パルスでシングルショット測定可能であるという我々の電子顕微鏡は、今まで不可能であったフェムト秒時間領域での不可逆過程に対する構造ダイナミックの研究を可能にするという極めて大きな意義を有することが分かった。

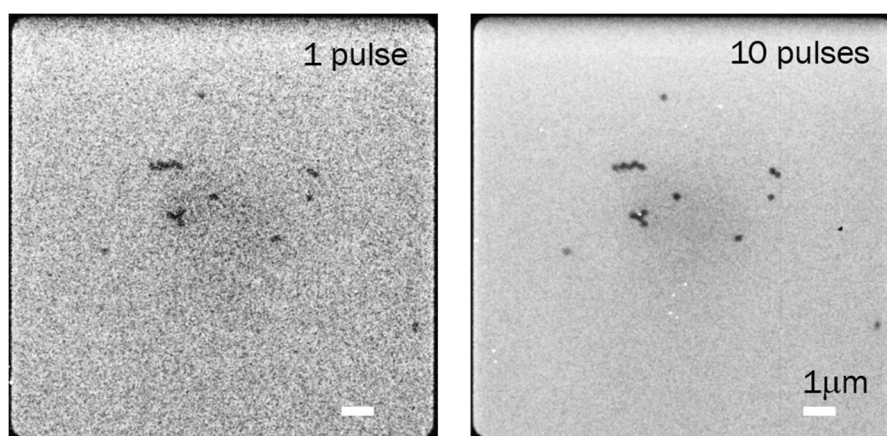


図 3 エネルギーが 3 MeV、パルス当たりの電子数が 10^6 個の単一フェムト秒電子線パルスと 10 パルス積算の測定条件で得られた直径 200 nm の金ナノ粒子の電子顕微鏡像

(4) 100fs の時間分解能を有する「フェムト秒電子線結晶構造解析法」を確立した。 時間分解で電子顕微鏡の測定は現在進行中であるが、時間分解電子回折の実験では、100fs という高時間分解能を実現した。図 4 に、フェムト秒電子線パルスのシングルショット測定で得られたシリコン (Si) 単結晶の電子回折図形と、(220) と (-220) 回折スポット強度のフェムト秒レーザー励起後の時間変化を示す。Si 単結晶薄膜の厚さは 35 nm である。電子のエネルギーは 3 MeV、パルス幅は 55 fs である。用いた励起レーザーは、波長 400 nm、パルス幅 54 fs のフェムト秒パルスで、励起強度は 14 mJ/cm^2 である。励起用レーザーパルスとプローブの電子線パルスの時間ジッターは 61 fs であるから、測定の時間分解能は 100 fs であることが分かった。図 4 に、励起前の強度を 1 とし、その相対的变化を示している。光励起によって (220) と (-220) 回折スポット強度は共に指数関数的に減少し、3 ps 後に励起前の 97.4% の強度になる。この回折強度の減少は、基本的に電子系

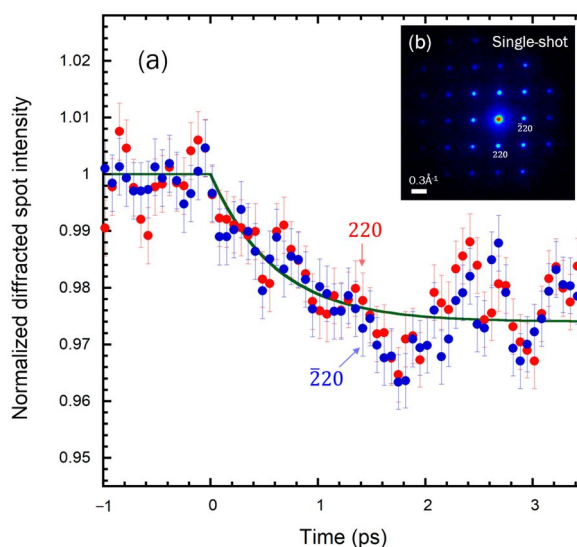


図 4 シングルショット測定で得られた Si 単結晶の電子回折図形と、時間分解で測定した回折スポット強度の励起後の時間変化

からのエネルギー伝達による格子系の加熱効果に起因し、減衰時間は 600 ± 50 fs であることが分かった。

図 5 に、単一フェムト秒電子線パルスのシングルショット測定と、10 パルス、100 パルスの積算の測定条件で得られた塩化タリウム (TlCl) 結晶とアモルファスゲルマニウム (Ge) の回折図形を示す。10 パルスと 100 パルスの積算の測定では極めて明瞭な回折パターンを得ており、シングルショット測定でも塩化タリウム多結晶の回折図形とゲルマニウムのアモルファス物質相の回折図形が獲得できることが分かった。この結果は、我々が開発した「超高压パルス電子顕微鏡」を用いて、結晶相からアモルファス相、または、アモルファス相から結晶相への多様な構造相転移ダイナミクスの研究が可能である事を示している。以上、得られた結果から、我々が開発した「フェムト秒電子線結晶構造回折法」は、

- シングルショット測定が可能、
- 100fs の時間分解能での測定が可能、
- 明瞭かつ広い運動量空間の回折図形の測定が可能、
- 数%の強度変化の正確な測定が可能

等の特徴を有している。更に、相対論的エネルギーのプローブ電子ビームを用い、感度の高い検出系を有している事から、通常の透過型電子顕微鏡では測定難しい厚い試料や、帯電効果のために測定が困難な雲母等の絶縁性結晶物質に対しても明瞭な回折像を観測することが実現できており、構造動力学研究の適応範囲を大きく拡大している。

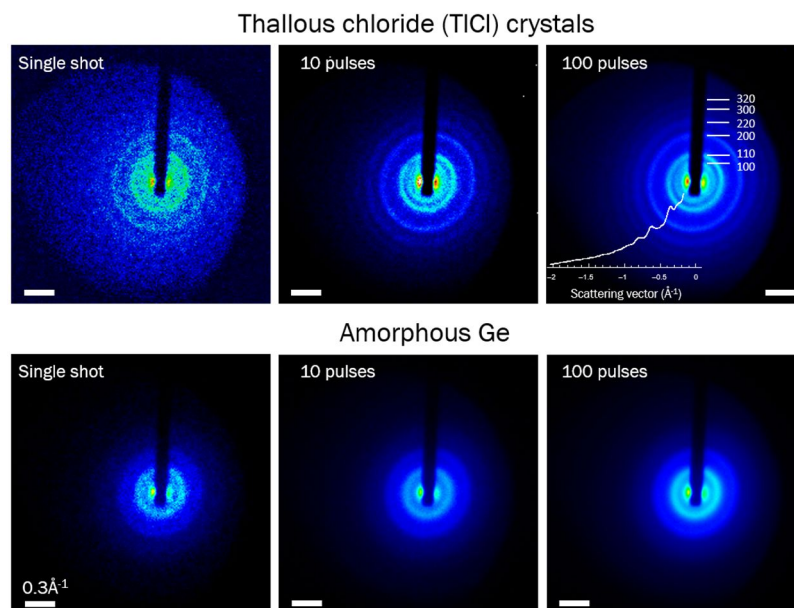


図 5 エネルギーが 3 MeV、パルスあたりの電子数が 10^6 個の単一フェムト秒電子線パルス (Single shot)、10 パルスと 100 パルスの積算の測定条件で得られた塩化タリウム (TlCl) 結晶とアモルファスゲルマニウム (Ge) の回折図形

最後に、本超高压パルス電子顕微鏡は、高周波電子銃を利用することで、従来の大型超高压電子顕微鏡を、小型化する画期的な意義を有している。一般的な研究施設や研究室でも導入可能である。今後、空間分解能がオングストロームに向上すれば、この超高压パルス電子顕微鏡は、生物科学、分子科学、材料科学を含めた広い分野での様々な高速現象の研究に応用可能であり、基礎科学研究において今後、多くの未知の現象の発見や解明に貢献する。物質構造動力学研究における「夢の装置」となる。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計11件（うち査読付論文 11件／うち国際共著 2件／うちオープンアクセス 9件）

1. 著者名 Jinfeng Yang	4. 巻 112
2. 論文標題 Ultrafast electron microscopy: Reinventing femtosecond atomic-scale imaging	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Research OUTREACH	6. 最初と最後の頁 26-29
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.32907/R0-112-2629	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -
1. 著者名 Jinfeng Yang, Kazuki Gen, Nobuyasu Naruse, Shouichi Sakakihara, Yoichi Yoshida	4. 巻 4
2. 論文標題 A compact ultrafast electron diffractometer with relativistic femtosecond electron pulses	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Quantum Beam Science	6. 最初と最後の頁 1-9
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.3390/qubs4010004	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -
1. 著者名 Jinfeng Yang, Yoichi Yoshida	4. 巻 2019
2. 論文標題 Relativistic ultrafast electron microscopy: Single-shot diffraction imaging with femtosecond electron pulses	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Advances in Condensed Matter Physics	6. 最初と最後の頁 1-6
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1155/2019/9739241	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -
1. 著者名 野澤一太, 菅晃一, 神戸正雄, 楊金峰, 近藤孝文, 吉田陽一	4. 巻 16
2. 論文標題 二帯域同時マイケルソン干渉計型バンチ長測定装置の開発	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 加速器	6. 最初と最後の頁 2-14
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	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 Dazhi Li, Makoto Nakajima, Masahiko Tani, Jinfeng Yang, Hideaki Kitahara, Masaki Hashida, Makoto Asakawa, Wenxin Liu, Yanyu Wei, Ziqiang Yang	4. 巻 9
2. 論文標題 Terahertz Radiation from Combined Metallic Slit Arrays	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Scientific Reports	6. 最初と最後の頁 1-8
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1038/s41598-019-43072-2	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 該当する

1. 著者名 Jinfeng Yang	4. 巻 2019
2. 論文標題 New crystallography using relativistic femtosecond electron pulses	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Impact	6. 最初と最後の頁 76-78
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.21820/23987073.2019.10.76	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Y. Song, J. Yang, C. Tsai, K. Fan	4. 巻 1350
2. 論文標題 Improvement of 6D brightness by a 1.4-cell photocathode RF gun for MeV ultrafast electron diffraction	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Journal of Physics: Conference Series	6. 最初と最後の頁 12048
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1088/1742-6596/1350/1/012048	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 該当する

1. 著者名 Yang Jinfeng, Yoshida Yoichi, Yasuda Hidehiro	4. 巻 67
2. 論文標題 Ultrafast electron microscopy with relativistic femtosecond electron pulses	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Microscopy	6. 最初と最後の頁 291-295
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1093/jmicro/dfy032	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 楊金峰, 吉田陽一	4. 巻 144
2. 論文標題 時空を細かく観る100fs-1nm分解能MeV級電子顕微鏡の開発	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 放射線と産業	6. 最初と最後の頁 29-32
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	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 Jinfeng Yang, Yoichi Yoshida	4. 巻 66
2. 論文標題 高速パルスラジオリスと短寿命中間活性種の検出	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 RADIOISOTOPES	6. 最初と最後の頁 395 ~ 406
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3769/radioisotopes.66.395	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Takafumi Kondoh	4. 巻 66
2. 論文標題 凝縮系におけるジェミネートイオン再結合	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 RADIOISOTOPES	6. 最初と最後の頁 451 ~ 458
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3769/radioisotopes.66.451	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

〔学会発表〕 計68件 (うち招待講演 16件 / うち国際学会 23件)

1. 発表者名 Jinfeng Yang, Kazuki Gen, Koichi Kan, Masao Ghodo, Yoichi Yoshida
2. 発表標題 Ultrafast electron microscopy with relativistic femtosecond electron pulses
3. 学会等名 The 23rd SANKEN International Symposium, The 18th SANKEN Nanotechnology International Symposium (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Koichi Kan, Jinfeng Yang, Masao Gohdo, Yoichi Yoshida
2. 発表標題 THz Measurement of Femtosecond Electron Beam
3. 学会等名 The 23rd SANKEN International Symposium, The 18th SANKEN Nanotechnology International Symposium (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Kazuki Gen, Jinfeng Yang, Masao Gohdo, Koichi Kan, Yoichi Yoshida
2. 発表標題 Femtosecond relativistic electron diffraction
3. 学会等名 The 23rd SANKEN International Symposium, The 18th SANKEN Nanotechnology International Symposium (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Jinfeng Yang
2. 発表標題 Relativistic Femtosecond-pulsed Electron Microscopy
3. 学会等名 The 6th international congress on microscopy & spectroscopy (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 神戸正雄, 近藤孝文, 荒木一希, 菅晃一, 楊金峰, 吉田陽一
2. 発表標題 Re-investigation of radiation induced reaction of carbon tetrachloride
3. 学会等名 The 14th Tihany Symposium on Radiation Chemistry (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 楊金峰、吉田陽一、保田英洋
2. 発表標題 相対論的フェムト秒電子線パルスを用いた超高速電子顕微鏡の開発
3. 学会等名 日本顕微鏡学会 第75回学術講演会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 菅見一, 神戸正雄, 楊金峰, 吉田陽一
2. 発表標題 コヒーレント遷移放射により発生したテラヘルツ電場の解析
3. 学会等名 第56回アイソトープ・放射線研究発表会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 神戸正雄, 近藤孝文, 荒木一希, 菅見一 楊金峰, 吉田陽一
2. 発表標題 四塩化炭素の放射線誘起反応初期過程の解明
3. 学会等名 第56回アイソトープ・放射線研究発表会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 菅見一, 楊金峰, 神戸正雄, 吉田陽一
2. 発表標題 コヒーレント遷移放射によるテラヘルツ電場の時間・空間分布の測定
3. 学会等名 第16回日本加速器学会年会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 菅晃一, 楊金峰, 神戸正雄, 吉田陽一
2. 発表標題 レーザー変調を用いた超短パルス電子ビーム発生の研究
3. 学会等名 第16回日本加速器学会年会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 楊金峰, 玄一貴, 菅晃一, 吉田陽一
2. 発表標題 フェムト秒電子線パルスを用いた超高速電子線回折と電子顕微鏡の開発
3. 学会等名 第16回日本加速器学会年会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Koichi Kan, Masao Gohdo, Jinfeng Yang, Yoichi Yoshida
2. 発表標題 Spatio-temporal Analysis Of Terahertz Electric Field Of Coherent Transition Radiation
3. 学会等名 IRMMW-THz 2019 (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Masao Gohdo, Takafumi Kondoh, Kazuki Araki, Koichi Kan, Jinfeng Yang, Yoichi Yoshida
2. 発表標題 Femtoseconf pulse radioysis study re-investigation of radiation chemistry of carbon tetrachloride
3. 学会等名 ICRR2019 (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Jinfeng Yang
2. 発表標題 Ultrafast electron microscopy with relativistic femtosecond electron pulses
3. 学会等名 International Forum on Microscopy(IF2019) (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 楊金峰, 玄一貴, 菅晃一, 吉田陽一, 保田英洋
2. 発表標題 フェムト秒時間分解電子顕微鏡開発の現状
3. 学会等名 日本原子力学会2019年秋の大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 玄一貴, 楊金峰, 菅晃一, 吉田陽一
2. 発表標題 低エミッタンスのフェムト秒電子線パルスを用いた超高速電子回折の研究
3. 学会等名 日本原子力学会2019年秋の大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 菅晃一, 楊金峰, 神戸正雄, 吉田陽一
2. 発表標題 光伝導アンテナにより測定したテラヘルツ電場分布の解析
3. 学会等名 日本原子力学会2019年秋の大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 菅見一, 楊金峰, 神戸正雄, 吉田陽一
2. 発表標題 電子ビームのテラヘルツ電場分布測定
3. 学会等名 第 62 回 放射線化学討論会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 楊金峰
2. 発表標題 超短パルス電子ビームを用いた電子顕微鏡の開発
3. 学会等名 先端加速器科学技術推進協議会第62回技術部会 (招待講演)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Jinfeng Yang
2. 発表標題 Ultrafast electron microscopy with relativistic femtosecond electron pulses
3. 学会等名 The 7th Annual Conference of AnalytiX-2019(Europe) (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 楊金峰
2. 発表標題 RF電子銃を用いた超高速電子顕微鏡の開発
3. 学会等名 第16回 高輝度・高周波電子銃研究会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 楊金峰
2. 発表標題 相對論的フェムト秒電子線パルスによる超高速電子回折と電子顕微鏡の研究
3. 学会等名 2019年度ビーム物理研究会、若手の会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Jinfeng Yang
2. 発表標題 Ultrafast Electron Microscopy with Femtosecond Electron Pulses
3. 学会等名 The 4th Osaka Univ. - KAERI Joint Workshop on Radiation Research (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Jinfeng Yang, Yoichi Yoshida, Hidehiro Yasuda
2. 発表標題 Relativistic-pulse Electron Microscopy
3. 学会等名 The 22st SANKEN International Symposium (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Jinfeng Yang
2. 発表標題 Generation of low emittance femtosecond pulsed electron beam
3. 学会等名 Indo Japan Accelerator School 2019 (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Jinfeng Yang
2. 発表標題 Electron microscopy with femtosecond pulses
3. 学会等名 Indo Japan Accelerator School 2019 (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 楊金峰, 吉田陽一, 谷村克也
2. 発表標題 フェムト秒時間分解電子線回折と構造相転移の研究
3. 学会等名 日本物理学会第74回年次大会 (招待講演)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 菅晃一, 楊金峰, 神戸正雄, 近藤孝文, 吉田陽一
2. 発表標題 光伝導アンテナによるコヒーレント遷移放射の時間・空間分解計測
3. 学会等名 日本物理学会第74回年次大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 神戸正雄, 近藤孝文, 荒木一希, 菅晃一, 楊金峰, 吉田陽一
2. 発表標題 ハロメタン中の放射線化学反応の再検討
3. 学会等名 日本原子力学会2019年春の年会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 楊金峰, 吉田 陽一, 高富俊和, 福田将文, 浦川順治
2. 発表標題 超高速電子顕微鏡用1.4セル高周波電子銃の製作
3. 学会等名 日本原子力学会2019年春の年会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 菅晃一, 神戸正雄, 近藤孝文, 楊金峰, 吉田陽一
2. 発表標題 コヒーレント遷移放射の位置・時間分解計測
3. 学会等名 日本原子力学会2019年春の年会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Jinfeng YANG, Yoichi YOSHIDA, Hidehiro YASUDA
2. 発表標題 Ultrafast Electron Microscopy using Femtosecond Relativistic-energy Electron Pulses
3. 学会等名 The 20th SANKEN International Symposium (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Takafumi Kondoh, Masao Gohdo, Kimihiro Norizawa, Koichi Kan, Jinfeng Yang, Seiichi Tagawa, Yoichi Yoshida
2. 発表標題 Ultrafast electron transport in n-alkanes studied by a femtosecond pulse radiolysis
3. 学会等名 The 21st SANKEN International Symposium (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Jinfeng Yang, Hiromi Shibata, Yoichi Yoshida
2. 発表標題 Ultrafast electron microscopy for observation of chemical reactions
3. 学会等名 The 7th asia pacific symposium on radiation chemistry (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 近藤孝文, 神戸正雄, 菅晃一, 楊金峰, 田川精一, 吉田陽一
2. 発表標題 フェムト秒パルスラジオリシスを用いた電子ビーム誘起現象の研究
3. 学会等名 日本原子力学会 2018年春の年会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 神戸正雄, 近藤孝文, 菅晃一, 楊金峰, 吉田陽一
2. 発表標題 ジクロロメタン中の化学反応解析のための反応初期中間体の研究
3. 学会等名 日本原子力学会 2018年春の年会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 神戸正雄, 近藤孝文, 菅晃一, 楊金峰, 吉田陽一
2. 発表標題 ハロメタンの放射線誘起反応初期過程
3. 学会等名 第55回アイソトープ・放射線研究発表会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 近藤孝文, 神戸正雄, 法澤公寛, 菅見一, 楊金峰, 田川精一, 吉田陽一
2. 発表標題 ビフェニル-ドデカン溶液のフェムト秒パルスラジオリシスとモンテカルロシミュレーションを用いたドデカンのイオン化G値の推定
3. 学会等名 第55回アイソトープ・放射線研究発表会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 近藤孝文, 神戸正雄, 法澤公寛, 菅見一, 楊金峰, 田川精一, 吉田陽一
2. 発表標題 フェムト秒パルスラジオリシスによるイオン化後のアルカン中の電子輸送
3. 学会等名 日本化学会2018年春の年会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 楊金峰, 菅見一, 高富俊和, 樊寬軍, 照沼信浩, 浦川順治, 吉田陽一
2. 発表標題 超高速電子顕微鏡用のRF電子銃の開発
3. 学会等名 第15回日本加速器学会年会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 楊金峰, 吉田陽一
2. 発表標題 電子顕微鏡用1.4セルRF電子銃の製作
3. 学会等名 第15回高輝度・高周波電子銃研究会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 菅見一, 楊金峰, 神戸正雄, 近藤孝文, 吉田陽一
2. 発表標題 熱型赤外光源とコヒーレント遷移放射の比較
3. 学会等名 第15回高輝度・高周波電子銃研究会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Jinfeng Yang
2. 発表標題 Photocathode RF gun based ultrafast electron diffraction and imaging
3. 学会等名 The 8th Asian Forum for Accelerator and Detectors(AFAD2017) (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Jinfeng Yang
2. 発表標題 Ultrafast Electron Diffraction and Microscopy using a Femtosecond-pulse Electron Beams
3. 学会等名 OPTICS & PHOTONICS International Congress 2017 (OPIC 2017), 6th High Energy Density Sciences (HEDS 2017) (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Jinfeng Yang
2. 発表標題 Ultrafast relativistic-energy electron microscopy
3. 学会等名 Interantional Particle Accelertors 2017 (IPAC 2017) (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Jinfeng Yang
2. 発表標題 A Relativistic-energy Femtosecond-pulse Electron Microscopy
3. 学会等名 11th Asia-Pacific Microscopy Conference (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Jinfeng Yang
2. 発表標題 Ultrafast Electron Microscopy using a MeV-energy Femtosecond-pulse Electron Beam
3. 学会等名 Femtosecond Electron Imaging and Spectroscopy Workshop 2017 (FEIS 2017) (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Ryo Asakawa, Jinfeng Yang
2. 発表標題 Single-shot electron diffraction using relativistic-energy electron pulse
3. 学会等名 11th Asia-Pacific Microscopy Conference (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Takafumi Kondoh, Masao Gohdo, Kimihiro Norizawa, Koichi Kan, Jinfeng Yang, Seiichi Tagawa, Yoichi Yoshida
2. 発表標題 The study of the excess electron dynamics in alkanes using a femtosecond pulse radiolysis
3. 学会等名 30th Miller Conference on Radiation Chemistry (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 楊金峰
2. 発表標題 先端加速器技術を活用した新型電子顕微鏡の開発
3. 学会等名 日本電機工業会の講演会（招待講演）
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 楊金峰
2. 発表標題 フェムト秒電子線パルスを用いた超高速電子線回折と電子顕微鏡の研究
3. 学会等名 荷電粒子ビームの工業への応用第132委員会第226回研究会（招待講演）
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 楊金峰
2. 発表標題 フェムト秒電子線パルスを用いた超高速電子線回折と電子顕微鏡の研究
3. 学会等名 第65回UV/EB研究会（招待講演）
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 楊金峰, 吉田陽一, 谷村克己
2. 発表標題 フェムト秒電子線パルスによる超高速電子顕微鏡の開発
3. 学会等名 日本顕微鏡学会第73回学術講演会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 浅川稜, 楊金峰, 吉田陽一, 谷村克己
2. 発表標題 フェムト秒電子線パルスによる超高速電子線回折装置の開発
3. 学会等名 日本顕微鏡学会第73回学術講演会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 近藤孝文, 神戸正雄, 法澤公寛, 菅晃一, 楊金峰, 田川精一, 吉田陽一
2. 発表標題 フェムト秒パルスラジオリシスを用いたアルカン中の過剰電子ダイナミクスの研究
3. 学会等名 第54回アイソトープ・放射線研究発表会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 野澤一太, 菅晃一, 楊金峰, 近藤孝文, 神戸正雄, 吉田陽一
2. 発表標題 超短パルス電子ビーム発生に向けたバンチ圧縮条件の検討
3. 学会等名 第14回日本加速器学会年会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 楊金峰, 浅川稜, 菅晃一, 近藤孝文, 神戸正雄, 吉田陽一, 谷村克己
2. 発表標題 フォトカソード高周波電子銃を用いた超高速電子顕微鏡の開発
3. 学会等名 第14回日本加速器学会年会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 近藤孝文, 神戸正雄, 大島明博, 菅晃一, 楊金峰, 吉田陽一
2. 発表標題 電子加速器を用いた薄膜パルスラジオリシスの検討
3. 学会等名 第14回日本加速器学会年会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 菅晃一, 楊金峰, 近藤孝文, 神戸正雄, 野澤一太, 吉田陽一
2. 発表標題 中空誘電体管における多モードテラヘルツ波発生と電子ビーム加速の理論的研究
3. 学会等名 第14回日本加速器学会年会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 古川和弥, 菅田義英, 藤乗幸子, 磯山悟朗, 岡田宥平, 久保久美子, 徳地明, 楊金峰, 近藤孝文, 菅晃一, 神戸正雄, 吉田陽一
2. 発表標題 阪大産研量子ビーム科学研究施設の現状報告
3. 学会等名 第14回日本加速器学会年会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 楊金峰, 吉田陽一, 谷村克己, 保田英洋
2. 発表標題 RF電子銃を用いたMeV電子顕微鏡の開発
3. 学会等名 日本原子力学会 2017年秋の大会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 近藤孝文, 神戸正雄, 菅晃一, 楊金峰, 吉田陽一
2. 発表標題 飽和炭化水素および高分子溶液のフェムト秒パルスラジオリシス
3. 学会等名 日本原子力学会 2017年秋の大会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 神戸正雄, 近藤孝文, 菅晃一, 楊金峰, 吉田陽一
2. 発表標題 溶液中の放射線誘起化学反応機構解明 ジクロロメタン中の放射線誘起化学反応
3. 学会等名 日本原子力学会 2017年秋の大会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 浅川稜, 楊金峰, 近藤孝文, 菅晃一, 神戸正雄, 谷村克己, 吉田陽一
2. 発表標題 フェムト秒電子線パルスによる超高速電子線回折装置の開発
3. 学会等名 日本原子力学会 2017年秋の大会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 近藤孝文, 神戸正雄, 法澤公寛, 菅晃一, 楊金峰, 田川精一, 吉田陽一
2. 発表標題 フェムト秒パルスラジオリシスによるアルカン中の過剰電子ダイナミクス
3. 学会等名 第11回分子科学討論会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 野澤一太, 菅見一, 楊金峰, 近藤孝文, 神戸正雄, 吉田陽一
2. 発表標題 超短パルス電子ビーム発生・計測の現状
3. 学会等名 第60回 放射線化学討論会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 近藤孝文, 神戸正雄, 法澤公寛, 菅見一, 楊金峰, 田川精一, 吉田陽一
2. 発表標題 フェムト秒パルスラジオリシスによるイオン化後のアルカン中の過剰電子ダイナミクス
3. 学会等名 第60回 放射線化学討論会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 神戸正雄, 近藤孝文, 菅見一, 楊金峰, 吉田陽一
2. 発表標題 溶液中の放射線誘起化学反応機構解明
3. 学会等名 第60回 放射線化学討論会
4. 発表年 2017年

〔図書〕 計2件

1. 著者名 Jinfeng Yang	4. 発行年 2020年
2. 出版社 IntechOpen	5. 総ページ数 145
3. 書名 Novel Imaging and Spectroscopy	

1. 著者名 Jinfeng Yang	4. 発行年 2019年
2. 出版社 IntechOpen	5. 総ページ数 20 (87)
3. 書名 "Ultrafast electron microscopy with relativistic femtosecond electron pulses" in "Electron Microscopy - Novel Microscopy Trends" edited by M. Arita and N. Sakaguchi	

〔産業財産権〕

〔その他〕

<p>研究室Webページ http://www.sanken.osaka-u.ac.jp/labs/bsn/yoshi lab.htm Researchmapページ http://researchmap.jp/read0134206</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	近藤 孝文 (Kondoh Takafumi) (50336765)	大阪大学・産業科学研究所・助教 (14401)	削除：2019年1月10日