

令和 2 年 6 月 16 日現在

機関番号：12101

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2017～2019

課題番号：17K05116

研究課題名(和文) エネルギー解析白色中性子ホログラフィー法の開発とドーパ系機能性材料への応用

研究課題名(英文) Development of white neutron holography and its application to doped functional materials

研究代表者

大山 研司 (Ohoyama, Kenji)

茨城大学・理工学研究科(工学野)・教授

研究者番号：60241569

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,700,000円

研究成果の概要(和文)：シリコン半導体に代表される機能性材料では、微量の異種元素(ドーパント)を意図的に混入してその性能を大幅に向上させ実用化している。したがってドーパントの振る舞いの理解が機能性発現機構解明に重要である。本研究では、我々が世界で初めて開発した白色中性子ホログラフィーを用いて、様々な機能性材料でのドーパントの振る舞いを観測することに成功した。すなわち半導体材料BドーパSi、白色LED材料BドーパSiC、安全な熱電材料BドーパMg₂Siなどで、ドーパントの位置決定に世界で初めて成功した。これは我々のグループのみが可能な成果であり、本科研費研究により世界の機能性材料開発に大きな進展をもたらした。

研究成果の学術的意義や社会的意義

我々が開発した白色中性子ホログラフィーを用いた本研究課題において、半導体材料BドーパSi、白色LED材料BドーパSiC、安全な熱電材料BドーパMg₂Si、強相関電子系SmドーパRB₆(R:Yb, La)において、ドーパントの位置、ドーパが周囲の格子に与える構造的影響を直接可視化することに成功した。これは、それぞれの物質での機能発現の理解に不可欠であり、これに成功したのは世界でも本研究課題のみである。ほとんどの機能性材料がドーパントを必要としていることから、ドーパントとドーパ効果の観測方法を確立したことは、機能性材料に支えられる現代社会にとってインパクトは大きい。

研究成果の概要(英文)：For most of functional materials, the properties can be controlled by impurity doping. For Si semiconductors, B or P with a concentration of 10⁻⁵-10⁻⁹ are doped to enhance transportation properties. Thus, the slightly distorted atomic structure around dopants, called "local structure", must be important. We have developed white neutron holography for visualisation local atomic structures around selected dopants. In this project, we have succeed in visualising local structures in typical semiconductor B doped Si, white LET material B doped SiC, thermoelectric material B doped Mg₂Si, and so on. This is the world-first observation, which only our group can realise. Since doped effects in functional materials is quite important for functionality, the results of this projects will give a strong impact to materials science.

研究分野：物性物理学、材料科学、中性子科学

キーワード：中性子 機能性材料 ドーパント ホログラフィー 構造物性 局所原子構造

様式 C-19、F-19-1、Z-19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

多くの機能性材料では微量不純物ドーピングによりその機能を制御する。シリコンの場合、 10^{-3} - 10^{-5} mol%程度のホウ素(B)などをドーピングすることで機能を発揮する。従って構造の視点ではドーパント周りでの局所構造の変化が物性に影響を与えると考えられ、構造に対するドーピング効果の解明が機能性創造の鍵となる。しかし局所構造には並進対称性がなく回折実験では観測できないため未解明の部分が多く、Si 半導体でさえ B 位置には複数の候補 (図1) があり、実験的には確認されていない。この点を克服する有力な観測手法が、本計画の要である原子解析能ホログラフィー法 [Hayashi et al., J. Phys.: Condens.Matter, 24, 093201 (2012)] である。すでに X 線と電子線では実用化されており、元素選択測定が可能でドーパント周囲を観測できる、モデルなしで局所構造の三次元構造を約 20Å までの範囲で可視化できる、といった、回折法など他の手法にはない重要なメリットがある。このため局所構造研究にとって決定打となる手法である。

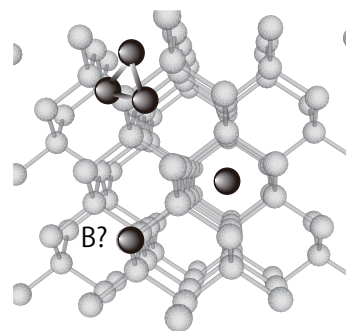


図1: Si 中で想定されるB位置の候補。B 周囲のSi 構造変化がマクロ物性に影響を与える。

X 線、電子線の場合、B, H など軽元素に対しては感度が低いため、中性子専門家である大山 (代表者) を中心に軽元素に対し感度の高い中性子でのホログラフィー法の開発を進めてきた。申請者らは挑戦的萌芽[代表者: 大山] などの支援によりまず水素吸蔵物質 PdH_x での局所構造観測に成功し [K. Hayashi, K. Ohoyama, et al., Phys. Rev. B 91, 024102 (2015).], 国内でも実験可能である事を確認した。実験は局所構造が作る干渉波を起源とする散乱中性子の角度分布 (ホログラム) を計測するノーマル法で測定した。以下の本研究課題で目指すγ線計測実験とは異なり、ドーパント (この場合は水素) はγ線を放出する必要がないが、1つの中性子波長 ($\lambda=1.82\text{\AA}$) のみしか使えないため原子精度を向上させるのが困難である。一方、ホログラフィー法では原子像の高精度化には多数の波長での測定が必須である。そこで我々は、大強度陽子加速器施設(J-PARC) の中性子源で発生する白色中性子に注目し、新学術領域「3D 活性サイト科学」の支援で広い中性子波長範囲(0.3Å-10Å) で一度に 130 波長のデータを 4 日程度で得られる手法を確立した。このことにより、これまで欠落していたドーピング系機能性材料をドーパントに注目した構造物性研究が可能になった。

日本は X 線、電子線ホログラフィーでの局所構造研究で世界トップであり、2014 年より新学術領域「3D 活性サイト科学」を軸に集中的な研究が進んでいた。代表者らは国内唯一の中性子ホログラフィーグループとして開発を進めてきた。一方、欧米グループも研究を急速に進めており、我々と競争関係にあったため、当該分野での日本のリードを維持し、実際に材料科学において成果を上げるには、中性子ホログラフィーを様々な機能性材料に応用し実績をあげることが急務であった。以上が申請時での背景および世界情勢である。

2. 研究の目的

上述の白色中性子ホログラフィーが実際の材料科学研究で新たな地平を開くものであることを証明するため、様々な化合物への応用を行うことを目的とした。すなわち、本研究計画で白色中性子ホログラフィーの装置を整備し、様々な物質にも対応できるように改良をほどこす。具体的にはγ線遮蔽体の最適化、試料周りの改造、測定条件の最適化、などである。また、これまでの解析方法が蛍光X線ホログラフィーの技術を転用していたのにたいし、中性子独自の解析方法を確立する。

3. 研究の方法

白色中性子ホログラフィー実験は、大強度陽子加速器施設 J-PARC (茨城県東海村) の物質・生命科学実験施設 (MLF) で行った。装置は、ビームライン 10 番 (BL10) を用いた。図 2 は典型的な装置のレイアウト写真である。画面奥から手前に中性子ビームが入射している。中央部には ϕ - ω 二軸ゴニオをおき、試料をビーム中で二方向に回転させる。 ϕ 軸は水平、 ω 軸は鉛直方向になる。 ω を固定して ϕ 軸を一回転し、さらに ω を 1 度動かし ϕ 軸を一回転する、という測定を繰り返し、試料からの γ 線強

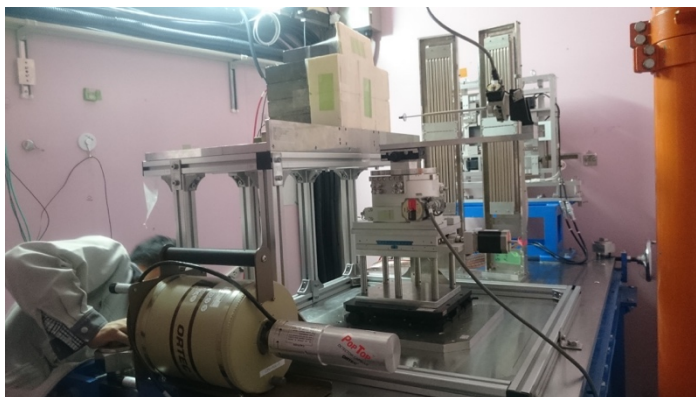


図 2 J-PARC での白色中性子ホログラフィー装置

度の ϕ - ω 分布を130個の異なる中性子波長で測定を行う。多数の波長を一度に測定できるというのが白色中性子ホログラフィーの最大の強みである。 γ 線計測には、大強度用のBi₄Ge₃O₁₂(BGO)型検出器、高分解能用のCeBr₃を同時に用いる。図2で上流側にある縦の棒状の機器は中性子検出器で、試料からのブラッグ反射を観測することで、結晶軸を0.3度以下の精度で決定する。これは蛍光X線ホログラフィーにはない中性子独自の技法である。

データ解析は、独自のPythonソフトを用いて生データをホログラム化するプロセスと、ホログラムから原子像を再生するプロセスの二段階となる。後者では広く普及して信頼性の高い3D-AirImageを用いる。一方で、中性子ホログラフィーにおいては独自のシミュレーションソフトが存在していなかったため、本研究計画で中性子用シミュレーションソフトを開発した。

本研究課題においてはたとえば以下の機能性材料を測定した。

- (1) : 半導体 0.26 at%, 0.13at% ¹⁰B ドープ Si
- (2) : 白色LED材料 0.06at% B ドープ SiC
- (3) : 安全な熱電材料 0.75at% B ドープ Mg₂Si
- (4) : 強相関電子系 2at% Sm ドープ RB6 (R: Yb, La)

以下では論文発表済みの(1)と(3)について成果を説明する。(2)(4)については論文投稿準備中であり、公開は控えたい。

4. 研究成果

- (1) : 半導体 0.26 at%, 0.13at% ¹⁰B ドープ Si

代表的機能性材料である半導体Siは、上述したように微量のBなどをドープして半導体としての性能をだしている。これは電子論的にはキャリアのドープとして理解されるが、構造物性の視点ではBがダイヤモンド構造のどの位置にはいるのか、が重要なことは明らかである。すでにBがSiと置換することは広く知られているが、実はそれを実験的に証明した例はない。それは観測するすべがないからである。理由は、ドープ量が少なすぎてBが孤立しており、通常の回折法では観測できないこと、Si中の軽元素であるBはX線、電子線では感度が低すぎて観測不可能であること、が挙げられる。したがって、本研究での白色中性子ホログラフィーが唯一観測可能な手法となる。BL10でBドープSiの実験を行った結果、わずか0.26at%のドープ量であるにもかかわらず、原子像再生に成功した。図3は再生したB周りのSi構造である。強調したいのは、これは単なる結晶構造ではなく、ドープされたBの周りにだけ存在するSi構造をみている、という点である。図3から、B周りのSiは面心立方構造をとっており、その位置はBがSiの位置にあると考えると正確に再現できることがわかった。すなわち図3は、BがSi位置にある実験的証拠である。直接的な証拠としては世界初である。機能性材料においてBがドープメントとして重要であることから、この結果は材料科学にとって重大な意味をもつ。この結果は文献[1]に発表した。

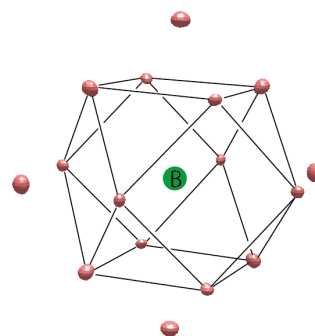


図3 B周りのSi構造[1]

- (3) : 安全な熱電材料 0.75at% B ドープ Mg₂Si

発電所、製鉄所では膨大なエネルギーが投下されているが、その大部分は無駄な排熱として空气中に逃げ去っている。したがって投下したエネルギーのうち本来の目的に利用できるのはごく一部であり、これが現在のエネルギー問題の大きな課題である。この排熱をサイド利用し電気エネルギーに変える技術として注目されているのが、熱電材料素子である。熱電材料は、両端に温度差がついたときに大きな起電力を生じる物質であり、排熱を利用すればなんと新たな燃料なしに電力をうむことができる。したがって熱電材料が完全に実用化すれば、現在のエネルギー問題は大きく解決に向かうため、社会的にも重要な意味をもつ機能性材料である。現段階でもっとも高性能の熱電材料はPbTeであるが、PbもTeも人体に有害であるため長期的に社会で利用するには適切な材料ではない。そこで安全な熱電材料候補として注目されているのがMg₂Siである。MgもSiも無害である上、どち

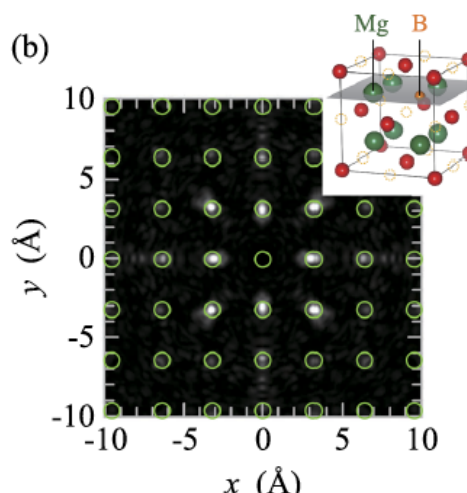


図4 B周りのMg₂Siの原子構造[2]

らも安価な元素であることが工業上重要な利点となる。また、600° C 近傍で高い熱電効率を示すことも重要な特徴である。しかし純粋な Mg₂Si では性能は低く、B や Sn などをドーピングすることではじめて実用可能なレベルに性能が向上することがわかっている。とくに B の場合、0.75at% ドーピングすると高い熱電効率を示すことがわかっていた。そこで白色中性子ホログラフィーにより Mg₂Si 中の B の位置を決定することを試みた。図 4 は可視化された B 周りの原子像で、B を含む(100)面を表示している。白い丸が B の周りにはいる原子である。緑丸は B が Mg 位置にはいったときに予想される Mg 位置で、良い一致を示す。一方、Si 位置や、第 1 原理計算で予想された原子間位置に B が入ると仮定すると、原子像を説明できないことも明らかとなった。したがって、図 4 は B が Mg 位置にはいることを直接示す証拠である。第 1 原理計算では、B が原子間位置または Mg 位置にはいると p 型半導体になることが示されており、B ドーピング Mg₂Si が p 型半導体であることとこの結果は整合している。他の手法では不可能な B 位置の同定の成功は、上述の Si と同様、材料科学に新たな視点を導入する重要な進歩である。この結果は文献[2]に発表した。

参考文献

- [1] K. Ohoyama and K. Hayashi, *Phys. Status Solidi B* **255** (2018) 1800143.
- [2] K. Hayashi, W. Saito, K. Sugimoto, K. Ohoyama, K. Hayashi, N. Hoppo, M. Harada, K. Oikawa, Y. Inamura, and Y. Miyazaki, *AIP Advances* **10** (2020) 035115.

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計5件（うち査読付論文 5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 Kenji Ohoyama, Kouichi Hayashi	4. 巻 255
2. 論文標題 White neutron holography in pulsed neutron facilities	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Phys. Status Solidi B	6. 最初と最後の頁 1800143
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） https://doi.org/10.1002/pssb.201800143	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 Tomohiro Matsushita, Takayuki Muro, Fumihiko Matsui, Naohisa Happo, Shinya Hosokawa, Kenji Ohoyama, Ayana Sato-Tomita, Yuji C. Sasaki, and Kouichi Hayashi	4. 巻 87
2. 論文標題 Principle and Reconstruction Algorithm for Atomic-Resolution Holography	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 J. Phys. Soc. Jpn.	6. 最初と最後の頁 061002(1)-(11).
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） / doi/abs/10.7566/JPSJ.87.061002	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 Tomohiro Matsushita, Takayuki Muro, Fumihiko Matsui, Naohisa Happo, Shinya Hosokawa, Kenji Ohoyama, Ayana Sato-Tomita, Yuji C. Sasaki, and Kouichi Hayashi	4. 巻 87
2. 論文標題 Principle and Reconstruction Algorithm for Atomic-Resolution Holography	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 J. Phys. Soc. Jpn.	6. 最初と最後の頁 061002(1)-(11)
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） doi/abs/10.7566/JPSJ.87.061002	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 Kouichi Hayashi, Kenji Ohoyama, Naohisa Happo, Tomohiro Matsushita, Shinya Hosokawa, Masahide Harada, Yasuhiro Inamura, Hiroaki Nitani, Toetsu Shishido, Kunio Yubuta	4. 巻 3
2. 論文標題 Multiple-wavelength neutron holography with pulsed neutrons	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Science Advances	6. 最初と最後の頁 e1700294(1)-(7)
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） DOI: 10.1126/sciadv.1700294	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 Kei Hayashi, Wataru Saito, Kazuya Sugimoto, Kenji Ohoyama, Kouichi Hayashi, Naohisa Happo, Masahide Harada, Kenichi Oikawa, Yasuhiro Inamura, and Yuzuru Miyazaki	4. 巻 10
2. 論文標題 Preparation, thermoelectric properties, and crystal structure of boron-doped Mg ₂ Si single crystals	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 AIP Advances	6. 最初と最後の頁 035115(1)-(7)
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1063/1.5143839	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46件 (うち招待講演 10件 / うち国際学会 27件)

1. 発表者名 Kenji Ohoyama, Yohei Fukumoto, Shoichi Uechi, Yuki Kanazawa, Kouichi Hayashi, Naohisa Happo, Masahide Harada, Yasuhiro Inamura, Kenichi Oikawa
2. 発表標題 Novel usage of neutron scattering: holography for observations of local atomic structures of light elements
3. 学会等名 The 31st European Crystallographic Meeting, ECM31 (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 K. Ohoyanma
2. 発表標題 White Neutron Holography - Determination of B Position in Mg ₂ Si -
3. 学会等名 Workshop of Thermoelectric Materials at Ibaraki Univ. (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 K. Ohoyama, Y. Fukumoto, S. Uechi, Y. Kanazawa, K. Sugimoto, T. Yamamoto, K. Hayashi, N. Happo, M. Harada, K. Oikawa, Y. Inamura
2. 発表標題 Present Status and Future Plans of White Neutron Holography in J-PARC
3. 学会等名 Symposium on 3D Active-site Science in London, (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 大山研司
2. 発表標題 J-PARC白色中性子ビームによる軽元素局所構造の観測
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（招待講演）
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 大山研司
2. 発表標題 白色中性子ホログラフィーによるドーブ材料の局所構造の可視化
3. 学会等名 日本物理学会2018年秋季大会（招待講演）
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 大山研司、上地昇一、金澤雄輝、福本陽平、杉本和哉、山本隆文、八方直久、林 好一、原田正英、及川健一、稲村泰弘、松浦 航、伊賀文俊
2. 発表標題 白色中性子ホログラフィーによる希土類化合物での原子構造へのドーブ効果の観測
3. 学会等名 日本物理学会 第74回年会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 杉本和哉、上地昇一、金澤雄輝、福本陽平、山本隆文、大山研司、林好一、八方直久、原田正英、及川健一、稲村康弘、林 慶、齋藤 亘、宮崎 讓
2. 発表標題 白色中性子ホログラフィーによる熱電材料BドーブMg ₂ Siの研究
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 Y. Kanazawa, Y. Fukumoto, S. Uechi, K. Ohoyama, K. Hayashi, N. Happo, H. Harada, K. Oikawa, Y. Inamura, K. Tsutsui
2 . 発表標題 Boron concentration dependence of atomic fluctuation in B doped Si by neutron atomic resolution holography
3 . 学会等名 Symposium on 3D Active-site Science in London, (国際学会)
4 . 発表年 2019年

1 . 発表者名 S. Uechi, Y. Kanazawa, Y. Fukumoto, T. Yamamoto, K. Sugimoto, K. Ohoyama, N. Happo, K. Hayashi, M. Harada, K. Oikawa, Y. Inamura, W. Matsuhira, F. Iga
2 . 発表標題 Progress of white neutron atomic resolution holography - Expansion of target elements and theory -
3 . 学会等名 Symposium on 3D Active-site Science in London, (国際学会)
4 . 発表年 2019年

1 . 発表者名 Y. Kanazawa, Y. Fukumoto, S. Uechi, K. Ohoyama, M. Lederer, N. Happo, K. Hayashi, K. Kimura, S. Hosokawa, T. Hada, M. Harada, K. Oikawa, Y. Inamura, K. Tsutsui
2 . 発表標題 Local structure investigations of B doped Si by neutron atomic-resolution holography
3 . 学会等名 The 17th Japan-Korea Meeting on Neutron Science (国際学会)
4 . 発表年 2019年

1 . 発表者名 S. Uechi, Y. Kanazawa, Y. Fukumoto, B. Paulus, K. Ohoyama, N. Happo, K. Hayashi, K. Kimura, S. Hosokawa, T. Hada, M. Harada, K. Oikawa, Y. Inamura, W. Matsuura, F. Iga
2 . 発表標題 Local structure observation of Sm doped LaB6 by white neutron atomic resolution holography
3 . 学会等名 The 17th Japan-Korea Meeting on Neutron Science (国際学会)
4 . 発表年 2019年

1. 発表者名 Kazuya Sugimoto, Syouchi Uechi, Yuki Kanazawa, Yohei Fukumoto, Takayoshi Yamamoto, Kenji Ohoyama, Kouichi Hayashi, Naohisa Happo, Masahide Harada, Kenichi Oikawa, Yasuhiro Inamura, Kei Hayashi, Wataru Saitou, Yuzuru Miyazaki
2. 発表標題 Determination of dopant position of thermoelectric material B-doped Mg ₂ Si by white neutron holography
3. 学会等名 The 17th Japan-Korea Meeting on Neutron Science (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 福本陽平、上地昇一、金沢雄輝、大山研司、林 好一、八方直久、波田拓馬、原田正英、及川 健一、稲村泰弘、M. Lederer、P. Wellmann
2. 発表標題 中性子用ホログラムシミュレーションソフトの開発とBドーブ6H-SiCの局所構造解析
3. 学会等名 日本中性子科学会第18回年会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 上地昇一、金澤雄輝、福本陽平、山本隆文、杉本和哉、大山研司、八方直久、林好一、原田正英、及川健一、稲村泰弘、松浦航、伊賀文俊
2. 発表標題 対象元素の拡大による白色中性子ホログラフィーの展開
3. 学会等名 日本中性子科学会第18回年会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 金澤雄輝、福本陽平、上地昇一、杉本和哉、山本隆文、大山研司、M. Lederer、林好一、八方直久、波田拓馬、原田正英、及川健一、稲村泰弘、筒井一生
2. 発表標題 粉末中性子ホログラフィーの開発
3. 学会等名 日本中性子科学会第18回年会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 杉本和哉、上地昇一、金澤雄輝、福本陽平、山本隆文、大山研司、林 好一、 八方直久、原田正英、及川健一、稲村康弘、林 慶、齋藤 亘、宮崎 讓
2. 発表標題 白色中性子ホログラフィーによる熱電材料BドーブMg ₂ Siの研究
3. 学会等名 日本中性子科学会第18回年会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Shoichi Uechi, Yuki Kanazawa, Youhei Fukumoto, Kenji Ohoyama, Maximilian Lederer, Naohisha Happo, Kouichi Hayashi, Wataru Matsuura, Humitoshi Iga
2. 発表標題 Local structure observation of Sm doped RB6 (R: rare earth) by white neutron atomic resolution holography
3. 学会等名 The 31st European Crystallographic Meeting, ECM31 (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 K. Ohoyama, Y. Fukumoto, S. Uechi, Y. Kanazawa, K. Hayashi, N. Happo, K. Kimura, S. Hosokawa, T. Hada, B. Paulus, J. Stellhorn, M. Lederer, M. Harada, Y. Inamura, K. Oikawa, W. Matsuura, F. Iga, K. Tsutsui, P. Wellmann
2. 発表標題 Novel usage of neutrons - White neutron holography for investigations of local atomic structures
3. 学会等名 The 16th Korea-Japan meeting on Neutron Science (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Kenji OHYAMA
2. 発表標題 Observation of doping effects to local atomic structures by atomic resolution holography
3. 学会等名 2nd International Symposium of Quantum Beam Science of Ibaraki University (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 K. Ohoyama ¹ , K. Hayashi ² , N. Happo ³ , K. Kimura ² , S. Hosokawa ⁴ , T. Hada ³ , M. Harada ⁵ , Y. Inamura ⁵ , K. Tsutsui ⁶
2. 発表標題 Developments of Multi-wavelength Neutron Atomic Resolution Holography for Local Structure Investigations of Light Elements
3. 学会等名 Swedish-Japanese Workshop on Nano-structures Science by Nove Light Sources (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 大山研司
2. 発表標題 中性子の新しい使い方：中性子ホログラフィーによるドーパント周りの原子配置の観測
3. 学会等名 量子ビームサイエンスフェスタ2017 (招待講演)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 大山研司
2. 発表標題 中性子の新しい使い方：ホログラフィーでの軽元素局所構造の観測
3. 学会等名 薄膜・多層膜の埋もれた界面のX線・中性子解析ワークショップ 2018 (招待講演)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 大山研司, 福本陽平, 上地昇一, 金澤雄輝, 林好一, 八方直久, 木村耕治, 細川伸也, 波田拓馬, 原田正英, 稲村泰弘, 筒井一生
2. 発表標題 局所構造理解の新技术：白色中性子ホログラフィーの進展
3. 学会等名 第17回日本中性子科学会年会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 福本陽平、上地昇一、金澤雄輝、大山研司、林好一、八方直久、波田拓馬、木村耕治、細川伸也、原田正英、及川健一、稲村康弘、筒井一生、B. Paulus、M. Lederer、P. Wellmann
2. 発表標題 線エネルギー解析を用いた白色中性子ホログラフィーでの局所構造解析
3. 学会等名 量子ビームサイエンスフェスタ2017
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 上地昇一、金澤雄輝、福本陽平、B. Paulus、M. Lederer、大山研司、八方直久、林好一、木村耕治、細川伸也、波田拓馬、原田正英、及川健一、稲村泰弘、松浦航、伊賀文俊
2. 発表標題 白色中性子ホログラフィーによるRB6 (R:希土類)の局所構造観測
3. 学会等名 量子ビームサイエンスフェスタ2017
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 金澤雄輝、福本陽平、上地昇一、大山研司、M. Lederer、八方直久、林好一、木村耕治、細川伸也、波田拓馬、原田正英、及川健一、稲村泰弘、筒井一生
2. 発表標題 中性子ホログラフィーによるB ドープSi の局所構造の観測
3. 学会等名 量子ビームサイエンスフェスタ2017
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 S. Uechi, Y. Kanazawa, Y. Fukumoto, K. Ohoyama, B. Paulus, , N. Happo, K. Hayashi, K. Kimura, S. Hosokawa, T. Hada, M. Harada, K. Oikawa, Y. Inamura, W. Matsuura, F. Iga
2. 発表標題 Local structure observation of Sm doped LaB6 by white neutron atomic resolution holography
3. 学会等名 The 16th Korea-Japan meeting on Neutron Science (国際学会)
4. 発表年 2018年

1 . 発表者名 Y. Kanazawa, Y. Fukumoto, S. Uechi, K. Ohoyama, M. Lederer ² , N. Happo ³ , K. Hayashi ⁴ , K. Kimura ⁴ , S. Hosokawa ⁵ , T. Hada ³ , M. Harada ⁶ , K. Oikawa ⁶ , Y. Inamura ⁶ , K. Tsutsui ⁷
2 . 発表標題 Local structure investigations of B doped Si by neutron atomic-resolution holography
3 . 学会等名 The 16th Korea-Japan meeting on Neutron Science (国際学会)
4 . 発表年 2018年

1 . 発表者名 Y. Fukumoto, S. Uechi, T. Kanazawa, K. Ohoyama, K. Hayashi, N. Happo, T. Hada, K. Kimura, S. Hosokawa, M. Harada, K. Oikawa, Y. Inamura, K. Tsutsui, B. Paulus, M. Lederer, P. Wellmann
2 . 発表標題 Investigations of Local Structures by White Neutron Atomic Resolution Holography with γ -ray Energy Analysis
3 . 学会等名 The 16th Korea-Japan meeting on Neutron Science (国際学会)
4 . 発表年 2018年

1 . 発表者名 S. Uechi ¹ , Y. Kanazawa ¹ , Y. Fukumoto ¹ , B. Paulus ² , S. Uechi, Y. Kanazawa, Y. Fukumoto, K. Ohoyama, N. Happo ³ , K. Hayashi ⁴ , K. Kimura ⁴ , S. Hosokawa ² , T. Hada ³ , M. Harada ⁵ , K. Oikawa ⁵ , Y. Inamura ⁵ , W. Matsuura ¹ , F. Iga ¹
2 . 発表標題 Local structure observation of Sm doped LaB ₆ by white neutron atomic resolution holography
3 . 学会等名 2nd International Symposium of Quantum Beam Science of Ibaraki University (国際学会)
4 . 発表年 2017年

1 . 発表者名 Y. Kanazawa, Y. Fukumoto, S. Uechi, K. Ohoyama, M. Lederer ² , N. Happo ³ , K. Hayashi ⁴ , K. Kimura ⁴ , S. Hosokawa ⁵ , T. Hada ³ , M. Harada ⁶ , K. Oikawa ⁶ , Y. Inamura ⁶ , K. Tsutsui ⁷
2 . 発表標題 Local structure investigations of B doped Si by neutron atomic-resolution holography
3 . 学会等名 2nd International Symposium of Quantum Beam Science of Ibaraki University (国際学会)
4 . 発表年 2017年

1. 発表者名 Y. Fukumoto, S. Uechi, T. Kanazawa, K. Ohoyama, K. Hayashi, N. Happo, T. Hada, K. Kimura, S. Hosokawa, M. Harada, K. Oikawa, Y. Inamura, K. Tsutsui, B. Paulus, M. Lederer, P. Wellmann
2. 発表標題 Investigations of Local Structures by White Neutron Atomic Resolution Holography with γ -ray Energy Analysis
3. 学会等名 2nd International Symposium of Quantum Beam Science of Ibaraki University (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Y. Fukumoto ¹ , K. Ohoyama ¹ , K. Hayashi ² , S. Uechi ¹ , Y. Kanazawa ¹ , N. Happo ³ , T. Hada ³ , K. Kimura ² , S. Hosokawa ⁴ , M. Harada ⁵ , Y. Inamura ⁵ , K. Tsutsui ⁶
2. 発表標題 Developments of Energy Analysis Multi-wavelength Neutron Atomic Resolution Holography
3. 学会等名 Swedish-Japanese Workshop on Nano-structures Science by Nove Light Sources (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 金澤雄輝、福本陽平、上地昇一、大山研司、M.Lederer、林好一、八方直久、木村耕治、細川伸也、波田拓馬、原田正英、稲村泰弘、筒井一生
2. 発表標題 中性子ホログラフィーによるBドープSiの局所構造解明
3. 学会等名 第17回日本中性子科学会年会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 上地昇一、金澤雄輝、福本陽平、B.Paulus ⁴ 、大山研司、八方直久、林好一、原田正英、稲村泰弘、松浦航、伊賀文俊
2. 発表標題 白色中性子ホログラフィーによるSmドープLaB6の局所構造観測
3. 学会等名 第17回日本中性子科学会年会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 本陽平、上地昇一、金沢雄輝、B. Paulus、大山研司、林好一、八方直久、木村耕治、細川伸也、波田拓馬、原田正英、稲村泰弘、筒井一生、P. Wellmann
2. 発表標題 多波長中性子ホログラフィー法による軽元素局所構造解析
3. 学会等名 第17回日本中性子科学会年会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 K. Ohoyama, Y. Kanazawa, T. Yamamoto, S. Uechi, K. Sugimoto, S. Arase, S. Noda, T. Ishizaki, K. Hayashi, N. Happo, M. Harada, K. Oikawa, Y. Inamura, T. Sato, S. Orimo
2. 発表標題 CHALLENGE OF DETERMINATION OF HYDROGEN POSITIONS IN HYDRIDES BY WHITE NEUTRON HOLOGRAPHY
3. 学会等名 CHALLENGE OF DETERMINATION OF HYDROGEN POSITIONS IN HYDRIDES BY WHITE NEUTRON HOLOGRAPHY (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 K. Ohoyama
2. 発表標題 Novel Usages of Neutrons; White Neutron Holography in J-PARC
3. 学会等名 Materials Research Meeting 2019 (MRM2019) (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 K. Ohoyama
2. 発表標題 Novel Usages of Neutrons; White Neutron Holography in J-PARC
3. 学会等名 14th International Conference on the Structure of Non-Crystalline Materials (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 大山研司
2. 発表標題 材料科学での中性子の新しい使い方：白色中性子ホログラフィー
3. 学会等名 日本応用物理学会 第80回 秋季学術講演会（招待講演）
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Kei Hayashi, W. Saito, Y. Miyazaki, K. Sugimoto, S. Uechi, Y. Kanazawa, Y. Fukumoto, T. Yamamoto, K. Ohoyama, and K. Hayashi
2. 発表標題 Thermoelectric Properties and Local Structure of Boron-Doped Mg ₂ Si and Mg ₂ Sn
3. 学会等名 14th International Conference on the Structure of Non-Crystalline Materials（国際学会）
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 野田新太, 荒瀬将太郎, 石崎嵩人, 上地昇一, 原田正英, 林好一, 大山研司
2. 発表標題 希土類化合物の構造研究のための白色中性子ホログラフィー装置の高精度化
3. 学会等名 日本物理学会第75回年会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Yuki Kanazawa, Kenji Ohoyama, Masahide Harada, Kenichi Oikawa, Kouichi Hayashi
2. 発表標題 DEVELOPMENT OF POWDER NEUTRON HOLOGRAPHY FOR INVESTIGATION OF HYDRIDES
3. 学会等名 1st Int. Symposium "Hydrogenomics" combined with 14th Int. Symposium "Hydrogen & Energy"（国際学会）
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 T. Yamamoto, S. Uechi, Y. Kanazawa, K. Sugimoto, K. Ohoyama, S. Arase, T. Isizaki, S. Noda, K. Hayashi, N. Happo, M. Harada, K. Oikawa, Y. Inamura, T. Sato, S. Orimo
2. 発表標題 TUDY OF HYDROGEN POSITION IN HYDRIDES USING WHITE NEUTRON HOLOGRAPHY
3. 学会等名 1st Int. Symposium "Hydrogenomics" combined with 14th Int. Symposium "Hydrogen & Energy" (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 S. Uechi, Y. Kanazawa, K. Sugimoto, T. Yamamoto, Y. Fukumoto, K. Ohoyama, N. Happo, K. Hayashi, M. Harada, K. Oikawa, Y. Inamura, W. Matsuhira, F. Iga
2. 発表標題 oping effect in Sm doped RB6(R: La,Yb) by white neutron holography
3. 学会等名 Material Research Meeting 2019 (MRM2019) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 K. Sugimoto, S. Uechi, Y. Kanazawa, Y. Fukumoto, T. Yamamoto, K. Ohoyama, K. Hayashi, N. Happo, M. Harada, K. Oikawa, Y. Inamura, K. Hayashi, W. Saito, Y. Miyazaki
2. 発表標題 Determination of dopant position of thermoelectric material B-doped Mg2Si by white neutron holography
3. 学会等名 Material Research Meeting 2019 (MRM2019) (国際学会)
4. 発表年 2019年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

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	八方 直久 (Happo Naohisa) (30285431)	広島市立大学・情報科学研究科・准教授 (25403)	