

## 科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成25年8月23日現在

機関番号：13101

研究種目：基盤研究（B）

研究期間：2009～2012

課題番号：21340097

研究課題名（和文） カゴ状ナノ空間に発現するラットリングと電子-格子相互作用の研究

研究課題名（英文） Study of rattling and electron-phonon interaction in cage-structured compounds

研究代表者

根本 祐一（NEMOTO YUICHI）

新潟大学・自然科学系・准教授

研究者番号：10303174

研究成果の概要（和文）：

3-20-6 系カゴ状化合物におけるラットリングに起因する超音波分散を観測した。また、 $\text{Pr}_3\text{Pd}_{20}\text{Ge}_6$  での 8c サイトの反強四極子秩序と 4a サイトの強四極子秩序を観測した。また、 $\text{R}_3\text{Pd}_{20}\text{Si}_6$  では、超音波分散は観測されず、ラットリングが発現していないことを明らかにした。これはカゴ状のナノ空間が、ラットリングやトンネリングの発現舞台となっている一方で、カゴ原子のつくる伝導電子系の役割が重要であり、電子格子相互作用の新しい物性であることを示した。

研究成果の概要（英文）：

We have performed systematic ultrasonic measurement on 3-20-6 type clathrate compounds and filled-skutterudite compounds to elucidate rattling and tunneling with cage-like nano-space. In the  $\text{R}_3\text{Pd}_{20}\text{Ge}_6$  multi-structured ultrasonic dispersions in the elastic constant  $C_{44}$  were observed. On the other hand, we revealed rattling does not emerge in the  $\text{R}_3\text{Pd}_{20}\text{Si}_6$ . These results evidences that conduction bands participate in the formation of anharmonic vibration with  $\Gamma_5$ -type charge fluctuation using the path of electron-phonon interaction. In addition, we found antiferro-type quadrupole ordering of 8c site at 250 mK and successively of 4a site at 60 mK in  $\text{Pr}_3\text{Pd}_{20}\text{Ge}_6$ .

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
21年度	4,000,000	1,200,000	5,200,000
22年度	4,400,000	1,320,000	5,720,000
23年度	3,100,000	930,000	4,030,000
24年度	2,800,000	840,000	3,640,000
年度			
年度			
総計	14,300,000	4,290,000	18,590,000

研究分野：数物系科学

科研費の分科・細目：物性Ⅱ

キーワード：超音波、ラットリング、多極子

### 1. 研究開始当初の背景

カゴ状のナノ空間をもつ物質では、強い電子格子相互作用により、ゲスト原子の局所振動が熱活性ラットリングと量子トンネリングをもたらしと期待される。この局所振動は、電荷揺らぎをもつので、電荷揺らぎを観測できる超音波計測法を用いて、弾性定数および超音波吸収係数の精密測定を行い、電荷揺らぎに由来する重い電子や超伝導など電子格子相互作用の新しい問題を実験的に解明する必要性が認識されつつあった。

### 2. 研究の目的

3-20-6系カゴ状化合物  $R_3Pd_{20}Ge_6$  とスクッテルダイト化合物に着目し、ポテンシャル中を熱活性型で運動するラットリングと低温で期待される量子トンネリングを区分して観測し、それらが電子格子相互作用によって発現することを検証するため、弾性定数の温度・磁場依存性の精密測定を行った。また、特にスクッテルダイト化合物で注目されている未解明の秩序相 A を示す  $PrFe_4P_{12}$  を取り上げ、秩序変数の特定のため超音波実験を行った。

### 3. 研究の方法

ゲストイオンが非調和振動であるラットリングやトンネリングは、電荷揺らぎをもつので、電気四極子を観測できる超音波測定が有効である。そのため、弾性定数の温度・磁場依存性について、希釈冷凍機を用いて極低温 20mK、超伝導磁石を用いて 14T までの強磁場中での実験を行い、ラットリングの発現メカニズムについて電子格子相互作用の立場から研究を進めた。

### 4. 研究成果

3-20-6カゴ状化合物  $R_3Pd_{20}Ge_6$  と  $R_3Pd_{20}Si_6$  は、図 1 に示すように希土類 R が Pd のみに

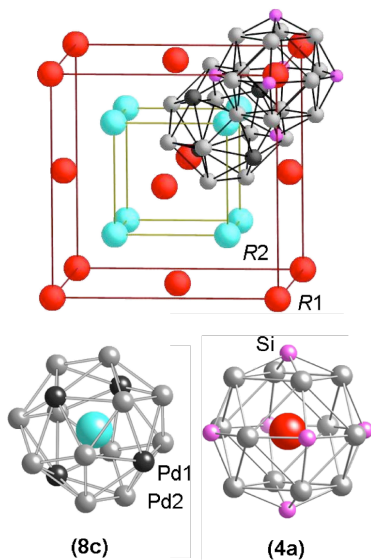


図 1 3-20-6 カゴ状化合物の結晶構造

囲まれた 8c サイトと、Pd と Ge あるいは Pd と Si に囲まれた 4a サイトの 2 つが存在する。8c サイトの希土類は、原子間距離が短いため、より高い温度で磁気秩序や四極子秩序が起きる。それより低温で、原子間距離の長い 4a サイトの秩序が起きる。我々はこれまで、4a サイトの希土類イオンがラットリングを示すことを Ce 系で明らかにしており、非クラマースイオンの Pr 系についてラットリングの系統的な研究を進めるため超音波実験を行った。

図 2 に  $Pr_3Pd_{20}Ge_6$  の弾性定数  $C_{44}$  について超音波の測定周波数を変えて実験を行った結果を、同様に図 3 に  $C_{44}$  に対応する超音波吸収係数  $\alpha_{44}$  の周波数依存性の結果を示す。いずれも (a) 図が実験結果、(b) 図が解析結果である。特徴的な周波数分散は、デバイ型の分散式でよく再現されることが分かる。また、

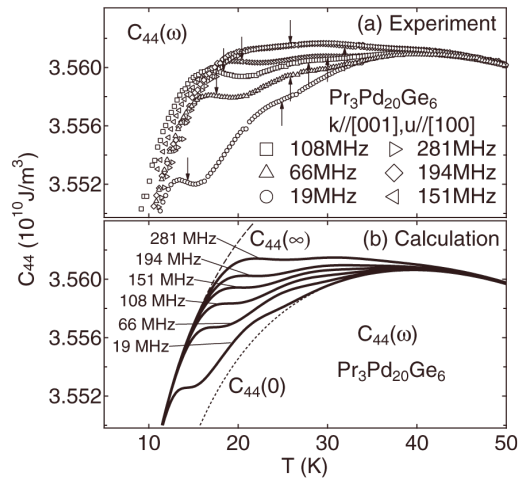


図 2  $Pr_3Pd_{20}Ge_6$  の弾性定数  $C_{44}$  の超音波分散

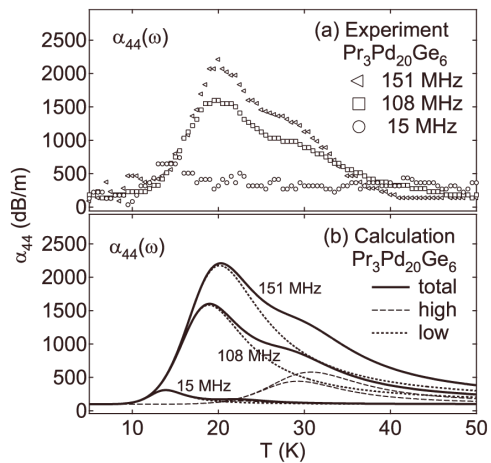


図 3  $Pr_3Pd_{20}Ge_6$  の超音波吸収係数  $\alpha_{44}$  の超音波分散

複数の温度領域に独立な超音波分散を初めて観測した。これは、4a サイトのカゴの中に形成される非調和ポテンシャルが、構造を持つことを示している。このような超音波分散は、 $Ce_3Pd_{20}Ge_6$  や  $Nd_3Pd_{20}Ge_6$  でも同様に観測された。他方、 $Ce_3Pd_{20}Si_6$  や  $Pr_3Pd_{20}Si_6$  はじめとする Si 系の 3-20-6 化合物では、超音波分散は観測されず、ラットリングが発現していないことを見出した。

次に、希釈冷凍機を用いた極低温・磁場中実験により、 $Pr_3Pd_{20}Ge_6$  では  $T_{Q1}=0.25K$  で 8c の  $\Gamma_3$  結晶場基底に起因する反強四極子秩序が起きていることが分かった。また、より低温の  $T_{Q2}=0.060K$  で 4a サイトの  $\Gamma_5$  結晶場基底による強四極子秩序を初めて見出した。

スクッテルダイト化合物の中で、重い電子超伝導を示す  $PrOs_4Sb_{12}$  と並んで最も精力的な研究が行われている  $PrFe_4P_{12}$  について超音波実験を行った。当初は磁場方向  $[111]$  にのみ出現する磁場誘起秩序相 B の解明を行うことを目的とした。その中で、はじめにゼロ磁場における弾性定数の温度依存性を精密測定したところ、縦波に対応する  $C_{11}$ 、横波に対応する  $(C_{11}-C_{12})/2$  と  $C_{44}$  のいずれにも明瞭な低温ソフト化を観測した。ソフト化は未解明の秩序相 A への転移温度  $T_C=6.5K$  で停止した。特に、電気四極子が起源の感受率ではソフト化を示さない、全対称表現  $\Gamma_1$  の体積弾性率  $C_B$  がソフト化することを発見した。これは、高次ランクの電気 16 極子  $H_0$  が体積歪みと結合していることを示唆する。これにより、長年の懸案であった秩序相 A のオーダーパラメーターが電気 16 極子であることを明らかにした。

また、ゼロ磁場では伝導電子との強い混成効果により、4f 電子の局在性が弱まり、非弾性中性子散乱実験などで結晶場が特定できていなかったことを踏まえ、混成効果を磁場で抑制するため、磁場中超音波実験を行った。その結果、ゼロ磁場での弾性定数の低温ソフト化が 4-5 倍に増強され、磁場中での四極子感受率の解析結果から、結晶場基底が約 5K の分裂幅をもった  $\Gamma_4^{(1)}-\Gamma_1$  であることを明らかにした。

その他、研究開始時には想定していなかった新型のカゴ状化合物 1-2-20 系でのラットリングや多極子効果、非クラマース  $\Gamma_3$  基底をもつ  $PrMg_3$  や  $PrAg_2In$  における超微細相互作用による電子原子核結合状態の研究、鉄系高温超伝導  $Ba(Fe_{1-x}Co_x)_2As_2$  系における電気四極子が役割を果たす超伝導の解明、シリコン原子空孔における電子軌道の研究などが大いに発展を示し、超音波が拓く新しい物性物理の豊かな広がりを見せており、研究を継続している。

## 5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計 25 件)

1. M. Akatsu, T. Goto, H. Y-Kaneta, H. Watanabe, Y. Nemoto, K. Mitsumoto, S. Baba, Y. Nagai, S. Nakamura, Ultrasonic Study of Vacancy in Single Crystal Silicon at Low Temperatures, J. Phys. Conf. Series **150** (2009) 042002 1-4. 査読有
2. I. Ishii, T. Suzuki, T. Fujita, I. Mori, H. Sugawara, M. Yoshizawa, Y. Nemoto, T. Goto, Ultrasonic Dispersion in the Filled Skutterudite  $CeFe_4Sb_{12}$ , J. Phys. Conf. Series **150** (2009) 042071 1-4. 査読有
3. Y. Xue, H. Kaneko, Q. Tao, Z. Xu, N. Takeda, Y. Nemoto, T. Goto, H. Suzuki, Low temperature x-ray diffraction study on superconductivity, J. Phys. Conf. Series **150** (2009) 052284 1-4. 査読有
4. K. Araki, T. Yoshikawa, M. Akatsu, I. Ishii, Y. Nemoto, T. Goto, H.S. Suzuki, H. Tanida, S. Takagi, B. Luthi, Quadrupole effects non-Kramers doublet system  $PrMg_3$ , Physica B **404** (2009) 3187-3190. 査読有
5. Tatsuya Ynagisawa, Taichi Mayama, Hiroyuki Hidaka, Hiroshi Amitsuka, Akio Yamaguchi, Koji Araki, Yuichi Nemoto, Terutaka Goto, Naoya Takeda, Pei-Chun Ho, M. Brian Maple, Ultrasonic investigation of off-center rattling in  $Pr_{0.55}Nd_{0.45}Os_4Sb_{12}$ , Physica B **404** (2009) 3235-3237. 査読有
6. Hiroshi Yamada-Kaneta, Hajime Watanabe, Yuta Nagai, Shotaro Baba, Mitsuhiro Akatsu, Yuichi Nemoto, Terutaka Goto, Low-temperature elastic softening due to vacancies in boron-doped FZ silicon crystals, Solid State Phenomena, **156-158** (2010) 135-138. 査読有
7. H. Mitamura, T. Sakuraba, T. Tayama, T. Sakakibara, S. Tsuduku, G. Ano, I. Ishii, M. Akatsu, Y. Nemoto, T. Goto, A. Kikkawa, H. Kitazawa, Magnetic Properties of  $Ce_3Pd_{20}Si_6$  at Very Low Temperatures, J. Phys. Conf. Series **200** (2010) 012118. 査読有
8. M. Akatsu, S. Tsuduku, Y. Nemoto, T. Goto, I. Ishii, K. Mitsumoto, G. Ano, H. Kobayashi, N. Takeda, A. Donni, H. Kitazawa, Quadrupole Order in Clathrate Compound  $Pr_3Pd_{20}Si_6$ , J. Phys. Conf. Series **200** (2010) 012121. 査読有
9. Hiroyuki Mitamura, Takashi Tayama, Toshiro Sakakibara, Seiji Tsuduku, Genki

- Ano, Isao Ishii, Mitsuhiro Akatsu, Yuichi Nemoto, Terutaka Goto, Akiko Kikkawa, Hideaki Kitazawa, Low Temperature Magnetic Properties of  $Ce_3Pd_{20}Si_6$ , *J. Phys. Soc. Jpn.* **79** (2010) 074712 1-6. 査読有
10. Shuai Zhang, Yosikazu Isikawa, Takashi Yamama, Tomohiko Kuwai, Toshio Mizushima, Mitsuhiro Akatsu, Yuichi Nemoto, and Terutaka Goto, Magnetic and Thermal Properties of Cubic Single-Crystal  $PrCu_4Ag$ , *J. Phys. Soc. Jpn.* **79** (2010) 114707 1-8. 査読有
11. Hiroshi Yamada-Kaneta, Shotaro Baba, Yuta Nagai, Mitsuhiro Akatsu, Keisuke Mitsumoto, Takashi Yanase, Kazuki Okabe, Yasushi Ono, Yuichi Nemoto, Terutaka Goto, Practical method and physics of evaluation for vacancy concentration of silicon crystals by measuring low-temperature elastic softening, *ECS Trans.* **33** (2010) 3458. 査読有
12. G. Ano, K. Matsuo, K. Araki, Y. Tachikawa, K. Mitsumoto, M. Akatsu, Y. Nemoto, T. Goto, N. Takeda, A. Kikkawa, A. Dönni, H. Kitazawa, Quadrupole Ordering and Rattling in Clathrate Compound  $Pr_3Pd_{20}Ge_6$ , *J. Phys. Conf. Series* **273** (2011) 012002. 査読有
13. K. Araki, K. Mitsumoto, M. Akatsu, Y. Nemoto, T. Goto, H. S. Suzuki, H. Tanida, S. Takagi, S. Yasin, S. Zherlitsyn, J. Wosnitza, Low-Temperature Elastic Properties of Non-Kramers Doublet Compound  $PrMg_3$ , *J. Phys. Conf. Series* **273** (2011) 012133. 査読有
14. Tatsuya Yanagisawa, Yoichi Ikeda, Hitoshi Saito, Hiroyuki Hidaka, Hiroshi Amitsuka, Koji Araki, Mitsumoto Akatsu, Yuichi Nemoto, Terutaka Goto, Pei-Chun Ho, Ryan E. Baumbach, M. Brian Maple, Magnetic-Field-Independent Ultrasonic Dispersions in the Magnetically Robust Heavy Fermion System  $SmOs_4Sb_{12}$ , *J. Phys. Soc. Jpn.* **80** (2011) 043601 1-4. 査読有
15. Andreas Dönni, Hideaki Kitazawa, Thierry Strässle, Lukas Keller, Masaaki Matsuda, Kazuhisa Kakurai, Genki Ano, Mitsuhiro Akatsu, Yuichi Nemoto, Terutaka Goto, Crystal Field Level Diagrams at the Pr Sites (8c) and (4a) in the Clathrate Compound  $Pr_3Pd_{20}Si_6$ , *J. Phys. Soc. Jpn.* **80** (2011) 044715 1-8. 査読有
16. Tatsuya Yanagisawa, Naoyuki Tateiwa, Taichi Mayama, Hitoshi Saito, Hiroyuki Hidaka, Hiroshi Amitsuka, Yoshinori Haga, Yuichi Nemoto, Terutaka Goto, Ultrasonic Measurements on the Cage-Structured Clathrate Compound  $U_3Pd_{20}Si_6$ , *J. Phys. Soc. Jpn.* **80** (2011) SA 105 1-3. 査読有
17. Terutaka Goto, Ryosuke Kurihara, Koji Araki, Keisuke Mitsumoto, Mitsuhiro Akatsu, Yuichi Nemoto, Shunichi Tatematsu, Masatoshi Sato, Quadrupole Effects of Layered Iron Pnictide Superconductor  $Ba(Fe_{0.9}Co_{0.1})_2As_2$ , *J. Phys. Soc. Jpn.* **80** (2011) 073702 1-4. 注目論文賞 査読有
18. Koji Araki, Yuichi Nemoto, Mitsuhiro Akatsu, Shinya Jyumonji, Terutaka Goto, Hiroyuki S. Suzuki, Hiroshi Tanida, Shigeru Takagi, Multipole effects of  $\Gamma_3$  doublet -  $\Gamma_4$  triplet states in  $PrMg_3$ , *Phys. Rev. B* **84** (2011) 045110 1-8. 査読有
19. Isao Ishii, Hitoshi Muneshige, Yasuhiko Suetomi, Takahiro K. Fujita, Takahiro Onimaru, Keisuke T. Matsumoto, Toshiro Takabatake, Koji Araki, Mitsuhiro Akatsu, Yuichi Nemoto, Terutaka Goto, Takashi Suzuki, Antiferro-Quadrupolar Ordering at the Lowest Temperature and Anisotropic Magnetic Field-Temperature Phase Diagram in the Cage Compound  $PrIr_2Zn_{20}$ , *J. Phys. Soc. Jpn.* **80** (2011) 093601 1-4. 査読有
20. Shotaro Baba, Terutaka Goto, Yuta Nagai, Mitsuhiro Akatsu, Hajime Watanabe, Keisuke Mitsumoto, Takafumi Ogawa, Yuichi Nemoto, and Hiroshi Yamada-Kaneta, Quadrupole Effects of Vacancy Orbital in Boron-Doped Silicon, *J. Phys. Soc. Jpn.* **80** (2011) 094601-8. 査読有
21. Koji Araki, Terutaka Goto, Keisuke Mitsumoto, Yuichi Nemoto, Mitsuhiro Akatsu, Hiroyuki S. Suzuki, Hiroshi Tanida, Shigeru Takagi, Shadi Yasin, Sergei Zherlitsyn, Joachim Wosnitza, Dissipation In Non-Kramers Doublet of  $PrMg_3$ , *J. Phys. Soc. Jpn.* **81** (2012) 023710 1-4. 査読有
22. Genki Ano, Mitsuhiro Akatsu, Koji Araki, Kazuo Matsuo, Yoshiaki Tachikawa, Keisuke Mitsumoto, Takashi Yamaguchi, Yuichi Nemoto, Terutaka Goto, Naoya Takeda, Andreas Dönni, Hideaki Kitazawa, Quadrupole Ordering and Rattling Motion of Clathrate Compound  $Pr_3Pd_{20}Ge_6$ , *J. Phys. Soc. Jpn.* **81** (2012) 034710 1-11. 査読有
23. Hiroshi Yamada-Kaneta, Satoru Komatsu, Shotaro Baba, Yuta Nagai, Mitsuhiro Akatsu, Yuichi Nemoto,

Terutaka Goto, Effect of nitrogen Doping on Vacancy state in Silicon Crystals Observed by Low-Temperature Ultrasonic Measurements, Mater. Sci. forum Vol. **725** (2012) 217-220. 査読有

24. Naoyuki SANADA, Yuta AMOU, Ryuta WATANUKI, Kazuya SUZUKI, Isao YAMAMOTO, Hiroyuki MITAMURA, Toshiro SAKAKIBARA, Mitsuhiro AKATSU, Yuichi NEMOTO, Terutaka GOTO, Coexistence of Ising and XY Spin Systems on a Single Tb Atom in TbCoGa<sub>5</sub>, J. Phys. Soc. Jpn. **82** (2013) 044713 1-8. 査読有

25. Isao Ishii, Hitoshi Muneshige, Shuhei Kamikawa, Takahiro K. Fujita, Takahiro Onimaru, Naohiro Nagasawa, Toshiro Takabatake, Takashi Suzuki, Genki Ano, Mitsuhiro Akatsu, Yuichi Nemoto, Terutaka Goto, Antiferroquadrupolar ordering and magnetic-field-induced phase transition in the cage compound PrRh<sub>2</sub>Zn<sub>20</sub>, Phys. Rev. B **87** (2013) 205106 1-7. 査読有

〔学会発表〕(計 87 件)

1. 第 9 回強磁場国際会議, ドイツ, ドレスデン, 2009 年 7 月 25 日 Electron-Phonon Interaction in Relation to the Rattling in (Pr<sub>1-x</sub>La<sub>x</sub>)Os<sub>4</sub>Sb<sub>12</sub>, Nemoto Yuichi, Akio Yamaguchi, Saori Goto, Kouji Araki, Isao Ishii, Mitsuhiro Akatsu, Naoya Takeda<sup>1</sup>, Akira Ochiai<sup>2</sup>, Terutaka Goto, Niigata University Graduate School of Science and Technology, <sup>1</sup>Niigata University Faculty of Engineering, <sup>2</sup>Tohoku University Graduate School of Science

2. 日本物理学会 2009 年秋季大会, 熊本大学, 2009 年 9 月 26 日, 充填スクッテルダイト (Pr<sub>1-x</sub>La<sub>x</sub>)Os<sub>4</sub>Sb<sub>12</sub> のラットリングとトンネリング, 根本祐一, 戸谷田貴志, 阿野元貴, 荒木幸治, 赤津光洋, 石井勲<sup>A</sup>, 武田直也<sup>B</sup>, 落合明<sup>C</sup>, 菅原仁<sup>D</sup>, 佐藤英行<sup>E</sup>, 後藤輝孝, 新潟大院自然, 広大院先端<sup>A</sup>, 新潟大工<sup>B</sup>, 東北大院理<sup>C</sup>, 徳島大総合<sup>D</sup>, 首都大院理<sup>E</sup>

・日本物理学会第 65 回年次大会, 岡山大学  
超音波による RPd<sub>3</sub>S<sub>4</sub> の四極子秩序, 根本祐二, 吉川拓摩, 荒木幸治, 赤津光洋, 松岡英一<sup>A</sup>, 綿引正倫<sup>B</sup>, 谷垣勝己<sup>B</sup>, 小野寺秀也<sup>B</sup>, 後藤輝孝, 新潟大院自然, 神戸大院理<sup>A</sup>, 東北大院理<sup>B</sup>

3. 重い電子系国際会議 2010, 東京, 首都大学東京, 2010 年 9 月 18 日, Ultrasonic investigation of rattling in R<sub>3</sub>Pd<sub>20</sub>Ge<sub>6</sub>, Y. Nemoto<sup>1,2</sup>, G. Ano<sup>1</sup>, K. Matsu<sup>1</sup>, K. Araki<sup>1</sup>, Y. Tachikawa<sup>1</sup>, M. Akatsu<sup>1</sup>, T. Yanagisawa<sup>3</sup>, N.Takeda<sup>4</sup>, A. Kikkawa<sup>5</sup>, H. Kitazawa<sup>5</sup> and T. Goto<sup>1,2</sup>, <sup>1</sup>Graduate School

of Science and Technology, Niigata University, Niigata 950-2181, Japan, <sup>2</sup>Center for Quantum Materials Science, Niigata University, Niigata 950-2181, Japan, <sup>3</sup>Creative Research Institution, Hokkaido University, Sapporo 001-0021, Japan, <sup>4</sup>Faculty of Engineering, Niigata University, Niigata 950-2181, Japan, <sup>5</sup>National Institute for Materials Science, Tsukuba 305-0047, Japan

4. 強相関電子系国際会議 2011, イギリス, ケンブリッジ大学, 2011 年 8 月 31 日, Ultrasonic investigation of quadrupole effects in PrFe<sub>4</sub>P<sub>12</sub> under magnetic fields along [111], Y. Nemoto, Y. Ikeda, T. Nishikata, G. Ano, K. Araki, K. Mitsumoto, M. Akatsu, T. Goto, N. Kurotaki, N. Takeda<sup>1</sup> Graduate School of Science and Technology, Niigata University, Niigata, Japan, Center for Quantum Materials Science, Niigata University, Niigata, Japan, Dresden High Magnetic Field Laboratory (HLD), Helmholtz Zentrum Dresden Rossendorf (HZDR), Germany, Faculty of Engineering, Niigata University, Niigata, Japan

5. 日本物理学会 2012 年秋季大会, 横浜国立大学, 2012 年 9 月 19 日, 超音波による PrFe<sub>4</sub>P<sub>12</sub> の結晶場と多極子秩序の解明, 根本祐一<sup>A</sup>, 池田佳生<sup>A</sup>, 三本啓輔<sup>A, B</sup>, 赤津光洋<sup>A, C</sup>, 阿野元貴<sup>A</sup>, 荒木幸治<sup>D</sup>, 後藤輝孝<sup>A</sup>, 黒瀧直哉<sup>E</sup>, 中野智仁<sup>E</sup>, 武田直也<sup>E</sup>, 新潟大院自然<sup>A</sup>, MPI CPfS<sup>B</sup>, HZDR HLD<sup>C</sup>, 東大物性研<sup>D</sup>, 新潟大工<sup>E</sup>  
他 82 件

〔産業財産権〕

○出願状況(計 3 件)

名称: シリコンウェーハ中に存在する原子空孔濃度の定量評価方法, シリコンウェーハの製造方法, および当該製造方法により製造したシリコンウェーハ

発明者: 後藤輝孝, 金田寛, 根本祐一, 赤津光洋

権利者: 国立大学法人 新潟大学

種類: 特許

番号: 特願 2009-206397 (日本), PCT/JP2010/063967 (PCT), 第 99129214 (台湾)

出願年月日: 平成 21 年 9 月 7 日 (2009.9.7) (日本), 平成 22 年 8 月 19 日 (2010.8.19) (PCT), 平成 22 年 8 月 31 日 (2010.8.31) (台湾)

国内外の別: 国内および国外

名称: シリコンウェーハ表層中の原子空孔評

価方法及び装置

発明者：後藤輝孝，根本祐一，金田寛，赤津光洋，三本啓輔  
権利者：国立大学法人 新潟大学  
種類：特許  
番号：特願 2013-017810 号  
出願年月日：2013 年 1 月 31 日  
国内外の別：国内

名称：シリコンウェーハ中の原子空孔濃度の絶対値の決定方法

発明者：後藤輝孝，根本祐一，金田寛，赤津光洋，三本啓輔，鹿島一日兒  
権利者：国立大学法人 新潟大学  
種類：特許  
番号：特願 2013-017811 号  
出願年月日：2013 年 1 月 31 日  
国内外の別：国内

○取得状況（計 1 件）

名称：シリコンウェーハ中に存在する原子空孔の定量評価装置，その方法，シリコンウェーハの製造方法，及び薄膜振動子

発明者：後藤輝孝，根本祐一，金田寛  
権利者：国立大学法人 新潟大学  
種類：特許  
番号：第 8,215,175 号  
取得年月日：2012 年 7 月 10 日  
国内外の別：米国

〔その他〕

ホームページ：

<http://www.sc.niigata-u.ac.jp/goto/>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

根本 祐一 (NEMOTO YUICHI)  
新潟大学・自然科学系・准教授  
研究者番号：1 0 3 0 3 1 7 4

(2) 研究分担者

赤津 光洋 (AKATSU MITSUHIRO)  
新潟大学・自然科学系・博士研究員  
研究者番号：1 0 4 3 1 8 7 6