

研究種目：基盤研究（A）

研究期間：2006～2008

課題番号：18206071

研究課題名（和文） 機能性無機結晶の電子密度分布とそのダイナミクス

研究課題名（英文） Electron density distribution and its dynamics of functionally-important inorganic materials

研究代表者

石澤 伸夫（ISHIZAWA NOBUO）

名古屋工業大学 大学院工学研究科 教授

研究者番号 90151365

研究成果の概要：放射光を利用した精密電子密度分布解析法をさらに発展させ、分子動力学シミュレーションを相補的に組み合わせることにより、 LiMn_2O_4 、 Gd_3RuO_7 、 Tb_3RuO_7 、 Dy_3RuO_7 などの機能性をもつ種々の無機結晶の構造ダイナミクスと物性との相関を明らかにした。中でもリチウムイオン電池の正極材料に応用される LiMn_2O_4 については、 Mn_4O_4 立方体クラスター中における Mn の電荷揺動とこれに伴う結合長揺動を実験的に見出し、このポーラロンが Li 拡散に重要な役割を果たしていることを初めて見出すなど大きな研究成果を上げた。

交付額

（金額単位：円）

| | 直接経費 | 間接経費 | 合計 |
|--------|------------|------------|------------|
| 2006年度 | 22,400,000 | 6,720,000 | 29,120,000 |
| 2007年度 | 11,300,000 | 3,390,000 | 14,690,000 |
| 2008年度 | 3,600,000 | 1,080,000 | 4,680,000 |
| 年度 | | | |
| 年度 | | | |
| 総計 | 37,300,000 | 11,190,000 | 48,490,000 |

（金額単位：円）

研究分野：工学

科研費の分科・細目：無機材料・物性

キーワード：結晶構造・組織制御、電子密度分布とダイナミクス

1. 研究開始当初の背景

結晶の構造を調べたり、考察したりする上で、原子を玉、結合を棒として表現する ball-and-stick モデルがしばしば用いられてきた。このモデルは静的で平均的な構造を考える上では便利である。しかし実際の構造は、時間とともに揺れ動き、一瞬一瞬の構造は歪んでいる。ある一瞬の結晶のスナップショットを撮ることができるかすると、どの単位胞の原子配列もわずかに異なっているが、それらをすべて重ね合わせると空間群で指定される対称性をもっている。不純物原子が

存在する場合にはその周りで局所的に構造が歪んでいるが、その歪み方も時間とともに揺れ動き、どの不純物原子の周りでも同じではない。このような結晶構造のダイナミクスは相転移、化学反応、拡散、あるいはエネルギー的に励起された状態などに深く関与し、時にはそれらを支配する。構造と物性の相関を考えるには、まずその結晶構造のダイナミクスを調べ、その仕組みを深く理解する必要がある。無機物質の従来構造研究の多くはこの視点が欠けていた。あるいは知りたくても知る方法をもたなかった。

我々は 1990 年頃から放射光を利用した精密構造解析を開始し、無機結晶中の電子密度分布を正確に求め、結晶中の化学結合をより深く理解する試みをはじめた。その過程で、多くの興味ある物性の起源を構造的理由にもとめるには、まず構造の局所ひずみとそのダイナミクスを正確に把握することが重要であると感じた。精密な構造解析から得られる差フーリエ合成図には構造のひずみに関する情報が含まれているが、それはすべての単位胞について重ねあわされたものである。そこで EXAFS 解析で得られる構造の動径分布と差フーリエ法を組み合わせることにより、固溶体などに多くみられる局所ひずみの三次元的な理解が可能であることを示した。

しかし、それでも、時間とともに変化する情報は、通常の構造解析では、原子の熱振動の形でしかわからない。そこで分子動力学 (MD) シミュレーションを導入することにした。従来の MD は構造の再現、熱膨張の再現、相転移の予測、結晶成長過程の再現、あるいは熱容量などの巨視的物性の温度依存性の再現などに利用されてきた。しかし、構造物性を、局所的な構造ひずみ、あるいは構造ダイナミクスとの関係で理解するために MD が用いられたことは殆どない。このような背景のもとに本研究が実施された。

2. 研究の目的

放射光を利用した精密電子密度分布解析法をさらに発展させ、これに分子動力学シミュレーションなどの手法を相補的に組み合わせることにより、機能性をもつ種々の無機結晶の構造乱れおよび構造ダイナミクスと物性との相関を明らかにし、セラミックスサイエンスの更なる発展に資することを目的としている。

3. 研究の方法

3-1. 新規購入する Smart 回折計を研究室に設置し、主として次に示すような項目について評価試験と性能向上のための改良を行う。

a) 線源の安定性、b) CCD 検出器の経時安定性、c) CCD 検出器のピクセル感度の検定、d) CCD 検出器の平面性および回折面に対する垂直性とそのひずみパラメータの決定、e) シグナル・ノイズ比の改善、f) レーザ光を用いた回折計の幾何学の検定と機械的調整、光軸のねじれ具合の数値化、h) Si 標準試料による装置の評価、i) 高精度回折データを拾得済みの結晶試料をもちいた再測定にもとづく CCD 回折計の総合的評価、j) 形状を考慮した吸収補正ソフトウェアの精度検定、k) 試料の微小化に伴う回折強度データの質的劣化に関する評価 (消衰効果を減じさせるため、どの程度まで結晶試料を小

さくしても十分に高精度の回折強度データが得られるかについて、種々の大きさをもつ Si 標準試料で検定する)。

3-2. 本申請書に記した新しい手法の有効性を検証するために、多くの重要な固溶体結晶についてまず実験室系光源をもちいた回折強度の測定、放射光を利用した回折・吸収実験を行う。

この研究で予定している目的結晶は以下のとおりである。

(1) リチウムイオン伝導性を有する LiMn_2O_4 などの Li イオン伝導体候補化合物。

(2) 層状ペロブスカイト型化合物 (I)。 $\text{BaLn}_2\text{Mn}_2\text{O}_7$ (Ln=Gd, Eu) 系のマンガナイト磁性材料。

(3) 一次元導電鎖を有する Ln_3RuO_7 (Ln は各種希土類) 系化合物磁性半導体。

(4) 層状ペロブスカイト型化合物 (II)。

(5) Ca-Ln-Ru-O 系および Sr-Ln-Ru-O 系 (Ln は希土類元素) など、多種類の層間構造をもつ Ru 系新規化合物結晶。

(7) Pb-Ru 系酸素欠損パイロクロア、Tl-Ru 系パイロクロアなど一連の新しい低対称性を有するパイロクロア型化合物。

結晶合成および CCD 回折計による実験室光源系回折データの収集は石澤および研究室学生がおこなう。合成は主としてフラスコ法で行う。双晶試料については研究室の粉末 X 線回折計を用い、リートベルト解析を行う。

3-3. 放射光を用いた測定を高エネルギー加速器研究機構の物質構造科学研究所ビームライン 14A に設置された水平型四軸回折計を用いて行う。同回折計は単結晶回折データの収集および EXAFS の測定の両方の目的で使用する。また一部の結晶は放射光粉末回折法で実験を行う。この場合は高エネルギー加速器研究機構の物質構造科学研究所ビームライン 4B2 に設置された多連装型粉末回折計を用い、平行ビーム系で実験を行う。

3-4. 分子動力学計算、分子軌道法計算、電子密度分布シミュレーション用バンド計算等を現有の計算機を用いておこない、ダイナミックに時間依存する原子配列が、時間平均された電子密度分布の測定結果にどのように反映されているかについて研究する。とくに、このような検討から物質の構造物性についてどのような新しい知見が得られのかということについて、今までに多くの実験を積み重ねてきた LiMn_2O_4 イオン伝導体を例として検証する。

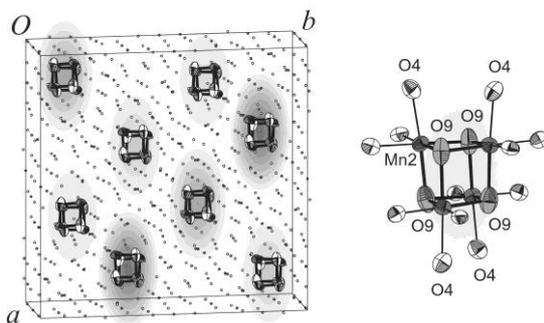
3-5. データ量が膨大であり、かつそれらを効率よく利用するために、ネットワーク結合型記憶装置を設置する。

3-6. 成果をまとめ、報告する。

4. 研究成果

各種の機能性無機化合物の電子密度分布とそのダイナミクスに関して行われた研究成果の主なものを下記に化合物ごとに記す。

LiMn₂O₄: スピネル系結晶中の Li の拡散は、Li の本来の位置である 8a 席と、6 個の酸素に八面体的にとりかこまれた空の 16c 席を利用した単純なホッピング機構であろうと思われてきた。しかし実際はもっと複雑で、Li の拡散路には 8a および 16c 近傍に多くの安定な位置があり、従来考えられてきた対称性の高い 8a や 16c 席にはあまり滞留しない。Li の拡散には Li をとり囲む酸素四面体の変形が必要である。X 線をつかって観測された酸素原子の空間的分布は、時間の重みをつけて平均化されたこの変形の痕跡である。MD の立場から見ると、酸素原子の位置の乱れは、まず Mn³⁺ と Mn⁴⁺ の分布状態によってその初期状態が与えられ、時間の経緯にともなう Mn の酸化数の変化によって主として変調される。近隣の Mn の e 由来軌道間における電子の移動は LiO₄ 四面体の動的変形を促す。Li と電子の移動はしばしば対をなし、それは局所的な格子の変形を介在している。Li の拡散機構には 2 種類あり、ひとつは Li の濃度勾配を利用した古典的なポッピング拡散、もうひとつは Mn の 3d 電子の濃度勾配に基づくポーラロン(下図)の移動に伴う Li の拡散である。



Gd₃RuO₇: Gd₃RuO₇ は 60K から室温付近まで $\ln(\rho)$ が $T^{-1/2}$ に比例し、局在化したキャリアが一次元にならんだ Mott の variable-range hopping 伝導を示す。フラックス法によって Gd₃RuO₇ を合成した。酸素欠損が規則配列したホタル石型構造の一つである Gd₃RuO₇ の構造相転移を高温単結晶 X 線回折法によって調べた。相転移は 382K 近傍でおき、低温相の空間群は P21nb, 高温相の空間群は Cmc₂m である。相転移はほぼ可逆的で、低温側では頂点を共有した RuO₆ 八面体鎖が一つおきに微小回転する。このとき、Gd 原子の配位数も 8 から 7 へと減少する。高温相では 3 種類の結晶学的に独立な Gd 原子位置があり、このうち、RuO₆ 八面体鎖を b 軸方向に繋いでいる Gd1 の位置はスプリットアトムモデルを適用して精密化された。こ

の Gd 原子はスプリットした二つの位置を時間の関数として動的に揺らいでいるものと推定された。電子顕微鏡観察では相転移近傍にスプリットした衛星反射が観測された。

Pb₂Ru₂O_{6.5}: 欠陥パイロクロア型構造を持つ化合物である Pb₂Ru₂O_{6.5} の結晶構造の温度依存性を、単結晶回折法により 123, 193, 293 K の温度で調べた。酸化物イオンの欠陥は、対称心により関係づけられる二つのサイトのうちのひとつを選択的に占める規則構造をとる。Pb イオンは酸化物イオンの欠陥の方向に約 0.042 Å ずれた位置をとる。調査した温度範囲では単位胞の平均熱膨張係数は 11.8×10^{-6} であった。差フーリエ図において、ピーク頂上において $6 e \text{ \AA}^{-3}$ の過剰電子が、各 Pb 原子から主軸に沿って 0.8 Å の位置にあり、Pb の電子雲の無秩序な変形が示唆される。

BaGd₂Mn₂O₇: 高温電子顕微鏡観察法をもちいて BaGd₂Mn₂O₇ の構造相転移を調べた。室温で斜方晶系の結晶は 420K 近傍で P4₂/mnm(第二相)に変化した。さらに加熱すると 623K で第三の相が第二相に共存してあらわれ、723K で結晶の全領域が第三相になった。第三相は第二相と比べて c 軸に約 1.5% の格子のミスマッチがあり、単斜晶系の対称をもつと推定される。第二相と第三相との間の相転移の次数は一次と推定された。

Tb₃RuO₇: 軌道放射光単結晶回折実験により、フラックス法により成長した Tb₃RuO₇ 結晶の 293 K における Tb 原子の部分的な構造の乱れが明らかになった。結晶構造は反転対称を持たずマトリックス中に埋め込まれた頂点共有で結合した RuO₆ 八面体の無限一次元鎖からなる。結晶学的に独立な 6 箇所の Tb サイトのうち 2 箇所の位置は 2 つの位置に分裂する。この P2₁nb 型の構造においては、RuO₆ 八面体が a 軸と c 軸に関して 2 種類の傾きを持ち、他の Ln₃RuO₇ (Ln = ランタノイド) に見られる Cmc₂m 型構造が c 軸に関する 1 種類の傾きしか持たないのと対照的である。

Dy₃RuO₇: フラックス法により成長した Dy₃RuO₇ の構造は反転対称を持たない斜方晶系に属し、マトリックス中に埋め込まれた頂点共有の八面体の無限一次元鎖からなる。Dy 原子の部分的な乱れがわずかに観測された。結晶学的に独立な 6 箇所の Dy 位置のうち 2 箇所の Dy 位置は 0.3 – 0.5 Å 離れた 2 つの位置に分裂し、異なる配位環境を持つ。解析を行った結晶は反転双晶であった。

K₁Nb₆O₁₇: 可視光による水の全分解を促す触媒として注目される K-Nb-O 系複合酸化物単結晶を KC1 をフラックス剤として用いたフラックス法により合成し、その構造と物性を調べた。従来のモリブデン酸カリなどをフラックス剤として用いる方法に比べ、

KClを用いた本合成法は環境面における優位性をもつ。結晶は斜方晶系でよく発達した{010}面をもつ平板状である。結晶の大きさはフラックス蒸発速度および合成温度に依存して変化した。紫外光を照射したところよい光触媒特性を示した。

α -Al₂O₃ : コランダム (α -Al₂O₃) の構造の変化を 297, 573, 873, および 1173K において単結晶 X線回折法で調べた。格子定数, 原子座標, 原子変位パラメータの温度依存性は滑らかに変化し, 2170K で測定されたデータ [Ishizawa et al.: Acta Crystallogr., Sect. B 36 (1980) 228] とよくつながった。Al の z 座標は温度とともに有意に変化した。これは面を共有してつながる一対の酸素八面体中における Al 原子間の反発力の増加に起因するものと考えられた。

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 16 件)

- ① N. Ishizawa, & K. Tateishi, "Diffusion of Li atoms in LiMn₂O₄ - a structural point of view -" [invited review article], J. Ceram. Soc. Japan, 117[1], 6-14 (2009). 査読有
- ② H. Nakano, K. Tateishi, and N. Ishizawa, "Phase Transition of Gd₃RuO₇ From a Structural Point of View", Annual report of CRL 2007, 7, 6-15 (2008) 査読有
- ③ N. Ishizawa, K. Tateishi, S. Kondo, and T. Suwa, "Structural Phase Transition of Gd₃RuO₇", Inorg. Chem. 47, 558-566 (2008) 査読有
- ④ K. TESHIMA, Y. NIINA, K. YUBUTA, T. NAKAZAWA, T. SUZUKI, T. SHISHIDO, N. ISHIZAWA, and S. OISHI, "Environmentally Friendly Growth and Characterization of Photocatalytic K₂Nb₈O₂₁ Crystals", Jap. J. Appl. Phys. 47[1] 629-632 (2008) 査読有
- ⑤ S. Kondo, K. Tateishi, and N. Ishizawa, "Structural Evolution of Corundum at High Temperatures", Jap. J. Appl. Phys. 47[1] 616-619 (2008) 査読有
- ⑥ K. Teshima, Y. Niina, K. Yubuta, T. Suzuki, N. Ishizawa, T. Shishido, and S. Oishi, "Environmentally Friendly Growth of Layered K₄Nb₆O₁₇ Crystals from a KCl Flux", Eur. J. Inorg. Chem. 29, 4687-4692 (2007) 査読有

- ⑦ N. Ishizawa, T. Suwa and K. Tateishi, "Dy₃RuO₇ with partial structural disorder", Acta Cryst. E63, i163-i163, (2007) 査読有.
- ⑧ N. Ishizawa, T. Suwa, K. Tateishi and J. R. Hester, "Synchrotron X-ray study of noncentrosymmetric Tb₃RuO₇ with partial structural disorder", Acta Cryst. C63, i43-i46, (2007) 査読有
- ⑨ H. Nakano, N. Ishizawa, N. Kamegashira, M. Yashima, "In situ Transmission Electron Microscopy Observation of Multiple Phase Transition in BaGd₂Mn₂O₇", J. Am. Ceram. Soc., 90 [4] 1342-1345 (2007) 査読有
- ⑩ H. Nakano, H. Satoh, N. Kamegashira and N. Ishizawa, "Phase behavior of layered manganites BaLn₂Mn₂O₇ (Ln = rare earth)", Phys. Stat. Sol. (c) 3[8] 2812-2815 (2006) 査読有
- ⑪ B-H. Kim, J-H. Kim, M-Y. Song, T. Ida and N. Ishizawa, "The effect of oxygen pressure on the synthesis of LiNiO₂", Solid State Phenomena vol. 124-126 1043-1046, (2006) 査読有
- ⑫ 石沢伸夫、立石賢司, "スピネル型 LiMn₂O₄ の不規則構造と Li の拡散", 日本結晶学会誌、48[1], 17-24 (2006) 査読有
- ⑬ H. Nakano, N. Ishizawa, N. Kamegashira, Zulhadjri & T. Shishido, "Electron microscopic study on SrGdMnO₄", J. Alloys & Compounds 408-412 593-597 (2006) 査読有.
- ⑭ K. Teshima, K. Horita, T. Suzuki, N. Ishizawa and S. Oishi, "Flux Growth and Characterization of Layered K₄Nb₆O₁₇ Crystals", Chem. Mater. 18, 3693-3697 (2006) 査読有
- ⑮ D. Mori, N. Sonoyama, A. Yamada, R. Kanno, M. Azuma, M. Takano, K. Suda, N. Ishizawa, "Single-crystal growth of Tl₂Ru₂O₇ pyrochlore using high-pressure and flux method" Journal of Solid State Chemistry, 179[3], 935-940. (2006) 査読有
- ⑯ N. Ishizawa, K. Hiraga, D. du Boulay, H. Hibino, T. Ida & Shuji Oishi, "A noncentrosymmetric polymorph of Gd₃RuO₇" Acta Cryst. Sec. E, E62, i13-i16 (2006) 査読有

[学会発表] (計 30 件)

1. 鴨下三奈美・近藤早・井田隆・石沢伸夫・中野裕美 「ガドリニウムルテニウム複

- 合酸化物 Gd_3RuO_7 の高温構造変化」第 47 回日本セラミックス協会基礎科学討論会 (2009 年 1 月) 大阪
2. 井口浩詠・日比野寿・井田隆・石澤伸夫 「 $(Nd, AE)_{11}Ru_4O_{24}$ (AE=Sr, Ca) の単結晶合成と構造」第 47 回日本セラミックス協会基礎科学討論会 (2009 年 1 月) 大阪
 3. 鴨下三奈美・井田隆・石澤伸夫 「 Gd_3RuO_7 結晶のフラックス育成と構造」第 3 回日本フラックス成長研究会発表会 (2008 年 12 月) 東京
 4. 井口浩詠・井田隆・石澤伸夫 「 $(Sr, Nd)_{11}Ru_4O_{24}$ 結晶のフラックス育成と構造」第 3 回日本フラックス成長研究会発表会 (2008 年 12 月) 東京
 5. 鴨下三奈美・近藤早・井田隆・石澤伸夫 「 Gd_3RuO_7 の高温構造変化」平成 20 年度日本セラミックス協会東海支部学術研究発表会 (2008 年 12 月) 名古屋
 6. 井口浩詠・井田隆・石澤伸夫 「 $Sr_3Nd_8Ru_4O_{24}$ 単結晶の合成と構造」平成 20 年度日本セラミックス協会東海支部学術研究発表会 (2008 年 12 月) 名古屋
 7. N. Ishizawa “Heterocubane Mn_4O_4 Cluster in $LiMn_2O_4$ Spinel and Its Relation to the Oxygen-Evolving Complex of Photosystem II.” 3rd International Workshop on Advanced Ceramics (IWAC03) (Nov. 2008)
 8. 井口浩詠・岡田敬太・井田隆・石澤伸夫 「Sr (Ca)-Nd-Ru-O 系複合酸化物単結晶の合成と構造」日本セラミックス協会秋季シンポジウム (2008 年 9 月) 北九州市
 9. 鴨下三奈美・石澤伸夫・井田隆 「 Gd_3RuO_7 単結晶の合成と構造」日本セラミックス協会秋季シンポジウム (2008 年 9 月) 北九州市
 10. H. Nakano, N. Ishizawa, N. Kamegashira “In-situ TEM observation of phase transformations in layered perovskite $BaLn_2Mn_2O_7$ (Ln = rare earth)” Electroceramics XI (Aug. 2008) Manchester, England
 11. N. Ishizawa, S. Kondo, H. Hibino, H. Nakao “Phase transition in Gd_3RuO_7 and Tb_3RuO_7 at elevated temperatures” XXI Congress of the International Union of Crystallography (Aug. 2008) Osaka, Japan
 12. N. Ishizawa, K. Tateishi “Polaronic behavior of Mn_4O_4 heterocubane clusters in $LiMn_2O_4$ spinel” XXI Congress of the International Union of Crystallography (Aug. 2008) Osaka, Japan
 13. N. Ishizawa “Lithium Diffusion in Lithium Manganite Crystal” (plenary lecture) International Conference for Young Scientist 2008, Penang Universiti Sains Malaysia, (Jun. 2008) Penang, Malaysia
 14. 井口浩詠・岡田敬太・石澤伸夫 「Sr (Ca)-Nd-Ru-O 系複合酸化物の単結晶の合成と構造」日本セラミックス協会東海支部第 36 回東海若手セラミスト懇話会 2008 年 夏期セミナー (2008 年 7 月) 岐阜市
 15. 近藤早・鴨下三奈美・諏訪毅・石澤伸夫 「希土類ルテニウム複合化合物 Ln_3RuO_7 の高温構造変化」日本セラミックス協会東海支部第 36 回東海若手セラミスト懇話会 2008 年 夏期セミナー (2008 年 7 月) 岐阜市
 16. 中野裕美・石沢伸夫・亀頭直樹 「 $BaLn_2Mn_2O_7$ の一次相転移のその場観察」セラミックス協会 2008 年年会 (2008 年 3 月) 長岡
 17. N. Ishizawa “Structural phase transition of Gd_3RuO_7 ” Australian X-ray Analytical Association (AXAA) (Feb. 2008) Melbourne, Australia
 18. N. Ishizawa “Electron density distribution of the low- and high-forms of $LiMn_2O_4$ by synchrotron x-ray diffraction” (invited) Australian X-ray Analytical Association (AXAA) 2008 (Feb. 2008) Melbourne, Australia
 19. N. Ishizawa “Introduction to eCeramics” (invited) International Seminar of Materials Database, Korea Institute of Ceramic Engineering and Technology (KICET) (Jan. 2008) Seoul, Korea.
 20. N. Ishizawa and H. Nakano “First-Order Phase Transition of Gd_3RuO_7 at High Temperature” (invited) The 32nd Annual Condensed Matter and Materials Meeting (WAGGA WAGGA 2008) (Jan. 2008) Wagga Wagga, Australia
 21. 石澤伸夫 「リチウムマンガンスピネル中の Mn クラスターの軌道・電荷秩序と Li の拡散」(依頼講演) 第 8 回 4 セラミックス研究機関合同講演会 (2007 年 12 月) 名古屋
 22. 新名優貴・手嶋勝弥・湯蓋邦夫・鈴木孝臣・宍戸統悦・石澤伸夫・大石修治 「KCl フラックス冷却法によるニオブ酸カリウム結晶の育成」第 2 回日本フラックス成長研究発表会 (2007 年 12 月) 仙台

23. N. Ishizawa, Y. Inagaki, T. Shimada, I. Kagomiya, K. Kakimoto, and H. Ohsato “Structure of SrTiO₃-doped LaAlO₃ perovskite” The 8th Conference of the Asian Crystallographic Association (AsCA '07) (Nov. 2007) Taipei, Taiwan
24. S. Kondo, K. Tateishi, H. Hibino, and N. Ishizawa “Evolution of corundum structure at high temperatures” The 8th Conference of the Asian Crystallographic Association (AsCA '07) (Nov. 2007) Taipei, Taiwan
25. K. Okada, K. Tateishi, H. Hibino, and N. Ishizawa “Phase transition of Gd₃RuO₇” The 8th Conference of the Asian Crystallographic Association (AsCA '07) (Nov. 2007) Taipei, Taiwan
26. 田中清明、石澤伸夫 「超精密結晶構造因子測定の最近の進歩」 第11回 SPring-8 シンポジウム(2007年10月)
27. K. Teshima, Y. Niina, T. Nakazawa, T. Suzuki, N. Ishizawa, and S. Oishi “Environmentally Friendly Growth and Characterization of Photocatalytic Potassium Niobate Crystals” The Second International Symposium on Organic and Inorganic Electronic Materials and Related Nanotechnologies (EM-NANO 2007) (Jul. 2007) Nagano
28. S. Kondo, K. Tateishi & N. Ishizawa “Structure Evolution of Corundum at High Temperatures” The Second International Symposium on Organic and Inorganic Electronic Materials and Related Nanotechnologies (EM-NANO 2007) (Jul. 2007) Nagano
29. K. OKADA, T. SUWA & N. ISHIZAWA “Phase Transition of a Quasi One-Dimensional Conductor Gd₃RuO₇” The Second International Symposium on Organic and Inorganic Electronic Materials and Related Nanotechnologies (EM-NANO 2007) (Jul. 2007) Nagano
30. 中野裕美・石澤伸夫・亀頭直樹 「層状ペロブスカイト型マンガン酸化物の一次相転移その場観察」 顕微鏡学会 JSM2007 (2007年5月) 東京

[図書] (計0件)

[産業財産権]

○出願状況 (計0件)

○取得状況 (計0件)

[その他]

なし

6. 研究組織

(1) 研究代表者

石澤伸夫

名古屋工業大学 工学研究科 教授

研究者番号 90151365

(2) 研究分担者

井田隆

名古屋工業大学 工学研究科 准教授

研究者番号 80232388

(3) 連携研究者

なし