

早稲田大学大学院 先進理工学研究科

博士論文概要

論文題目

希土類系高誘電率材料中の点欠陥の解明
Characterization of Point Defects in
Rare-earth High-permittivity Materials

申請者

森本 貴明

Takaaki MORIMOTO

電気・情報生命専攻 誘電体材料研究

2016年7月

様々な分野において、希土類系高誘電率材料が電気絶縁材料、光学材料として用いられている。これらの材料内に存在する点欠陥は、その用途によっては有益な作用をもたらす一方、有害となる場合もある。有益な作用の例として、イットリウムアルミネート(YAIO_3)ペロブスカイト結晶に不純物や原子空孔等の点欠陥を導入すると欠陥準位に応じた発光が得られ、これはレーザーやシンチレーターに用いられている。また、ジルコニア(ZrO_2)を安定化させる目的でイットリア(Y_2O_3)が添加されているイットリア安定化ジルコニア(YSZ)では、添加量に比例して出現する酸素空孔の存在が、高温においてイオン伝導性をもたらす。そのため、YSZは固体酸化物型燃料電池(SOFC)の固体電解質に適したイオン伝導体となる。

一方、点欠陥が有害となる用途の例としてMOSFETのゲート絶縁膜が挙げられる。パワーMOSFETでは、 SiO_2 ゲート絶縁膜への高電界の印加によるリーク電流が、使用電圧増大の障害となる。そこで、ゲート絶縁膜を SiO_2 (比誘電率 $k=3.8$)から k の高いAION膜($k=9$)で置き換え、電気的特性を変えずに膜厚を厚くしリーク電流を低減する検討がされている。ここで、 YAIO_3 と同様のペロブスカイト構造をとるランタンアルミネート(LaAlO_3)および YAIO_3 とYSZは、 k が順に25, 16, 27であり、AIONより高く、より大きな使用電圧増大が期待できる。しかし、点欠陥により禁制帯内部に電子局在準位が形成され、リーク電流や帯電が生じる懸念がある。

以上より、これらの材料の光学材料や電解質としての特性を向上させるには、点欠陥の構造や、その電子励起・緩和機構を理解することが不可欠である。また、これらの材料をゲート絶縁膜に用いる場合も、点欠陥を除去するためには、点欠陥の解明が重要である。しかし、これまであまり多くの研究はなされていない。ここで、シリコンウェハの欠陥の同定および定量の為には、フォトルミネセンス(PL)測定が有効であることが知られており、JIS規格にも採用されている。そこで、本研究では、このPL測定に電子スピン共鳴(ESR)測定、可視紫外光吸収測定などを組み合わせて、YSZ中の酸素空孔での電子の励起・緩和機構を解明した。また、一般に、無機結晶に含まれる点欠陥やそれにより生じるPLは、結晶の構造に大きく依存する。そこで、イオン注入や熱処理により YAIO_3 、 LaAlO_3 、YSZの結晶構造を崩し、また変化させ、点欠陥、PL、結晶構造に与える影響を調べた。

本論文は以下の5章により構成されている。

第1章「序論」では、本論文で取り扱う上述の材料と、それらに用いる測定手法について述べる。 YAIO_3 に関しては、光学材料として用いることの利点や、今まで行われてきた関連研究について、また、YSZに関しては、SOFCの電解質に用いる際の利用形態や課題を述べる。さらに、半導体の高誘電率ゲート絶縁膜材料としての YAIO_3 、 LaAlO_3 、YSZについては、これらの材料を用いることの利点や課題を、従来材料である SiO_2 と比較しながら論じる。また、測定手法については、PL測定やESR測定などを用いた欠陥構造の解明方法について、過去の研究を例にとり述べる。

第2章「YSZに存在する酸素空孔とその電子励起・緩和機構」では、YSZに含まれる酸素空孔の荷電状態と、その電子励起・緩和過程を、PLの減衰時定数の温度依存性やESR測定結果より論じる。前述のとおり、YSZでは Y_2O_3 の添加量に比例する量の酸素空孔が存在する。PL測定を行ったところ、エネルギー約5.5eVの光による励起により、酸素空孔によるとされる2.8eVのPLが見られる。このPLは、減衰時定数nsオーダーの短寿命成分と、msオーダーの長寿命成分を持つ。前者は1つの電子を捕獲した酸素空孔(F^+ 中心)、後者は2つの電子を捕獲した酸素空孔(F中心)に起因するとされる。ここで、約5.0eVの光を照射すると、 F^+ 中心に起因するESRシグナルが出現し、その後、光照射を止めるとこのESRシグナルは10分ほどで消滅する。これらの結果から、価数が異なる F^+ 中心とF中心をともに2.8eVPLの原因としている上記の説に疑問を抱き、YSZの酸素空孔は、最も安定な状態では、2つの電子を捕獲し電氣的に中性となるF中心の形を取り、紫外光の照射により1つの電子を放出し、 F^+ 中心となるが、約10分でF中心に戻る、という光による酸素空孔での電子の励起・緩和過程を提唱した。これを基に、 F^+ 中心が直接励起されるとnsオーダーの時定数を持つPLが出現し、一方、励起されたF中心が電子を放出した後、基底状態に緩和するとき生じるPLは、msオーダーの時定数として観測されるとする、電子励起・緩和過程のダイアグラムを呈示した。

第3章「イオン注入が $YAlO_3$ 、 $LaAlO_3$ 、YSZの点欠陥に及ぼす影響」では、加速エネルギー100keVの P^+ 、 B^+ イオンをこれらの材料に注入し、結晶性を意図的に低下させ、それにPLが受ける影響を考察する。まず、最初に、 $YAlO_3$ には不純物として含まれる Cr^{3+} と Er^{3+} 、酸素空孔、自己束縛励起子(STE)、アンチサイト欠陥に起因するとされるPLが見られること、 $LaAlO_3$ には不純物の Cr^{3+} と酸素空孔に起因するとされるPLが見られること、YSZには不純物によるPLは検出されず、酸素空孔のみのPLが見られることを確認した。その上で、全ての材料でイオン注入により、X線回折ピーク強度の減少から結晶性低下を確認した上で、 $YAlO_3$ でのみバンドギャップエネルギーよりわずかに低いエネルギーでの電子局在準位の生成を示す光吸収増加が見られること、 $LaAlO_3$ と $YAlO_3$ では Cr^{3+} のPL強度が減少すること、 $YAlO_3$ では Er^{3+} とSTEおよびアンチサイト欠陥のPLが消滅することを見出した。これらの結果、 Cr^{3+} のPLについては、ペロブスカイト構造の八面体型配位子場の中心に入った Cr^{3+} のd軌道電子が、シュタルク効果を受け生じる、R-line準位により光っており、結晶性低下により配位子場が崩れるとPL強度が低下するという機構が考えられる。また、STE、アンチサイト欠陥のPLは、バンドギャップエネルギー付近のエネルギーの光により生じた価電子帯あるいはその裾に励起された電子の緩和により生じるため、価電子帯付近に電子局在準位が生じると、これらのPLの励起準位が覆い隠され、PLが生じなくなると考えられる。 Er^{3+} のPLは、STEと同一の励起エネルギーで光ることより、STEからエネルギーを受け取り発光するために、STEのPLの消滅に伴い消滅すると考えられる。

一方、 LaAlO_3 、 YAlO_3 の酸素空孔によるPLの強度は、上記のPLと対照的にイオン注入で変化しない。これは、これらの材料中では酸素空孔が結晶性に依存しない点欠陥として存在するためである。しかし、YSZにおいては、 YAlO_3 や LaAlO_3 と対照的に、イオン注入後に酸素空孔のPL強度が減少する。YSZ中の酸素空孔は、前述の通り、その構造より必然的に存在する。そのため、イオン注入によりYSZが局所的に ZrO_2 と Y_2O_3 に分離すると酸素空孔が消滅すると考察した。以上の結果は、PLを生じる点欠陥が結晶構造に依存して存在する場合、そのPLは結晶性低下により強度減少、もしくは消滅するのに対し、結晶構造と無関係に構造不整として存在する点欠陥のPLは、結晶性低下の影響を受けないとまとめることができる。

また、YSZでは、イオン注入により F^+ 中心による 2.4eV 付近の光吸収帯と、 F^+ 中心と F^{2+} 中心のペアによる $g=2.00, 1.97$ のESRシグナルが出現する。これらの変化より、YSZではイオン注入による結晶性低下の結果として酸素空孔が価数変化し、 F^+ 中心が生じることが確かめられた。

第4章「熱処理が YAlO_3 、 LaAlO_3 の点欠陥に及ぼす影響」では、 YAlO_3 、 LaAlO_3 に $400\sim 1300^\circ\text{C}$ の熱処理を施し、その影響を第3章と同様の測定手法で調べ、熱とそれによる結晶構造変化が点欠陥に与える影響について考察する。未処理の試料にESR測定を行うと、 YAlO_3 では Cr^{3+} 、 LaAlO_3 では Fe^{3+} のシグナルが検出される。つぎに、 LaAlO_3 に 500°C 以上の酸素中熱処理を行うと、等価的に-3価の陽イオン空孔と正孔の対であるホールセンターによるとされる $2.7, 3.5\text{eV}$ の光吸収帯が生じ、それと同時に、不純物の Fe^{3+} のESRシグナルが減少する。また、この酸素中の熱処理に続き 500°C 以上の窒素中での熱処理を行うと、逆の反応を示唆する実験結果が得られる。以上から、酸化性雰囲気での熱処理により生じた正孔・電子対の正孔が陽イオン空孔を酸化し、電子が Fe^{3+} に捕獲される、という反応を提唱した。 LaAlO_3 では 460°C 以上で酸素空孔が拡散するとされており、これが上記の反応を引き起こすと考えられる。

一方、 YAlO_3 では、局在準位からの、あるいは、局在準位への電子の励起により $4.6, 5.5\text{eV}$ の吸収帯が生じるものの、 1000°C 以下においては、その強度は LaAlO_3 に比べてはるかに小さい。また、ESRシグナルにも顕著な変化が見られない。これは、 500°C 付近から前記の変化がみられる LaAlO_3 とは対照的である。すなわち、 LaAlO_3 より YAlO_3 の方が、熱に対して安定である事が分かった。

第5章「まとめ」では、本研究で得られた知見に基づき、各材料中に存在する欠陥と、それらがイオン注入や熱処理により受ける影響をまとめ、各材料の長所と短所を比較する。さらに、その結果に基づき、各工業的応用に際しての課題や改善策について述べる。

早稲田大学 博士（工学） 学位申請 研究業績書

氏名 森本 貴明 印

(2016 年 9 月 現在)

種 類 別	題名、 発表・発行掲載誌名、 発表・発行年月、 連名者（申請者含む）
論文 原著論文	<ul style="list-style-type: none"> ○1. 黒田康裕, 森本貴明, 大木義路, “YSZの酸素空孔に与えるイオン注入の影響”, 電気学会論文誌A, Vol. 136, No. 9, pp. 592-593, [DOI: 10.1541/ieejfms.136.592], 2016.9. ○2. Takaaki Morimoto, Yasuhiro Kuroda, and Yoshimichi Ohki, “Electronic Excitation and Relaxation Processes of Oxygen Vacancies in YSZ and Their Involvement in Photoluminescence”, Applied Physics A, Vol. 122, pp. 790(1)-790(8), [DOI: 10.1007/s00339-016-0327-x], 2016.8. ○3. <u>Takaaki Morimoto</u>, Masayuki Harima, Yosuke Horii, and Yoshimichi Ohki, “Involvement of Crystallinity in Various Luminescent Bands in Yttrium Aluminate”, Nucl. Instrum. Meth. B, Vol. 366, pp. 198-205, [DOI: 10.1016/j.nimb.2015.10.072], 2016.1. ○4. Masayuki Harima, <u>Takaaki Morimoto</u>, and Yoshimichi Ohki, “Structural Change Induced in LaAlO₃ by Ion Implantation,” IEEJ Trans. Electr. Electron. Eng., Vol. 11, No. 1, pp. 5-9, [DOI: 10.1109/ISEIM.2014.6870748], 2016.1. ○5. Shoji Kaneko, <u>Takaaki Morimoto</u>, and Yoshimichi Ohki, “Cause of the Appearance of Oxygen Vacancies in Yttria-stabilized Zirconia and Its Relation to 2.8-eV Photoluminescence,” Jpn. J. Appl. Phys., Vol. 54, pp. 06GC03(1)-06GC03(8), [DOI: 10.7567/JJAP.54.06GC03], 2015.6. 6. 森本貴明, 堀井陽介, 井上貴博, 金子昇司, 針間正幸, 大木義路, “半導体高誘電率材料LaAlO₃とYAlO₃中の点欠陥 ～その種類と構造、光・熱・イオンの影響～”, 放電研究 Vol. 57, No. 2, pp. 3-12, 2014.7. ○7. Daiki Yamasaka, Yosuke Horii, <u>Takaaki Morimoto</u>, and Yoshimichi Ohki, “Roles of Point Defects in Thermally Enhanced Generation and Transfer of Electrons and Holes in LaAlO₃”, Jpn. J. Appl. Phys., Vol. 52, pp. 071501(1)-071501(5), [DOI: 10.7567/JJAP.52.071501], 2013.6. ○8. <u>Takaaki Morimoto</u>, Masayuki Takase, Toshihide Ito, Hiromitsu Kato, and Yoshimichi Ohki, “Defects in Yttria-Stabilized Zirconia Induced by Irradiation of Ultraviolet Photons”, Jpn. J. Appl. Phys., Vol. 47, No. 8, pp. 6858-6862, [DOI: 10.1143/JJAP.47.6858], 2008.8.
講演 招待講演 (国内)	<ul style="list-style-type: none"> 1. 森本貴明, 大木義路, “YAlO₃中の点欠陥よりのフォトルミネセンス(講演奨励賞受賞記念講演)”, 第76回応用物理学会秋季学術講演会講演予稿集, 13p-2L-7, 名古屋, 2015.9.
講演 国際会議	<ul style="list-style-type: none"> 1. Shoji Kaneko, <u>Takaaki Morimoto</u>, and Yoshimichi Ohki, “Ion-Induced Deformation of the Crystal Structure of Yttria-Stabilized Zirconia and Its Thermal Recovery”, 36th International Symposium on Dry Process (DPS2014), P-23, Yokohama, Japan, 2014.11. 2. Masayuki Harima, Yosuke Horii, <u>Takaaki Morimoto</u>, and Yoshimichi Ohki, “Structural Change Induced in LaAlO₃ by Ion Implantation”, Conference Proceedings of ISEIM 2014, pp. 180-183, Niigata, Japan, 2014.6. 3. Daiki Yamasaka, Yosuke Horii, <u>Takaaki Morimoto</u>, Yoshimichi Ohki, “Thermally Enhanced Electron and Hole Transfers to Point Defects in LaAlO₃ Single Crystal”, 2012 Materials Research Society (MRS) Fall Meeting, Boston, USA, TT5.04, 2012.11. 4. <u>Takaaki Morimoto</u>, Masayuki Takase, Toshihide Ito, Hiromitsu Kato, Yoshimichi Ohki, “Defects in Yttria-Stabilized Zirconia Induced by Irradiation of Ultraviolet Photons”, 29th International Symposium on Dry Process (DPS2007), P2-08, Yokohama, Japan, 2007.11.
講演 国内発表	<ul style="list-style-type: none"> 1. 黒田康裕, 森本貴明, 大木義路, “フォトルミネセンスによる無機固体におけるイオン注入で誘起された構造変化の分析”, 第25回日本MRS年次大会, E3-O8-007, 横浜, 2015.12. 2. 黒田康裕, 森本貴明, 大木義路, “YSZの酸素空孔に起因するフォトルミネセンスの減衰特性”, 平成27年電気学会基礎・材料・共通部門大会講演予稿集, 17-P-47, 金沢, 2015.9.

早稲田大学 博士（工学） 学位申請 研究業績書

種 類 別	題名、 発表・発行掲載誌名、 発表・発行年月、 連名者（申請者含む）
	<p>3. 針間正幸, 森本貴明, 大木 義路, “LaAlO₃ の発光に与えるイオン照射と熱処理の影響”, 第 46 回電気電子絶縁材料システムシンポジウム講演予稿集, MVP-12, pp. 225-228, 北九州, 2015.9.</p> <p>4. 黒田康裕, 森本貴明, 大木義路, “YSZ における酸素空孔に起因するフォトルミネセンスの 2 種の時定数の原因”, 第 46 回電気電子絶縁材料システムシンポジウム予稿集, MVP-25, 北九州, 2015.9.</p> <p>5. 針間正幸, 森本貴明, 大木義路, “LaAlO₃ のフォトルミネセンスに与える熱処理の影響”, 第 62 回応用物理学会春季学術講演会講演予稿集, 平塚, 2015.3.</p> <p>6. 森本貴明, 金子昇司, 大木義路, “YSZ 中の酸素空孔による発光の励起・緩和機構”, 第 62 回応用物理学会春季学術講演会講演予稿集, 平塚, 2015.3.</p> <p>7. 黒田康裕, 金子昇司, 森本貴明, 大木義路, “YSZ における酸素空孔に起因するフォトルミネセンス”, 第 62 回応用物理学会春季学術講演会講演予稿集, 平塚, 2015.3.</p> <p>8. 黒田康裕, 金子昇司, 森本貴明, 大木義路, “高誘電率絶縁体 YSZ における酸素空孔に起因するフォトルミネセンス”, 2014 年度放電学会年次大会講演論文集, pp. 72-73, 東京, 2014.12.</p> <p>9. 飯川翔太, 井上貴博, 針間正幸, 森本貴明, 大木義路, “高誘電率ゲート絶縁膜材料 YAlO₃ 中での Cr³⁺, Er³⁺, Eu³⁺起因のフォトルミネセンスの発現機構”, 2014 年度放電学会年次大会講演論文集, pp. 82-83, 東京, 2014.12.</p> <p>10. 大木義路, 森本貴明, “シングルバンチ利用による誘電体からの発光の時間分解測定”, UVSOR シンポジウム 2014, 岡崎, 2014.11.</p> <p>11. 森本貴明, 井上貴博, 金子昇司, 針間正幸, 大木義路, “イオン照射で YAlO₃ に生じる損傷に熱処理が与える影響”, 第 75 回応用物理学会秋季学術講演会講演予稿集, 19a-A9-5, 札幌, 2014.9.</p> <p>12. 金子昇司, 井上貴博, 針間正幸, 森本貴明, 大木義路, “YSZ 単結晶に与えるイオン照射と光照射の影響の比較”, 第 75 回応用物理学会秋季学術講演会講演予稿集, 19a-A9-4, 札幌, 2014.9.</p> <p>13. 金子昇司, 井上貴博, 針間正幸, 森本貴明, 大木義路, “高誘電率材料 YSZ, LaAlO₃, YAlO₃ 中に存在する酸素空孔の比較”, 第 75 回応用物理学会秋季学術講演会講演予稿集, 19a-A9-3, 札幌, 2014.9.</p> <p>14. 針間正幸, 森本貴明, 井上貴博, 金子昇司, 大木義路, “LaAlO₃ 単結晶へのイオン照射による La および酸素空孔の生成”, 第 75 回応用物理学会秋季学術講演会講演予稿集, 19a-A9-2, 札幌, 2014.9.</p> <p>15. 金子昇司, 堀井陽介, 森本貴明, 大木義路, “イオン照射による YSZ の結晶崩壊と熱処理による回復”, 第 61 回応用物理学会春季学術講演会講演予稿集, 20a-F11-8, 東京, 2014.3.</p> <p>16. 森本貴明, 金子昇司, 大木義路, “高誘電率材料 LaAlO₃ と YAlO₃ の安定性 (Ⅲ) ～熱の影響～”, 第 61 回応用物理学会春季学術講演会講演予稿集, 20a-F11-11, 東京, 2014.3.</p> <p>17. 森本貴明, 堀井陽介, 針間正幸, 大木義路, “高誘電率材料 LaAlO₃ と YAlO₃ の安定性 (Ⅰ) ～イオン照射の影響～”, 第 61 回応用物理学会春季学術講演会講演予稿集, 20a-F11-9, 東京, 2014.3.</p> <p>18. 針間正幸, 堀井陽介, 森本貴明, 大木義路, “イオン照射による LaAlO₃ の結晶性の低下”, 第 61 回応用物理学会春季学術講演会講演予稿集, 20a-F11-6, 2014.3.</p> <p>19. 針間正幸, 堀井陽介, 森本貴明, 大木義路, “半導体高誘電率材料 YAlO₃ 中における Cr³⁺ および Er³⁺ 起因のフォトルミネセンスの発現機構”, 2013 年放電学会年次大会 予稿集, pp. 63-64, 東京, 2013.11.</p>

早稲田大学 博士（工学） 学位申請 研究業績書

種 類 別	題名、 発表・発行掲載誌名、 発表・発行年月、 連名者（申請者含む）
	<p>20. 森本貴明, 堀井陽介, 井上貴博, 金子昇司, 大木義路, “半導体高誘電率材料 $\text{LaAlO}_3 \cdot \text{YAlO}_3$ 中の点欠陥 ～その種類と構造, 光・熱・イオンの影響～”, 2013 年 放電学会年次大会 予稿集, pp. 39-47, 東京, 2013.11.</p> <p>21. 堀井陽介, 森本貴明, 大木義路, “YAlO_3 単結晶に与えるイオン照射およびその後の熱処理の影響”, 第 74 回応用物理学会秋季学術講演会講演予稿集, 19a-C11-5, 京都, 2013.9.</p> <p>22. 森本貴明, 山坂大樹, 堀井陽介, 井上貴博, 大木義路, “YAlO_3 中の点欠陥(VI) ～LaAlO_3 との比較～”, 第 60 回応用物理学会春季学術講演会講演予稿集, 29p-A9-4, 厚木, 2013.3.</p> <p>23. 森本貴明, 高瀬雅之, 伊藤俊秀, 加藤宙光, 大木義路, “イットリウム安定化ジルコニアへの紫外光照射による欠陥生成とその熱アニーリング”, 第 53 回応用物理学関係連合講演会講演予稿集, 23p-V-11, 東京, 2006.3.</p>
その他 (刊行物への掲載)	<p>1. Shoji Kaneko, <u>Takaaki Morimoto</u>, and Yoshimichi Ohki, “Charging States of Oxygen Vacancies in Yttria-stabilized Zirconia Analyzed by the Decay of Photoluminescence”, UVSOR Activity Report 2014, p. 59, 2015.7.</p> <p>2. Masayuki Harima, Yosuke Horii, <u>Takaaki Morimoto</u>, and Yoshimichi Ohki, “Photoluminescence Study on Structural Deformation of LaAlO_3 Induced by Ion Implantation”, UVSOR Activity Report 2013, p. 65, 2014.7.</p> <p>3. Yosuke Horii, <u>Takaaki Morimoto</u> and Yoshimichi Ohki, “Effect of Ion Implantation on the Crystallinity of YAlO_3 Single Crystal”, UVSOR Activity Report 2012, p. 131, 2013.8.</p>
その他 (本研究とは直接関係のない業績) (原著論文)	<p>1. Takahiro Inoue, <u>Takaaki Morimoto</u>, and Yoshimichi Ohki, “Experimental Observations on the Crystalline Structures of YAlO_3 Single Crystal at High Temperatures,” Applied Physics A Vol. 119 Issue 4, pp. 1423-1429, [DOI: 10.1007/s00339-015-9115-2], 2015.6.</p>
(国際会議)	<p>1. Takahiro Inoue, <u>Takaaki Morimoto</u>, Shoji Kaneko, Yosuke Horii, and Yoshimichi Ohki, “Crystalline Structures of YAlO_3 Single Crystal at High Temperatures,” Conference Proceedings of ISEIM 2014, pp. 208–211, Niigata, Japan, 2014.6.</p>
(国内発表)	<p>1. 森本貴明, 大木義路, “熱処理によるペロブスカイトイットリウムアルミネートの構造変化がフォトルミネセンスに与える影響”, 第 63 回応用物理学会春季学術講演会講演予稿集, 20a-W833-3, 東京, 2016.3.</p> <p>2. 黒田康裕, 森本貴明, 大木義路, “YAlO_3 のテラヘルツ周波数帯における吸収スペクトル”, 第63回応用物理学会春季学術講演会講演予稿集, 19p-W833-3, 東京, 2016.3.</p> <p>3. 井上貴博, 金子昇司, 針間正幸, 森本貴明, 大木義路, 水野麻弥, 福永香, “熱処理が YAlO_3 単結晶のテラヘルツ吸収に与える影響”, 第 75 回応用物理学会秋季学術講演会講演予稿集, 19a-A9-1, 札幌, 2014.9.</p> <p>4. 針間正幸, 森本貴明, 大木義路, “フォトルミネセンスによる高誘電率誘電体 LaAlO_3 中の La 空孔検出の可能性”, 平成 26 年電気学会基礎・材料・共通部門大会講演論文集, 21-F-pP-11, 長野, 2014.8.</p> <p>5. 森本貴明, 井上貴博, 大木義路, “高誘電率材料 LaAlO_3 と YAlO_3 の安定性 (II) ～光照射の影響～”, 第 61 回応用物理学会春季学術講演会講演予稿集, 相模原, 20a-F11-10, 2014.3.</p> <p>以上の他に 17 件の国内発表あり。</p>

