

令和 5 年 6 月 22 日現在

機関番号：82626

研究種目：基盤研究(A) (一般)

研究期間：2019～2021

課題番号：19H00835

研究課題名(和文) マルチピエゾの領域開拓：発光と圧電のシナジー効果

研究課題名(英文) Synergy effect of piezoelectricity and piezoluminescence

研究代表者

徐 超男 (Xu, Chao-Nan)

国立研究開発法人産業技術総合研究所・エレクトロニクス・製造領域・総括研究主幹

研究者番号：70235810

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 34,990,000円

研究成果の概要(和文)：本研究の目的は、新たに発見したマルチピエゾ材料の機構を解明し、応力発光と圧電性の相乗効果を明らかにすることで、マルチピエゾ材料の新規開拓につながることである。本研究では、LiNbO₃系に対して非化学量論と元素置換による結晶制御を行った結果、Naを置換した特定の結晶構造において、相境界付近での応力発光強度が飛躍的に増強されることを突き止めた。この多相境界での応力発光は、非化学量論のLiNbO₃に比べて10倍以上向上することが確認され、同時に圧電効果も多相境界において10倍以上向上することが確認された。さらに、この圧電と発光の相乗効果は他の材料系にも展開可能であることが示された。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究では、理論と実験の両面からアプローチすることで、新たに発見したマルチピエゾ材料の機構を解明し、応力発光と圧電性の相乗効果を明らかにし、相境界付近での応力発光強度と圧電効果が同時に飛躍的に増強されることを明らかにしている。さらに、この発見はLiNbO₃に限らず、他の材料系にも展開可能であることを示し、マルチピエゾ材料の応力発光と圧電の相乗効果の理解を深め、マイルピエゾ材料領域の開拓に寄与する。

研究成果の概要(英文)：The aim of this study is to elucidate the mechanism of a newly discovered multipiezo material and reveal the synergy effect between piezoluminescence and piezoelectricity. We focused on LiNbO₃ and employed non-stoichiometric composition and element substitution for crystal control. As a result, we identified a significant enhancement of piezoluminescence intensity near the morphotropic phase boundary (MPB) of Na-substituted LiNbO₃ with specific crystal structures. This piezoluminescence at the MPB achieved more than a tenfold improvement compared to non-stoichiometric LiNbO₃, along with a similar tenfold enhancement in piezoelectricity, as demonstrated by the increased piezoelectric coefficient d₃₃. Furthermore, we extended this phenomenon of synergy effect between piezoluminescence and piezoelectricity to other material systems.

研究分野：機能材料と応用

キーワード：応力発光 マルチピエゾ センサ 非破壊検査 圧電 多相境界

1. 研究開始当初の背景

機械的な作用によって発光する現象の観察は古く、文章としての記録は 1605 年に Francis Bacon の報告に遡る。氷砂糖や水晶及び有機物質の結合が破断する際に弱い光を発する現象である。これらは一回限りの破壊発光であり、通常真っ暗な環境でしか観察されない。一方、結合が破断まで達しない可逆的な弾性変形領域での発光は非常に弱く、真っ暗な環境でも目視できない。非破壊領域での機械発光の研究は、理想単結晶での放射線照射欠陥の結晶学的研究、またはゴムや高分子等の微弱の発光に限定され、発光強度はいずれも微弱であった。しかし、申請者の研究によって見出された応力弾性変形強発光は、超音波等のような僅かな力でも「目に見える」強い光を放出し紫外線から赤外線の波長まで広範囲の応力発光を実現している。発光強度は加えたひずみエネルギーに比例することを明らかにしている。ごく微小な力学刺激でも発光できることから、未来のユビキタス光源をはじめ、次世代センサ、マルチスケールセンシング(ナノメーターからキロメータ)、バイオイメージング、応力分布可視化・破壊予知・亀裂診断など、マイクロ部品から橋梁やタンクなどの巨大建造物の健全性診断まで適用でき、緊急な課題である中後期に入った社会インフラ等の保守点検および安全・安心な社会を支える要素技術として強く期待されている。中でも、圧電体を母体材料とした応力発光材料は、さらに様々な電子・磁気制御が可能になることや、電気力光の多元変換が可能という特長のため、種々検討されている。しかし、これまでに圧電体を母体材料として検討された応力発光材料は、応力発光強度が比較的高いものは圧電性が弱く、また、圧電性の強いものは応力発光強度が弱いという相反性があった。

2. 研究の目的

従来では応力発光物質は例外なく圧電性の乏しい結晶系でのみ発現してきたが、我々は新規に圧電性の強い結晶系の応力発光体の合成に初めて成功し、このような強い応力発光性と圧電性を同時に発現させる革新的な機能を我々はマルチピエゾ(Multi-piezo)と名付けている。しかし、応力発光性と圧電性の相関メカニズムはまだ解明されておらず、これが更なる領域展開のカギになる。本研究では、マルチピエゾ材料の物性・機能を解明し、発光と圧電のシナジー効果を明らかにすることで、斬新なマルチピエゾの領域を開拓する。

3. 研究の方法

まずは最初に我々が新規に見出した LNO:Pr(LixNbO₃:Pr)を用いて、LNO 系材料を通じて高感度高効率応力弾性発光と圧電性両方を同時に有するマルチピエゾ機能解明を目的に、材料合成、構造解析、機能評価を進めた。

マルチピエゾ原理の解明を達成するために、非化学量論比と発光中心ドーブ等により構造設計された結晶体、セラミックスバルク体、有機無機複合材料体をそれぞれ合成し、チーム内で共有し、構造解析と機能評価、理論計算と実験、を相互フィードバックしながら進めた。

また、他の材料系にも (SrSnO₃ や Sr₃Sn₂O₇, etc.) 展開し、比較検証を行った。

4. 研究成果

マルチピエゾ材料(LNO)について、非化学量論と元素置換による結晶制御と機能向上のアプローチした結果、Naを置換することにより、Fig.1に示すように、3つの結晶相が確認され、菱面体晶 Na-R₃Cで強い応力発光を示すことが分かった。さらに、合成プロセス高度制御・非化学

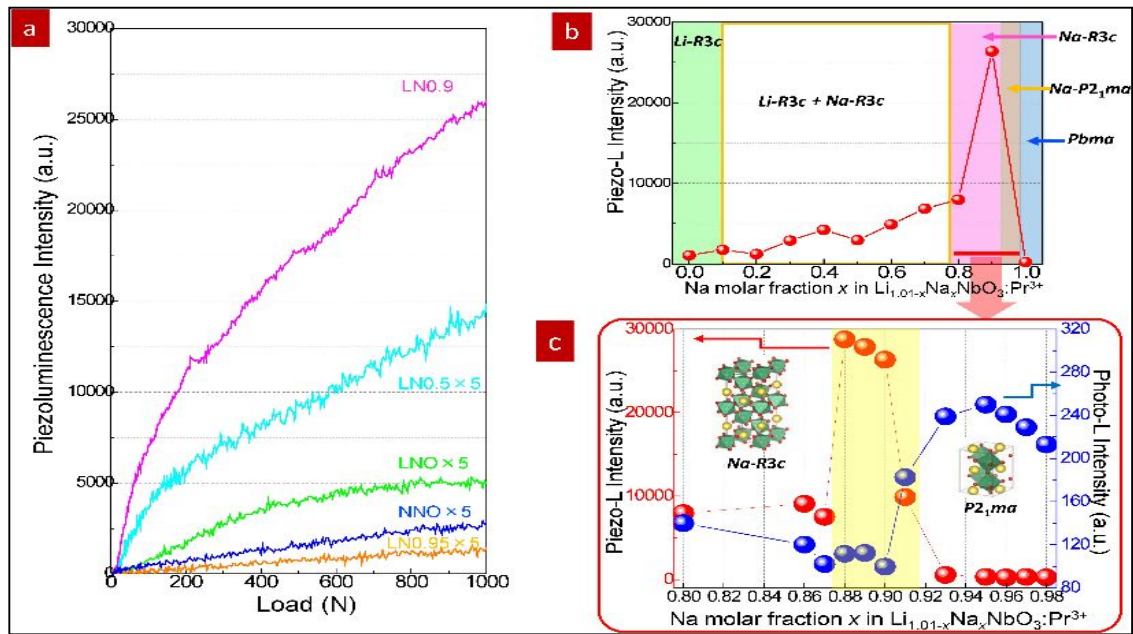


Fig. 1. (a) Piezoluminescence response curves of LN_xN samples (partially listed x = 0.5, 0.9, 0.95), (b) Transitions of piezoluminescence intensity by Na substitution content x, and inset is the crystal structure of each region, (c) Piezo-L and Photo-L intensity changes near the phase boundary (H. Hara, C.N. Xu, et.al., J. Ceram. Soc. Jpn., 518 (2020)).

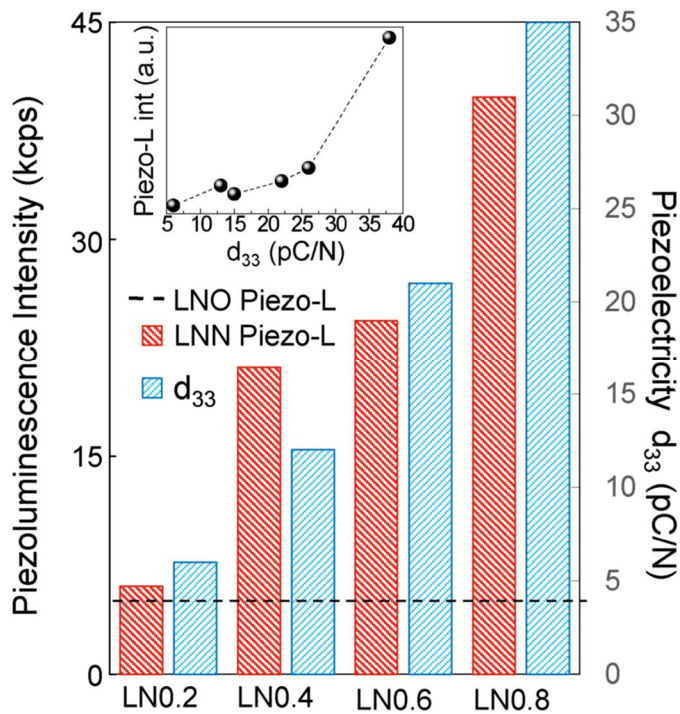


Fig. 2. Correlation between piezoelectric constant d_{33} of LN_xN and piezoluminescence intensity (H. Hara, C.N. Xu, et.al., J. Ceram. Soc. Jpn., 518 (2020)).

量論により、菱面体晶 Na-R3c と斜方晶 P2₁ma の相境界付近では、応力発光強度が飛躍的に増強されることを突き止めた。多相境界での応力発光は非化学量論のLNOよりも10倍以上向上され、これらの発光は、通常の欠陥レベルにトラップされた電子を放出によるものだけでなく、構造相転移によって光を放出する新しいメカニズムの可能性が示唆された。

同時に、Fig.2 に示すように、圧電効果（圧電定数 d_{33} ）は、応力発光強度と同様の傾向を示し、多相境界での圧電定数も10倍以上の向上が得られた。応力発光と圧電は相関性があることが実証された。これらの結果に基づき、結晶構造を制御することにより、マルチピエゾ機能を向上させることに成功し、

今後は応力発光と圧電の相乗効果を明らかにするための有用なデータを取得できた。

開発したマルチピエゾ体 LiNaNbO₃: Pr³⁺の機構究明では、密度汎関数理論（DFT）計算により、LiNbO₃ への Na⁺イオンのドーピングがヘテロ構造の形成により、トラップ構造と圧電特性を結び付けることで、従来の事前照射処理なしで高度に繰り返し可能な ML 性能を実現したという増強モデルを提案できた。

次に、Sr₃Sn₂O₇系において、添加される発光中心と合成プロセス精密制御により、Fig.3 に示すよ

うに、新たな非対称性強誘電性の結晶構造、 $A21am$ 結晶構造をもつ $Sr_3Sn_2O_7:Nd^{3+}$ (SSN) 物質を合成し、世界に先駆けて、マルチピエゾ機能を発現させることに成功した。極性を持つ $A21am$ 構造の SSN は、微小なひずみレベルでも 800-1500 nm の波長の強い近赤外応力発光し、マルチピエゾ材料内の内部電場によって増強される。このマルチピエゾ材料 SSN は、超高感度近赤外応力発光体を実現でき、生体をも透過できる強い近赤外応力発光であることから、人工骨や生体内インプラントなどに加わる危険な応力集中を高速かつ広域に可視化することが可能であり、様々な材料および構造の安全評価への貢献が期待される。

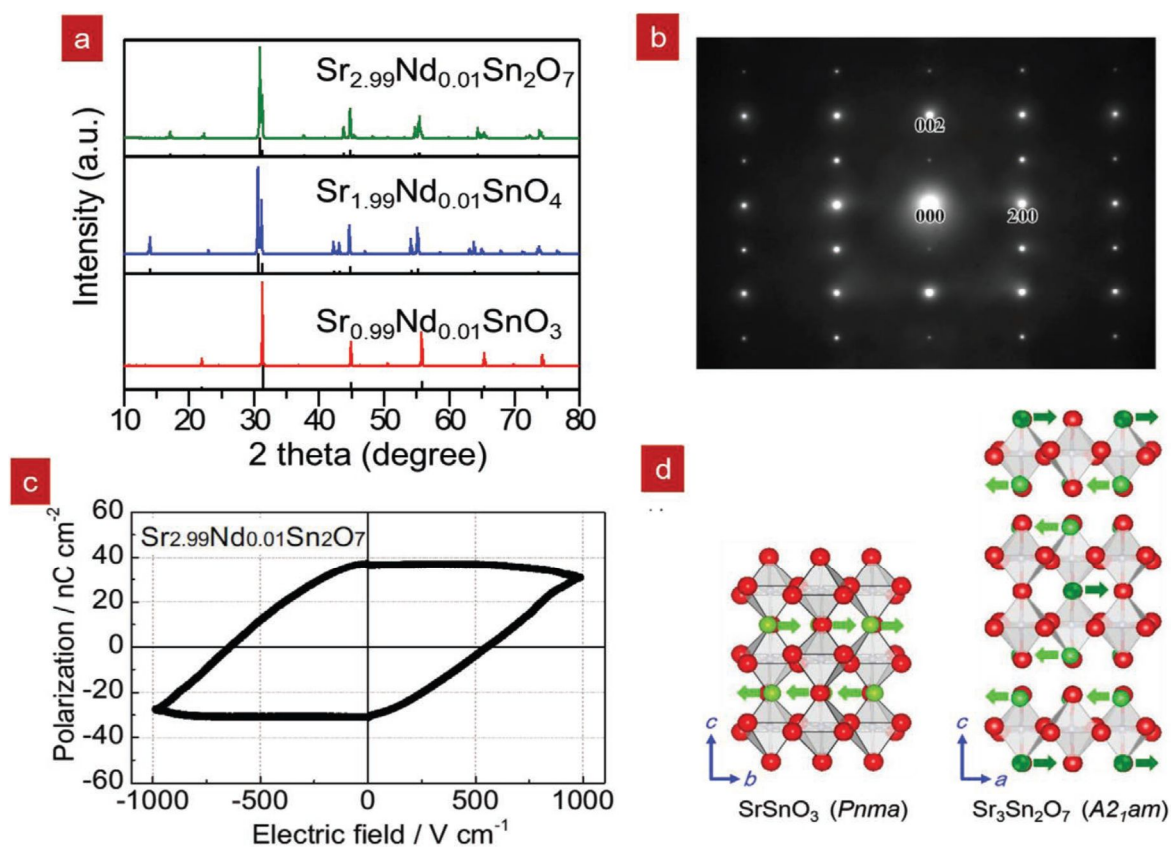


Figure 3. a) The XRD patterns of $Sr_{0.99}Nd_{0.01}SnO_3$, $Sr_{1.99}Nd_{0.01}SnO_4$, and $Sr_{2.99}Nd_{0.01}Sn_2O_7$. b) Electron diffraction pattern of the SSN ($Sr_{2.99}Nd_{0.01}Sn_2O_7$). c) Electric polarization (P) versus electric field (E) hysteresis loop of a ceramic SSN pellet, measured with triangular wave pulse method to get rid of leakage contribution in oil at frequency $f = 1$ Hz. d) Left: the c -direction views of the $a-a-c+$ distortions in $SrSnO_3$. Right: the c -direction views of the ferroelectric $a-a-c+$ distortions in $Sr_3Sn_2O_7$. The light and dark green arrows represent Sr antipolar displacements along the a -axis in the rock-salt block and perovskite block, respectively (D. Tu, C.N. Xu, et al., Adv. Mater., 1908083 (2020)).

< 引用文献 >

- H. Hara, C.N. Xu*, R. Wang, X.G. Zheng, M. Nishibori, E. Nishibori, Control of crystal structure and performance evaluation of multi-piezo material of $Li_{1-x}Na_xNbO_3:Pr^{3+}$, Journal of the Ceramic Society of Japan, Vol.128, No.8, 518-522 (2020).
- D.Tu, C.N. Xu*, S. Kamimura, Y. Horibe, H. Oshiro, L. Zhang, Y. Ishii, K. Hyodo, G. Marriott, N. Ueno, X.G. Zheng, Ferroelectric $Sr_3Sn_2O_7:Nd^{3+}$: A new multipiezo material with ultra-sensitive and sustainable near-infrared piezoluminescence, Advanced Materials, Vol.32, No.25, 1908083 (1)-(9) (2020).
- X.Yang, R. Liu, X. Xu, Z. Liu, M. Sun, W. Yan, D.F. Peng, C.N. Xu, B. Huang, D. Tu, Effective repeatable mechanoluminescence in heterostructured $Li_{1-x}Na_xNbO_3:Pr^{3+}$, Small, Vol.17, No.40, 2103441(1)-(10) (2021).

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計10件（うち査読付論文 10件 / うち国際共著 5件 / うちオープンアクセス 7件）

1. 著者名 Fujio Yuki, Xu Chao-Nan, Terasaki Nao	4. 巻 168
2. 論文標題 Near-Infrared Mechanoluminescence Material from Organic Acid-Aided Process	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Journal of The Electrochemical Society	6. 最初と最後の頁 47508
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1149/1945-7111/abf5f8	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 Liu Shiqi, Liu Rong, Yang Xiuxia, Li Jun, Sun Mingzi, Xu Chao-Nan, Huang Bolong, Liang Yujun, Tu Dong	4. 巻 93
2. 論文標題 New mode of stress sensing in multicolor (Ca1-Sr)8Mg3Al2Si7O28:Eu2+ solid-solution compounds	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Nano Energy	6. 最初と最後の頁 106799
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.nanoen.2021.106799	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 Xiuxia, Liu Rong, Xu Xuhui, Liu Zhichao, Sun Mingzi, Yan Wei, Peng Dengfeng, Xu Chao Nan, Huang Bolong, Tu Dong	4. 巻 17
2. 論文標題 Effective Repeatable Mechanoluminescence in Heterostructured Li1-xNaxNbO3: Pr3+	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Small	6. 最初と最後の頁 2103441
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1002/smll.202103441	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 Tu Shaobo, Mizohata Masayuki, Sheng Guan, Liu Lingmei, Ming Fangwang, Xu Chao Nan, Tu Dong, Zhang Xixiang, Alshareef Husam N.	4. 巻 30
2. 論文標題 Photoluminescent Ferroelectric LiNbO3 Crystals Grown from MXenes	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Advanced Functional Materials	6. 最初と最後の頁 1909843
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1002/adfm.201909843	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 Tu Dong, Xu Chao Nan, Kamimura Sunao, Horibe Yoichi, Oshiro Hirotaka, Zhang Lu, Ishii Yoshiharu, Hyodo Koji, Marriott Gerard, Ueno Naohiro, Zheng Xu Guang	4. 巻 32
2. 論文標題 Ferroelectric Sr3Sn207:Nd3+ : A New Multipiezo Material with Ultrasensitive and Sustainable Near Infrared Piezoluminescence	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Advanced Materials	6. 最初と最後の頁 1908083
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1002/adma.201908083	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 HARA Hirotaka, XU Chao-Nan, WANG Ruiping, ZHENG Xu-Guang, NISHIBORI Maiko, NISHIBORI Eiji	4. 巻 128
2. 論文標題 Control of crystal structure and performance evaluation of multi-piezo material of Li-xNaxNbO3:Pr3+	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Journal of the Ceramic Society of Japan	6. 最初と最後の頁 518 ~ 522
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.2109/jcersj2.20015	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 Fujio Yuki, Xu Chao-Nan, Sakata Yoshitaro, Ueno Naohiro, Terasaki Nao	4. 巻 832
2. 論文標題 Invisible crack visualization and depth analysis by mechanoluminescence film	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Journal of Alloys and Compounds	6. 最初と最後の頁 154900
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.jallcom.2020.154900	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 Fujio Yuki, Xu Chao-Nan, Terasaki Nao	4. 巻 98
2. 論文標題 Synthesis of Near-Infrared Mechanoluminescence Material Via Organic Acid-Aided Process	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 ECS Transactions	6. 最初と最後の頁 61 ~ 68
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1149/09811.0061ecst	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 徐超男、阿部裕幸、森川泰、小垣哲也	4. 巻 44
2. 論文標題 応力発光技術の概要と風車ブレードへの応用	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 日本風力エネルギー学会誌	6. 最初と最後の頁 359-362
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 Zhang Jun-Cheng, Wang Xusheng, Marriott Gerard, Xu Chao-Nan	4. 巻 103
2. 論文標題 Trap-controlled mechanoluminescent materials	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Progress in Materials Science	6. 最初と最後の頁 678 ~ 742
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.pmatsci.2019.02.001	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

〔学会発表〕 計36件 (うち招待講演 11件 / うち国際学会 12件)

1. 発表者名 藤尾侑輝、徐超男、寺崎正
2. 発表標題 応力発光技術による動的ひずみ分布計測と破壊現象の可視化
3. 学会等名 日本セラミックス協会 2022年年会
4. 発表年 2021年 ~ 2022年

1. 発表者名 岩田隆正、西堀英治、鄭旭光、徐超男
2. 発表標題 近赤外応力発光を示すZnOにおける発光機能の向上機構
3. 学会等名 日本セラミックス協会 2022年年会
4. 発表年 2021年 ~ 2022年

1. 発表者名 温昊、瀨惇一郎、岩田隆正、任銘昭、徐超男
2. 発表標題 Multi-piezo発光体を用いた応力記録機能の発見
3. 学会等名 日本セラミックス協会 2022年年会
4. 発表年 2021年～2022年

1. 発表者名 池田尚輝、二宮翔、徐超男、西堀麻衣子
2. 発表標題 X線吸収分光によるMulti-Piezo材料の局所構造解析
3. 学会等名 第60回セラミックス基礎科学討論会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Y. Fujio, C.N. Xu, N. Terasaki
2. 発表標題 Enhancement of mechanoluminescence characteristic by tuning SrAl ₂ O ₄ crystallization process assisted with organic acid
3. 学会等名 4th Pacific Rim Conference on Ceramic and Glass Technology(PaCRim14) (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 瀨惇一郎、徐超男
2. 発表標題 高感度応力発光体を用いた構造体内部損傷の可視化
3. 学会等名 2021年度 応用物理学会九州支部学術講演会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 徐超男
2. 発表標題 応力発光のソフトクリスタルの界面制御による光機能開拓
3. 学会等名 ソフトクリスタル領域会議（招待講演）
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 任銘昭、温昊、徐超男
2. 発表標題 Creation of multi-piezo material of LiNbO3 emits visible-near infrared light
3. 学会等名 第41回電子材料研究討論会（国際学会）
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 鄭旭光，山内一広，幸田章宏，西村昇一郎，中村惇平，徐超男
2. 発表標題 μSRを用いた応力発光のメカニズム研究
3. 学会等名 日本物理学会 2021年秋季大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 藤尾侑輝、徐超男、寺崎正
2. 発表標題 液相法による多元素添加近赤外応力発光体の開発
3. 学会等名 2021年電気化学秋季大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 任銘昭、劉劍橋、岩田隆正、瀆惇一郎、温昊、徐超男
2. 発表標題 発光するナノ・テクスチャー構造の Multi-piezo 体の創製
3. 学会等名 公益社団法人日本セラミックス協会 第46回 学術写真賞
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 徐超男
2. 発表標題 応力発光塗料技術の風力分野への応用
3. 学会等名 令和3年度第1回福島県再生可能エネルギー関連産業推進研究会 風力分科会（招待講演）
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 宮田潔志、田中孝記、宮崎栞、鈴木郁哉、北川裕一、長谷川靖哉、徐超男、山方啓、恩田健
2. 発表標題 超高速分光で探る希土類発光材料の光機能
3. 学会等名 第36回希土類討論会（招待講演）
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Y. Fujio, C.N. Xu, N. Terasaki
2. 発表標題 Synthesis of near-infrared mechanoluminescence material via organic acid-aided process
3. 学会等名 PRiME 2020 Pacific Rim Meeting on Electrochemical & Solid-State Science（国際学会）
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 D. Tu, C.N. Xu
2. 発表標題 Development and mechanism of novel highly-sensitive near-infrared mechanoluminescence material
3. 学会等名 The 2020 Annual Meeting of the Chinese Society of Rare Earths (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 溝畑将之、徐超男*、上野直広
2. 発表標題 マルチピエゾ体CaZnOSを用いた特異的な近赤外発光特性
3. 学会等名 第40回電子材料研究討論会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 藤尾侑輝、徐超男、寺崎正
2. 発表標題 有機酸支援法によるSrAl ₂ O ₄ :Eu応力発光体の合成と発光特性
3. 学会等名 第40回電子材料研究討論会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 瀧惇一郎、岩田隆正、徐超男
2. 発表標題 応力発光力学イメージングによる衝撃応力とその応力波の伝搬の可視化
3. 学会等名 2021年第68回応用物理学会春季学術講演会
4. 発表年 2020年～2021年

1. 発表者名 溝畑将之、徐超男
2. 発表標題 応力発光体を用いた複雑な構造物の応力分布の可視化
3. 学会等名 2021年第68回応用物理学会春季学術講演会
4. 発表年 2020年～2021年

1. 発表者名 M.Z. Ren, H. Wen, C.N. Xu
2. 発表標題 Development of multi-piezo material with morphotropic phase boundary (MPB)
3. 学会等名 公益社団法人日本セラミックス協会 2021年年会
4. 発表年 2020年～2021年

1. 発表者名 岩田隆正、溝畑将之、徐超男
2. 発表標題 ZnOにおける近赤外応力発光機能の発現
3. 学会等名 公益社団法人日本セラミックス協会 2021年年会
4. 発表年 2020年～2021年

1. 発表者名 徐超男
2. 発表標題 応力発光機能の開拓とマルチピエゾ
3. 学会等名 日本セラミックス協会 九州支部 平成31年度九州支部 支部大会・春季特別講演会（招待講演）
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 D. Tu, Chao-Nan Xu
2. 発表標題 Deep-Trap Dominated Sustainable Mechanoluminescence from Layered Perovskite Sr ₃ Sn ₂ O ₇ :Sm ³⁺
3. 学会等名 2019 MRS Spring Meeting & Exhibit (Phoenix, Arizona, U.S.A) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Chao-Nan Xu
2. 発表標題 Mechanoluminescence: from materials to applications and standardization
3. 学会等名 The Eleventh International Conference on High-Performance Ceramics (CICC-11) (Kunming, China) (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 福田雅人、徐超男、貝沼重信、麻生孝志
2. 発表標題 応力発光技術を用いたコンクリート橋のひび割れ進展挙動の定量評価に関する試験施工
3. 学会等名 令和元年度全国大会 第74回年次学術講演会 (香川大学幸町キャンパス)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 徐超男
2. 発表標題 応力発光技術の風車ブレードへの応用
3. 学会等名 日本風力エネルギー学会第2回ブレード技術研究会 (日本風力発電協会: 東京都港区) (招待講演)
4. 発表年 2019年

1 . 発表者名 Chao-Nan Xu
2 . 発表標題 Recent progress in sustainable mechanoluminescence materials
3 . 学会等名 20th International Union of Materials Research Societies International Conference in Asia (IUMRS-ICA 2019) (Perth Convenson & Exhibition Centre, Perth Australia) (招待講演) (国際学会)
4 . 発表年 2019年

1 . 発表者名 C.N. Xu, R. Wang, M. Nishibori, X.G. Zheng
2 . 発表標題 Piezoluminescence Crystalline Material And Their Applications
3 . 学会等名 The 13th Pacific Rim Conference of Ceramic Societies (PACRIM13) (Okinawa Convention Center, Japan) (招待講演) (国際学会)
4 . 発表年 2019年

1 . 発表者名 H. Hara, R. Wang, X.G. Zheng, M. Nishibori, C.N. Xu
2 . 発表標題 Performance Improvement of Multi-Piezo Material by Control of Crystal Structure
3 . 学会等名 The 13th Pacific Rim Conference of Ceramic Societies (PACRIM13) (Okinawa Convention Center, Japan) (国際学会)
4 . 発表年 2019年

1 . 発表者名 Y. Ishii, N. Ueno, C.N. Xu
2 . 発表標題 Visualization of Stress Distribution from Outside the Biological Tissue by Near-infrared Mechanoluminescence Material
3 . 学会等名 The 13th Pacific Rim Conference of Ceramic Societies (PACRIM13) (Okinawa Convention Center, Japan) (国際学会)
4 . 発表年 2019年

1. 発表者名 D Tu, C.N. Xu
2. 発表標題 Dual-mode mechano-optical conversion in phosphorescent CaZnOS:Cu
3. 学会等名 International Symposiums for Phosphor Materials (Phosphor Safari 2019) (Xiamen, China) (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 C.N. Xu
2. 発表標題 Progress in mechanoluminescence materials and their applications
3. 学会等名 International Symposiums for Phosphor Materials (Phosphor Safari 2019) (Xiamen, China) (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 石井孝治、上野直広、徐超男
2. 発表標題 近赤外応力発光体による生体組織外からの応力解析
3. 学会等名 第39回電子材料研究討論会 (愛知県名古屋市: ウィンク愛知)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 原弘峻、王瑞平、鄭旭光、西堀麻衣子、徐超男
2. 発表標題 Multi-piezo材料の結晶構造制御による性能向上
3. 学会等名 第39回電子材料研究討論会 (愛知県名古屋市: ウィンク愛知)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 溝畑将之、徐超男
2. 発表標題 "CaZnOS:Mn の開発とMulti-piezo性能の向上
3. 学会等名 第39回電子材料研究討論会（愛知県名古屋市：ウイंक愛知）
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 徐超男
2. 発表標題 応力発光現状と応用例
3. 学会等名 賢材研講演会（東京都）（招待講演）
4. 発表年 2019年

〔図書〕 計0件

〔出願〕 計2件

産業財産権の名称 応力発光材料及び同応力発光材料の製造方法	発明者 徐超男	権利者 産業技術総合研究所
産業財産権の種類、番号 特許、特願2021-035875	出願年 2021年	国内・外国の別 国内

産業財産権の名称 圧電性および応力発光性を有する多機能性マルチピエゾ材料、並びにそれを用いた多機能性圧電体、MEMSデバイス、ロボット、歪・欠陥・健全性計測装置および非破壊検査方法	発明者 徐超男、王瑞平	権利者 産業技術総合研究所
産業財産権の種類、番号 特許、特願2020-126975	出願年 2020年	国内・外国の別 国内

〔取得〕 計0件

〔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	王 瑞平 (Wang Ruiping) (00358392)	国立研究開発法人産業技術総合研究所・エレクトロニクス・製造領域・主任研究員 (82626)	

6. 研究組織（つづき）

	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	西堀 麻衣子 (Nishibori Maiko) (20462848)	東北大学・国際放射光イノベーション・スマート研究センター・教授 (11301)	
研究分担者	鄭 旭光 (Zheng Xu-Guang) (40236063)	佐賀大学・理工学部・教授 (17201)	

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関