

**平成28年度科学研究費助成事業（特別推進研究）自己評価書**  
**〔追跡評価用〕**

平成28年 4月 22日現在

<b>研究代表者 氏名</b>	長 康雄	<b>所属研究機関・ 部局・職 (研究期間終了時)</b>	東北大学・電気通信研究所・教授
<b>研究課題名</b>	非線形誘電率顕微鏡を用いた次世代超高密度強誘電体記録		
<b>課題番号</b>	18002005		
<b>研究組織 (研究期間終了時)</b>	研究代表者 長 康雄（東北大学・電気通信研究所・教授） 研究分担者 平永 良臣（東北大学・電気通信研究所・助教） 山末 耕平（東北大学・電気通信研究所・助教）		

**【補助金交付額】**

年度	直接経費
平成18年度	133,200 千円
平成19年度	97,700 千円
平成20年度	79,900 千円
平成21年度	79,900 千円
平成22年度	44,400 千円
総計	435,100 千円

## 1. 特別推進研究の研究期間終了後、研究代表者自身の研究がどのように発展したか

特別推進研究によってなされた研究が、どのように発展しているか、次の(1)～(4)の項目ごとに具体的かつ明確に記述してください。

## (1) 研究の概要

(研究期間終了後における研究の実施状況及び研究の発展過程がわかるような具体的内容を記述してください。)

特別推進研究終了後は特に高速化が期待できるハードディスクドライブ (HDD) 型強誘電体記録において記録密度を向上する研究・実情報記録の研究・高速再生可能薄膜記録媒体の研究を推進している。

まずハードディスクドライブ型強誘電体記録装置を用いて (ハードディスク型では最高の) 3.4Tbit/inch<sup>2</sup> の記録密度を達成した。(図1)

次にハードディスクドライブ型強誘電体記録装置にて実情報の記録・再生に成功した。更に高速再生に関する一連の研究として、PZT 薄膜記録媒体の非線形誘電率を計測し従来強誘電体記録に用いられていた LiTaO<sub>3</sub> 単結晶に比べて 70 倍の高速再生が可能であることを明らかにした。また現在超高速再生の実証研究を進めている。

特別推進研究の成果並びに上述の継続して行っている研究成果が評価され、平成26年、報公賞(服部報公会)(第84回)、並びに平成27年度 科学技術分野の文部科学大臣表彰 科学技術賞 開発部門、を研究代表者が受賞している。

平成26年度より国内の主だったハードディスク関連メーカーが主会員であるコンソーシアム情報ストレージ研究推進機構 SRC のメンバーとなり磁気記録を置き換える次世代記録方式として「非線形誘電率顕微鏡を用いた次世代超高密度強誘電体記録」が本コンソーシアムでの正式な研究テーマとして取り上げられることとなった。SRCは産学が互いに協力して、磁気記録における面記録密度を中心とした技術レベルの継続的な向上を図るため、関連する情報ストレージ技術および科学技術分野の研究を活性化し世界をリードする技術を発掘・育成することを目的とするコンソーシアムであるが、磁気記録の記録密度の伸び悩みを解決する次世代技術として強誘電体記録が位置づけられるに至った。本コンソーシアムは平成27年7月から米国ASTC(Advanced Storage Technology Consortium)と組織統合し、ワールドワイドにHDD高密度化技術の検討を行うコンソーシアムとして発足させることとなりその英語名もASRC(Advanced Storage Research Consortium)と改められ、ここでも同様に「非線形誘電率顕微鏡を用いた次世代超高密度強誘電体記録」が研究テーマに取り上げられたことより国内に留まらず米国企業にもその活動が認知されるに至っている。

## HDD-Type 3.4 Tbit/inch<sup>2</sup>

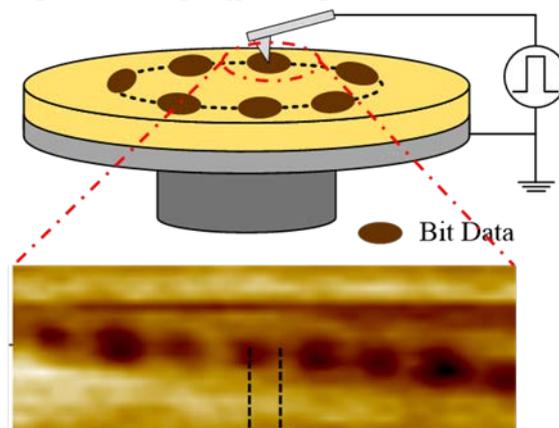


図1 HDD型強誘電体記録再生装置を用いて記録したドット列(3.4Tb/in.<sup>2</sup>相当)。

## 1. 特別推進研究の研究期間終了後、研究代表者自身の研究がどのように発展したか（続き）

(2) 論文発表、国際会議等への招待講演における発表など（研究の発展過程でなされた研究成果の発表状況を記述してください。）

## 発表論文

- 1) Yasuo Cho, “Scanning nonlinear dielectric microscopy” ,**J. Mater. Res.**, Vol.26, No.16, Aug 28,(2011.8) pp.2007-2016. **[INVITED FEATURE PAPERS]**
- 2) Kohei Yamasue and Yasuo Cho, “Observation of Polarization Distribution on Si(111) Surface by Scanning Nonlinear Dielectric Microscopy”, **Jpn. J. Appl. Phys.**, Vol.50 (2011.9) pp.09NE12-5
- 3) Norimichi Chinone, Kohei Yamasue, Yoshiomi Hiranaga, and Yasuo Cho, “Observation of Nanoscale Ferroelectric Domains Using Super-Higher-Order Nonlinear Dielectric Microscopy”, **Jpn. J. Appl. Phys.**, Vol.51 (2012.9) pp.09LE07-1-5
- 4) N. Chinone, K. Yamasue, Y. Hiranaga, K. Honda, and Yasuo Cho, “Lateral resolution improvement in scanning nonlinear dielectric microscopy by measuring super-higher-order nonlinear dielectric constants”, **Appl. Phys. Lett.**, Vol.101, (2012.11) pp.213112-1-4.
- 5) Kohei Yamasue and Yasuo Cho, “Simultaneous measurement of tunneling current and atomic dipole moment on Si(111)-(7×7) surface by noncontact scanning nonlinear dielectric microscopy”, **J. Appl. Phys.**, Vol.113 (2013.1) pp.014307-1-8
- 6) Daisuke Mizuno, Kohei Yamasue, and Yasuo Cho “Atomic dipole moment distribution on a hydrogen-adsorbed Si(111) - (7×7) surface observed by noncontact scanning nonlinear dielectric microscopy”, **Appl. Phys. Lett.** ,Vol.103 (2013.9) pp.101601-1-5
- 7) Yoshiomi Hiranaga and Yasuo Cho, “Measurements of Nonlinear Dielectric Constants of Pb(Zr,Ti)O<sub>3</sub> Thin Films Using a Dynamic Measuring Method”, **Jpn. J. Appl. Phys.**, vol.52 (2013.9) pp.09KA08-1-4.
- 8) Yasuo Cho, “Electrical conduction in nanodomains in congruent lithium tantalate single crystal”, **Appl. Phys. Lett.**, Vol.104 (2014.1) pp.042905-1-4
- 9) Seungbum Hong , Sheng Tong , Woon Ik Park , Yoshiomi Hiranaga , Yasuo Cho, and Andreas Roelofs, “Charge gradient microscopy” **Proc. Natl. Acad. Sci. USA**, vol.111, no.18 (2014.5) pp.6566-6569.
- 10) Yasuo Cho “Nano-Domains and Related Phenomena in Congruent Lithium Tantalate Single Crystals Studied by Scanning Nonlinear Dielectric Microscopy” **IEEE TRANSACTION ON ULTRASONICS, FERROELECTRICS, AND FREQUENCY CONTROL**, Vol.61, No.8, (2014.8), PP.1368-1378. **[REVIEW PAPER]**
- 11) Masataka Suzuki, Kohei Yamasue, Masayuki Abe, Yoshiaki Sugimoto, and Yasuo Cho, “Improved study of electric dipoles on the Si(100)-2×1 surface by non-contact scanning nonlinear dielectric microscopy” **Appl. Phys. Lett.** ,Vol.105 (2014.9) pp.101603-1-3
- 12) Kohei Yamasue, Masayuki Abe, Yoshiaki Sugimoto and Yasuo Cho, “Atomic-dipole-moment induced local surface potential on Si(111)-(7×7) surface studied by non-contact scanning nonlinear dielectric microscopy”, **Appl. Phys. Lett.** ,Vol.105 (2014.9) pp. 121601-1-5
- 13) Yoshiomi Hiranaga and Yasuo Cho, “Pb (Zr, Ti)O<sub>3</sub> recording media for probe data storage devices prepared by rf magnetron sputtering”, **Jpn. J. Appl. Phys.**, vol.53 (2014.9) pp.09PA05-1-5.
- 14) R. Takahashi, I. Ohkubo, K. Yamauchi, M. Kitamura, Y. Sakurai, M. Oshima, T. Oguchi, Y. Cho, and M. Lippmaa. “A-site-driven ferroelectricity in strained ferromagnetic La<sub>2</sub>NiMnO<sub>6</sub> thin films”, **Phys Rev. B**,Vol. 91(2015.4) pp 134107.-1-9
- 15) Kohei Yamasue, Hirokazu Fukidome, Kazutoshi Funakubo, Maki Suemitsu and Yasuo Cho “Interfacial Charge States in Graphene on Sic Studied by Noncontact Scanning Nonlinear Dielectric Potentiometry”, **Phys. Rev. Lett.**, Vol.114 (2015.6) pp. 226103-1-5
- 16) Masataka Suzuki, Kohei Yamasue, and Yasuo Cho, “Experimental study of electric dipoles on an oxygen-adsorbed Si(100)-2×1 surface by non-contact scanning nonlinear dielectric microscopy”, **Appl. Phys. Lett.**, Vol.107 (2015.7) pp. 031604-1-5
- 17) Kohei Yamasue and Yasuo Cho, “Scanning nonlinear dielectric Potentiometry”, **Rev. of Sci. Instrum.**, Vol.86 (2015.9) pp.093704 -1-8

## 招待講演・基調講演

- 1) Yasuo Cho, “ Scanning nonlinear dielectric microscopy with high resolution and its application to next generation high density ferroelectric data storage” E-MRS ICAM IUMRS 2011 Spring Meeting, ABSTRACTS,(Nice, France), **[invited]** (発表日 2011年5月12日)
- 2) Yasuo Cho, “Atomic electric dipole moment visualization using scanning nonlinear dielectric microscopy ” 11<sup>th</sup> International Symposium on Ferroic Domains and Micro-to Nanoscopic Structures , 11<sup>th</sup> Russia/CIS/Baltic/Japan/Symposium on Ferroelectricity), ABSTRACTS, (Ekaterinburg, Russia ) Abstract Number:PL-1. P.9 (発表日:2012年8月21日) **[Plenary Talk]**
- 3) Yasuo Cho, “Nano -Domains and Their Related Phenomena in LiTaO<sub>3</sub> Single Crystal Studied by Using Scanning Nonlinear Dielectric Microscopy ” 2013 Joint UFFC, EFTF and PFM Symposium (Prague, Czech Republic) (発表日:2013年7月25日) **[invited]**
- 4) Yasuo Cho, “Conduction in Nanodomains in Lithium Tantalate Single Crystal ” ICSS 2013 ABSTRACTS, (Las Vegas Nevada, USA) (発表日:2013年12月16日) **[invited]**
- 5) Seungbum Hong, Sheng Tong, Woon Ik Park, Yoshiomi Hiranaga, Yasuo Cho, and Andreas Roelofs “Charge gradient microscopy: high-speed visualization of polarization charges using a nanoscale probe” Nanoscale Spectroscopy and Nanotechnology 8, ABSTRACTS, (Chicago, USA) (発表日:2014年7月30日) **[invited]**
- 6) S. Hong, S. Tong, Y. Choi, W. Park, Y. Hiranaga, Y. Cho, A. Roelofs “Charge Gradient Microscopy: Electromechanical Charge Scraping at the Nanoscale ” EMA2015, ABSTRACTS, No.EMA-S9-004-2015(Orlando, Florida, USA)(発表日 : 2015年1月22日) **[invited]**
- 7) Seungbum Hong, Sheng Tong, Yoon-Young Choi, Woon Ik Park, Liliana Stan, Yoshiomi Hiranaga, Yasuo Cho, Andreas Roelofs “Charge Gradient Microscopy : Electromechanical Charge Scraping and Refill of Screening Charges ” MMC 2015 (Manchester Central, UK)(発表日 : 2015年6月30日) **[invited]**
- 8) Tomonori Aoki, Yoshiomi Hiranaga, Yasuo Cho “Hard-Disk-Drive-Type Ferroelectric Data Recording with Memory Density over 1 Tbit/inch<sup>2</sup> Based on Scanning Nonlinear Dielectric Microscopy” 2015 MRS fall meeting (November 29- December 4,2 Boston, USA) (発表日:2015年12月2日) **[invited]**

**1. 特別推進研究の研究期間終了後、研究代表者自身の研究がどのように発展したか（続き）****(3) 研究費の取得状況（研究代表者として取得したもののみ）**

科学研究費助成事業

## 1) 基盤研究（S）

「非線形誘電率顕微鏡の高機能化及び電子デバイスへの応用」

平成23-27年度

直接経費総額：141,700千円

## 2) 基盤研究（A）

「界面電荷輸送現象解明のための高機能走査型非線形誘電率顕微鏡群の研究開発」

平成28-30年度

直接経費総額：34,100千円

他の研究費

## 1) 内閣府

S I P（戦略的イノベーション創造プログラム）／次世代パワーエレクトロニクス／将来の  
パワーエレクトロニクスを支える基盤研究開発、

「超高次非線形誘電率顕微鏡法を用いたSiC基板材料及びパワーエレクトロニクス素子の  
高性能化に資する評価技術の開発」

平成26-27年度

直接経費総額：52,173千円

**(4) 特別推進研究の研究成果を背景に生み出された新たな発見・知見**

- ①ハードディスクドライブ型強誘電体記録装置にて世界最高の3.4Tbit/inch<sup>2</sup>の記録密度を達成した。
- ②ハードディスクドライブ型強誘電体記録装置にて実情報の記録・再生に成功した。
- ③PZT薄膜記録媒体にて非線形誘電率を計測し従来強誘電体記録に用いられていたLiTaO<sub>3</sub>単結晶に比べて70倍の高速再生が可能であることが明らかになった。

**2. 特別推進研究の研究成果が他の研究者により活用された状況**

特別推進研究の研究成果が他の研究者に活用された状況について、次の(1)、(2)の項目ごとに具体的かつ明確に記述してください。

**(1) 学界への貢献の状況（学術研究へのインパクト及び関連領域のその後の動向、関連領域への関わり等）**

学術研究へのインパクト及び関連領域のその後の動向、関連領域への関わりについて、本研究成果から影響を受けた研究や本研究成果を参考にした研究に関しての例を幾つか以下に箇条書きで示す。

- 1) 強誘電体材料における局所分極反転のダイナミクスの研究が米国オーリッジ国立研究所において精力的にされるようになっている。
- 2) 強誘電材料に限らずマルチフェロイック材料のドメインスイッチングに関する米国での研究に影響を与えている。
- 3) 高密度記録研究での権威であるカーネギーメロン大学で磁気ハードディスク記録に代わる次世代超高密度記録の候補として非線形誘電率顕微鏡を用いた次世代超高密度強誘電体記録を位置づけている。
- 4) 強誘電体ナノパーティクル、ワイヤ、チューブの研究に於けるプローブ顕微鏡技術の重要性がアイルランドの大学において報告されている。
- 5) 強誘電体及び関連材料で欠陥に起因するメゾスコピックから原子スケールでの分極反転の研究（米国）に影響を与えている。
- 6) ロシアで行われているプローブ顕微鏡を用いた強誘電分極反転の研究に影響を与え参考にされている。
- 7) データストレージからエネルギー発生と変換まで広く応用されている電氣的に引き起こされる相転移の研究に参考とされている。（ポルトガルと米国の共同研究）
- 8) 誘電現象を捉える新規プローブ顕微鏡として走査型非線形誘電率顕微鏡が米国のグループによって高く評価され認知されるに至っている。
- 9) アイルランドの研究グループから、世界最小の強誘電ドメインドットの生成に成功しているのは本研究グループであると評価を受けており、彼らの強誘電材料研究に影響を与えている。
- 10) 強誘電体 NAND 型フラッシュメモリ（これは強誘電体を用いた半導体メモリであるが）の研究者が提唱するメモリの原理的なダウンサイジングに本研究成果（世界最小のナノドメイン）が明るい解を与えている。（日本）
- 11) 相変化プローブメモリを研究しているイギリス・イタリアの研究グループが非線形誘電率顕微鏡を用いた次世代超高密度強誘電体記録が有望な次世代記録方式と報告している。

他多数の活用例がある。

## 2. 特別推進研究の研究成果が他の研究者により活用された状況（続き）

(2) 論文引用状況（上位10報程度を記述してください。）

## 【研究期間中に発表した論文】

No	論文名・著者名・発行年・ページ数等	日本語による簡潔な内容紹介	引用数
1	Nanodomain manipulation for ultrahigh density ferroelectric data storage・Yasuo Cho, Sunao Hashimoto, Nozomi Odagawa, Kenkou Tanaka, Yoshiomi Hiranaga,・2006・5 ページ	非線形誘電率顕微鏡を用いた強誘電体記録システムについて述べている。記録媒体にはタンタル酸リチウム単結晶を用い、最小径で5.1nmの記録ドットの作製に成功している。500psでの高速ドメイン反転に成功している。また258Gbit/inch <sup>2</sup> の記録密度で10 <sup>-4</sup> の記録エラーを達成している。また実情報記録で記録密度1Tbit/inch <sup>2</sup> を達成している。	76
2	Scanning Nonlinear Dielectric Microscopy Nano-Science and Technology for Next Generation High Density Ferroelectric Data Storage・Kenkou Tanaka, Yuichi Kurihashi, Tomoya Uda, Yasuhiro Daimon, Nozomi Odagawa, Ryusuke Hirose, Yoshiomi Hiranaga, Yasuo Cho・2008・15 ページ	非線形誘電率顕微鏡を用いた超高密度強誘電体記録に関する招待レビュー論文であり、最小2.8nmのナノドメインドットの生成から始まり、13.2Tbit/inch <sup>2</sup> のドットアレー、500psecの超高速スイッチング、記録寿命等多岐に渡る強誘電体記録のポテンシャルを示す論文である。	63
3	Atomic dipole moment distribution of si atoms on a Si(111)-(7x7) surface studied using noncontact scanning nonlinear dielectric microscopy・Yasuo Cho, Ryusuke Hirose・2007・4 ページ	強誘電体記録の再生装置に用いる非線形誘電率顕微鏡の分解能を原子分解能まで高めた論文であり、Si(111)7×7構造の原子双極子モーメントを初めて可視化した。	44
4	The influence of 180 degrees ferroelectric domain wall width on the threshold field for wall motion・Samrat Choudhury, Yulan Li, Nozomi Odagawa, Aravind Vasudevarao, L Tian, Pavel Capek, Volkmar Dierolf, Anna N Morozovska, Eugene A Eliseev, Sergei Kalinin, Yasuo Cho, Long-qing Chen, Venkatraman Gopalan・2008・7 ページ	強誘電体記録に用いるLiTaO <sub>3</sub> 及びLiNbO <sub>3</sub> 単結晶の記録密度に関して重要なドメイン壁の厚さに関する非線形誘電率顕微鏡で調査した国際共著論文である。	31
5	Observation of the Si(111) 7x7 atomic structure using non-contact scanning nonlinear dielectric microscopy・Ryusuke Hirose, Koya Ohara, Yasuo Cho・2007・5 ページ	強誘電体記録の再生装置に用いる非線形誘電率顕微鏡の分解能を高めた論文であり、Si(111)7×7構造を一部可視化に成功した。	28
6	Actual information storage with a recording density of 4 Tbit/ in. 2 in a ferroelectric recording medium・Kenkou Tanaka, Yasuo Cho・2010・3 ページ	非線形誘電率顕微鏡を用いた強誘電体記録で画像情報という実情報を4Tbit/inch <sup>2</sup> の記録密度で達成した論文であり、従来の基礎データ（小数のビットの書き込み）ではなく多数のビットからなる実情報を最高記録密度で記録した論文である。	26
7	Multiferroism at Room Temperature in BiFeO <sub>3</sub> /BiCrO <sub>3</sub> (111) Artificial Superlattices・Noriya Ichikawa, Masaya Arai, Yusuke Imai, Kei Hagiwara, Hiroshi Sakama, Masaki Azuma, Yuichi Shimakawa, Mikio Takano, Yasutoshi Kotaka, Masashi Yonetani, Hironori Fujisawa, Masaru Shimizu, Kenya Ishikawa, Yasuo Cho・2008・3 ページ	BiFeO <sub>3</sub> /BiCrO <sub>3</sub> (111)が常温で強誘電性と強磁性を同時に持つマルチフェロイック材料であることを報告した論文であり、将来の多値メモリの可能性を示す材料の発見である。強誘電性については非線形誘電率顕微鏡で確認された。	22
8	Visualization using the scanning nonlinear dielectric microscopy of electrons and holes localized in the thin gate film of metal-oxide-nitride-oxide-semiconductor type flash memory・Koichiro Honda, Yasuo Cho・2006・8 ページ	非線形誘電率顕微鏡でMONOS構造メモリ中に蓄えられた電子とホールを世界で初めて可視化した論文である。	22
9	Cross-sectional observation of nanodomain dots formed in both congruent and stoichiometric LiTaO <sub>3</sub> crystals・Yasuhiro Daimon, Yasuo Cho・2007・3 ページ	LiTaO <sub>3</sub> 単結晶中に記録されたナノドメインドット（記録ビット）がどのように媒体を貫いているのかまたその時のドメイン壁の厚さと記録媒体の厚さと関係づけて評価している。	16
10	Resolution enhancement in contact-type scanning nonlinear dielectric microscopy using a conductive carbon nanotube probe tip・Kenya Ishikawa, Koichiro Honda, Yasuo Cho・2007・6 ページ	強誘電体記録の再生に用いる非線形誘電率顕微鏡の読み取り精度を上げるためカーボンナノチューブプローブ探針を用い、分解能の向上を達成しかつ探針の摩耗による損傷を防いだ報告である。	15

## 【研究期間終了後に発表した論文】

No	論文名	日本語による簡潔な内容紹介	引用数
1	Scanning nonlinear dielectric microscopy - Yasuo Cho - 2011 - 10 ページ	走査型非線形誘電率顕微鏡を用いた研究を網羅的に紹介した INVITED FEATURE PAPERS であり、この中も次世代強誘電体記録の紹介も行われている。	17
2	Atomic dipole moment distribution on a hydrogen-adsorbed Si (111)-(7×7) surface observed by noncontact scanning nonlinear dielectric microscopy - Daisuke Mizuno, Kohei Yamasue, Yasuo Cho - 2013 - 5 ページ	超高分解能非接触走査型非線形誘電率顕微鏡を用いて Si(111)面に吸着した水素が原子ダイポールモーメントに与える影響を調べた報告である。	8
3	Simultaneous measurement of tunneling current and atomic dipole moment on Si(111)-(7 x 7) surface by noncontact scanning nonlinear dielectric microscopy - Kohei Yamasue, Yasuo Cho - 2013 - 8 ページ	非接触走査型非線形誘電率顕微鏡を用いて Si(111) 7x7 構造上の凹凸、双極子モーメントと時間平均トンネル電流像を同時取得し時間平均トンネル電流像が双極子モーメント像と一致するのは表面双極子が発生している電位がその起源であることを示している。	7
4	Charge gradient microscopy - Seungbum Hong, Sheng Tong, Woon Ik Park, Yoshiomi Hiranaga, Yasuo Cho, Andreas Roelofs - 2014 - 4 ページ	強誘電分極を計測する新しい手法の提案を行った論文である。	6
5	Lateral resolution improvement in scanning nonlinear dielectric microscopy by measuring super-higher-order nonlinear dielectric constants - Norimichi Chinone, Kohei Yamasue, Yoshiomi Hiranaga, Koichiro Honda, Yasuo Cho - 2012 - 4 ページ	誘電率の高次非線形項を計測することにより探針先端径を小さくすることなく非線形誘電率顕微鏡の分解能が劇的に向上する手法を提案した。	5
6	Improved study of electric dipoles on the Si(100)-2 x 1 surface by non-contact scanning nonlinear dielectric microscopy - Masataka Suzuki, K2014ohei Yamasue, Masayuki Abe, Yoshiaki Sugimoto, Yasuo Cho - 2014 - 3 ページ	Si(100)2x1 構造の非常に小さな構造と原子双極子モーメント像を可視化しこの表面上のダイマーが負の双極子モーメントを持っており、双極子モーメントが発生する電位が-250mV であることを報告している。	5
7	Visualization of Electrons Localized in Metal-Oxide-Nitride-Oxide-Semiconductor Flash Memory Thin Gate Films by Detecting High-Order Nonlinear Permittivity Using Scanning Nonlinear Dielectric Microscopy - Koichiro Honda, Yasuo Cho - 2012 - 3 ページ	高次非線形誘電率項を計測することにより高分解能に SiO <sub>2</sub> -SiN-SiO <sub>2</sub> 膜中に蓄えられた電子が可視化できる報告である。	4
8	Interfacial Charge States in Graphene on SiC Studied by Noncontact Scanning Nonlinear Dielectric Potentiometry - Kohei Yamasue, Hirokazu Fukidome, Kazutoshi Funakubo, Maki Suemitsu, Yasuo Cho - 2015 - 5 ページ	新開発の非線形誘電率顕微鏡の一種である走査型非線形誘電率ポテンシオメトリ法を用いて、SiC 基板とグラフェンの境界の電子状態を原子分解能で明らかにし、グラフェンの移動度が上がらない原因を特定した。	3
9	Atomic-dipole-moment induced local surface potential on Si(111)-(7 x 7) surface studied by non-contact scanning nonlinear dielectric microscopy - Kohei Yamasue, Masayuki Abe, Yoshiaki Sugimoto, Yasuo Cho - 2014 - 5 ページ	アトムトラッキング法を非接触走査型非線形誘電率顕微鏡に実装し、原子双極子モーメントが発生している局所表面電位を定量した。	2
10	Electrical conduction in nanodomains in congruent lithium tantalate single crystal - Yasuo Cho - 2014 - 4 ページ	強誘電体記録の記録ビットとなるナノスケールドメイン反転ドットのドメイン壁を流れる微小電流を観測しドメインドットが 100nm 以上の大きさがあればドメイン壁を 40nm 以上小さい場合はドメイン全体に電流が流れることを報告した。	2

### 3. その他、効果・効用等の評価に関する情報

次の(1)、(2)の項目ごとに、該当する内容について具体的かつ明確に記述してください。

#### (1) 研究成果の社会への還元状況（社会への還元の程度、内容、実用化の有無は問いません。）

1においても記したが、平成26年度より国内の主だったハードディスク関連メーカーが主会員（具体的には(株)東芝、(株)HGST ジャパン、TDK(株)、昭和電工(株)、富士電機(株)、HOYA(株)、Marvell、日立金属(株))であるコンソーシアム、情報ストレージ研究推進機構 SRC のメンバーとなり磁気記録を置き換える次世代記録方式として「非線形誘電率顕微鏡を用いた次世代超高密度強誘電体記録」が本コンソーシアムでの正式な研究テーマとして取り上げられることとなった。SRCは産学が互いに協力して、磁気記録における面記録密度を中心とした技術レベルの継続的な向上を図るため、関連する情報ストレージ技術および科学技術分野の研究を活性化し世界をリードする技術を発掘・育成することを目的とするコンソーシアムであるが、磁気記録の記録密度の伸び悩みを解決する次世代技術として強誘電体記録がハードディスク関連メーカーにも深く認知されるに至っている。本コンソーシアムは平成27年7月から米国ASTC(Advanced Storage Technology Consortium)と組織統合し、ワールドワイドにHDD高密度化技術の検討を行うコンソーシアムとして発足することとなりその英語名もASRC(Advanced Storage Research Consortium)と改められ、(本年7月にはSeagateとWestern Digital等の参加が期待されている)、ここでも同様に「非線形誘電率顕微鏡を用いた次世代超高密度強誘電体記録」が研究テーマに取り上げられたことより、国内に留まらず米国にもその活動が認知されるに至っている。

更に(株)HGST ジャパンで強誘電体記録に関する講習会を平成27年3月に行う等、磁気記録を用いたハードディスクドライブ関連企業等への啓蒙活動も積極的に行っている。

## 3. その他、効果・効用等の評価に関する情報（続き）

(2) 研究計画に関与した若手研究者の成長の状況（助教やポスドク等の研究終了後の動向を記述してください。）

一名：研究終了時 東北大学 助教 → 現在 ○○大学 助教 （准教授への昇任審査中）