

令和 5 年 9 月 14 日現在

機関番号：32660

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2020～2022

課題番号：20H02659

研究課題名(和文) 界面ポッケルス効果のメカニズム解明と応用

研究課題名(英文) Study of the mechanism of the interfacial Pockels effect and its application

研究代表者

徳永 英司 (Tokunaga, Eiji)

東京理科大学・理学部第一部物理学科・教授

研究者番号：70242170

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 13,800,000円

研究成果の概要(和文)：電極界面水ポッケルス効果のメカニズム解明と応用展開を目的に研究を実施し、以下の成果を得た。表面プラズモン共鳴ピークのシフトにより銀電極界面水の、表面酸化膜による干渉構造のシフトによりTi電極界面水のポッケルス係数を評価し、ポッケルス係数は貴金属界面水で小さく、酸化膜のできる卑金属界面水では大きいことを示した。この結果はバルク水ポッケルス効果の電極材料依存性とも整合する。また、水より静的誘電率の大きな液体のポッケルス係数を評価し液体の誘電率はポッケルス係数の大きさと相関がないことを示した。界面ポッケルス効果から巨大な光変調信号を取り出せるコヒーレント完全吸収を種々の薄膜で実現した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

空間反転対称性が破れている2つの材料の界面は、電場に比例する屈折率変化であるポッケルス効果(1次の電気光学効果)が起こる必要条件を満たすが、実際に大きなポッケルス効果を発現する条件は未解明である。現在、酸化物透明電極の界面水が実用電気光学結晶よりも桁違いに大きいポッケルス係数を持つことが知られている。金属電極界面水のポッケルス係数が、酸化膜のできる金属で大きいことは水と電極表面の水素結合性の相互作用が重要であることを示唆し、大きな界面ポッケルス効果の条件解明のために意義深い。特にTi電極は酸化膜で保護され耐久性・耐腐食性が高いので、その界面水は紫外用光変調器への実用的可能性がある。

研究成果の概要(英文)：Research was conducted to elucidate the mechanism of the Pockels effect of the electrode interface water and to develop its application. The Pockels coefficients of silver and Ti electrode interface water were evaluated by the shift of surface plasmon resonance peak and by the shift of interference structure due to surface oxide film, respectively, and the Pockels coefficient was shown to be smaller for noble metal interface water and larger for base metal interface water with oxide film. This is consistent with the electrode material dependence of the bulk water Pockels effect. The Pockels coefficients of liquids with larger static dielectric constants than water were also evaluated, and it was shown that the dielectric constant of the liquid does not correlate with the magnitude of the Pockels coefficient. Coherent perfect absorption, which can extract a huge optical modulation signal from the interfacial Pockels effect, was realized in various thin films.

研究分野：光物性 非線形光学

キーワード：ポッケルス効果 水 界面 電気光学効果 プラズモン コヒーレント完全吸収 静的誘電率 イオン液体

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

異なる物質の界面は空間反転対称性が破れているため、1次の電気光学効果であるポッケルス効果(印加電場に比例する屈折率変化 $\Delta n = n_1 F$)が発現可能である。界面ポッケルス効果のうち、水と酸化物透明電極(ITO)の界面の水(電気二重層内の水)が実用化電気光学結晶 LiNbO_3 よりも桁違いに大きなポッケルス係数を持つことが知られていて[1,2]、それを利用した光変調器も実現可能であることが示されている[3]が、ポッケルス係数(n_1 に比例、厳密には当該物質の屈折率 n として $\Delta n_i = n_i - n = -\frac{1}{2} n^3 r_{ij} F_j$ の r_{ij})の値(大きさと符号)を決める物理的機構は不明である。機構解明へのヒントとなる実験結果として、水だけでなくアルコールなどの水素結合性の溶媒で ITO 界面でのポッケルス係数が大きい[4]こと、界面水ポッケルス係数には電極材料依存性があり白金電極の界面水では ITO 界面とくらべて2桁小さく[5]、GaN 電極では ITO 電極の 1/3 程度[6]ということがわかっていて、水素結合による液体分子のネットワークや電極と液体分子の水素結合性の相互作用が重要である可能性が示唆されている。

2. 研究の目的

- (1)金属電極界面水のポッケルス係数を評価する手法を開発し、貴金属から卑金属まで、いろいろな金属電極のポッケルス係数を評価する。
- (2)水のポッケルス係数が液体の中で最大かどうかをポッケルス係数を評価する液体の種類を増やして検証する。
- (3)ポッケルス係数は大きい電極界面近傍の nm スケールの厚さの範囲でしか発生しない電極界面水ポッケルス効果から巨大な信号を取り出す方法としてコヒーレント完全吸収が提案され実証されているが、どのような材料の組み合わせで実現可能か明らかでないのでその条件を検討し実証する。

3. 研究の方法

- (1) 貴金属については、表面プラズモン共鳴を利用する方法を試した。表面プラズモン共鳴は金属と接する誘電体の屈折率変化 n に敏感で、古くから金属界面の微量な化学種を検知するセンサーとして利用されてきた。この特徴を利用して、銀や白金などの貴金属界面に接する誘電体である水の印加電場による屈折率変化を評価できれば界面水ポッケルス効果のメカニズム解明へ大きなヒントになることが期待される。また、近年、この原理を応用したプラズモン光変調器についても多くの研究が行われている。そのほとんどすべてで、金属に接する誘電体として既知の電気光学(ポッケルス)物質が使用されている。この研究に成功すれば、応用的には、表面プラズモンポラリトンと界面水のポッケルス効果という界面の効果のみを利用したユニークな光変調方法を提供できる。具体的には、鋭いプラズモン共鳴が得られる銀を用いてその界面の電気二重層内の水のポッケルス効果によるプラズモン共鳴の電場変調スペクトルシフトを減衰全反射法(クレッチマン配置)で観測した。

電極間にレーザービームを通して交流印加電圧に同期したビーム偏向を測定するバルク水のポッケルス効果[7]は、ビームが電極に触れないにも関わらず界面水ポッケルス効果と同様の電極材料依存性がある(ITO>>Pt)ことや他の証拠から起源は界面水ポッケルス効果であると解釈されている[5]。つまり、バルク水ポッケルス効果では電極自身(空間電荷層)のポッケルス効果が混入せず信号の大きさが界面水ポッケルス係数の大きさを直接反映するので、界面水ポッケルス効果の電極材料依存性を網羅的に調査するのに適している。そこで、種々の卑金属材料を電極として「バルク水のポッケルス効果」の信号の大きさの順序を調べた。

で界面水ポッケルス係数が ITO よりも大きい可能性を示した Ti 電極について、その水中での電場変調反射率変化スペクトルから界面水ポッケルス係数の評価を目指した。

- (2)ITO 電極界面の種々の溶媒のポッケルス係数を、確立している解析法がある液中の ITO の電場変調透過率変化スペクトルから評価した。

- (3)透明基板材料の上にほとんど透明な薄膜を成膜しただけの材料に、基板の側面から側面に小さい入射角で平行白色光を入射し、薄膜内で多重反射(薄膜-空気の界面では全反射)させることで、コヒーレント完全吸収(CPA)を実現できる条件を理論的に導き、3種類の基板と薄膜材料の組み合わせで CPA 現象を実験的に観測することを目指した。

4. 研究成果

- (1) 金属電極界面水のポッケルス係数の評価法の開発

金属界面水のポッケルス効果による表面プラズモン共鳴の電場誘起シフト[8]

金属面垂直交流電場による反射率スペクトル変化 R/R からエネルギーシフトを評価し、既知の銀の誘電率から求めたプラズモン分散曲線の銀と接する誘電体の屈折率依存性と交流インピーダンス法で求めた電気二重層への印加電圧分配比から、ポッケルス係数の大きさを $|r_{33}|=5 \pm 1$ pm/V と評価した。交流電場下での電解質水溶液の電気二重層の厚さ d の評価は難しいが、 d について正確に知らなくても水へのプラズモン侵入長が d よりも大きければ、スペクトルシフトは nd に比例するので、 d への分配電圧 $V(=Ed)$ から $nd/V= n/E$ により信頼できるポッケルス係数の値を見積もれることを示した[注1]。5 pm/V は白金で見積もられていた値とオーダーが一致しており、酸化物や窒化物界面より貴金属界面で水のポッケルス係数が桁違いに小さいことを示している。

成果のまとめ：表面プラズモン共鳴が観測できる金属について、その界面の電気二重層内の水のポッケルス係数を評価する方法を確立し、貴金属界面水は酸化物電極界面水よりも桁違いにポッケルス係数が小さいことを示した。

[注1] プラズモン侵入長 $< d$ では、プラズモンは屈折率変化による位相変化を n に比例して感じるため、 $R/R=C n$ (C 定数)より n が決まり、 $n_1= n/E= nd/V$ で n_1 は d に依存する。一方 $> d$ では、プラズモンは屈折率変化による位相変化を d に比例して感じるため、 $R/R=C nd$ (C 定数)より nd が決まり、 $n_1= nd/Ed= nd/V$ で n_1 は d に依存しない。

バルク水のポッケルス効果の電極材料依存性

過去の結果と の結果から、界面水ポッケルス係数には電極材料依存性(ITO>GaN>>Pt, Ag)があることがわかった。さらに網羅的に電極材料依存性を調べるため、以下の成果を得た。

(a) バルク水ポッケルス効果測定では微小なビーム偏向($\sim 10^{-9}$ rad)を計測するため、Sagnac干渉計による高感度偏向測定法を使うが、レーザー自身の強度ノイズの影響は残っていた。そこでビームを信号光と参照光に分けて差動増幅検出を行うことで、S/Nを約2.7倍改善した。

(b) ITO、鏡面研磨したTi(Ti-A)と鏡面研磨していないTi(Ti-B)、Al、Cu、Fe、Bi、グラファイトについてバルク水ポッケルス効果を測定した。インピーダンス測定によるバルク水分配電圧の評価が不完全だったため、既知のITO電極間バルク水ポッケルス係数に対する相対値として係数を評価した結果、その大きさはTiA>Al>Fe>ITO>Bi>Cu>TiB>>グラファイトの順になることがわかった。グラファイトと同様、表面酸化膜のできないPt、Agでも桁違いに小さく、酸化膜ができる金属・半金属で酸化物ITOに匹敵する大きさを持つことから、界面水ポッケルス係数を決める因子として酸化物表面と水分子の水素結合性相互作用が重要であることが再確認された。成果のまとめ：バルク水ポッケルス効果の測定法を改善し、バルク水ポッケルス係数の電極材料依存性を多くの電極材料を調べて明らかにし、界面水ポッケルス係数が酸化膜のできる金属界面ではITO界面に近い大きさを持つ可能性が示された。

Ti電極と水の界面におけるポッケルス効果

の結果から、Ti電極界面水のポッケルス係数がITO電極よりも大きい可能性が示されたので、表面に酸化膜TiO₂(代表的な光触媒でもある)ができるTi電極について、界面水ポッケルス効果(2V、変調周波数 $f=20$ Hz)を調べた。主な成果は以下のとおりである。

(a) Ti電極の反射スペクトル R は紫外(3.5–4.5eV)に薄い酸化膜の干渉によるdip構造を持つ。多層膜の反射スペクトルの解析から、空气中保管で6nmの酸化膜が、電解質水溶液に浸して電場変調実験をすると最大14nmの酸化膜が形成していることがわかった。

(b) 電場変調反射スペクトル R/R 信号は紫外(3.5–4.5eV)で大きく(0.01)、特徴的な分散型の形状を示した。信号の再現性は高く、酸化被膜つきTi電極が耐食性が高く堅牢であることを示した。

(c) R/R スペクトルは(正電圧印加で)14 nm の TiO_2 層の複素屈折率がレッドシフト(1.5 meV)し、電極界面とバルク水の間には厚さ d で $nd=0.026$ nm ($n > 0$) の屈折率変化がある EDL ができたとするとよく再現でき、等価回路を仮定しての交流インピーダンス測定結果の fitting から求めた EDL への分配電圧から、Ti 電極(酸化膜つき)界面水のポッケルス係数の大きさは約 22 pm/V ($|r_{13}|$) であることがわかった。

(d) 電場変調スペクトル測定用の周波数 f の交流電圧と同時に DC 電圧を印加すると +1V では信号が 3 倍(つまりポッケルス係数の大きさは約 66 pm/V)、-1V では符号が反転し 2~3 倍になった。また、(DC 電圧なしで)同時に TiO_2 のバンドギャップ 3.2 eV を超える波長を含む紫外光を照射すると R/R の符号が反転した。

(e) ポッケルス係数の符号が ITO 界面水と逆であり、かつ DC 電場や紫外光照射で容易に符号反転することがわかった。

成果のまとめ：電場変調反射率変化スペクトル測定による金属電極界面水ポッケルス効果の解析法を開拓して Ti 電極界面水のポッケルス係数を決定し、メカニズム解明につながる多くの実験結果を得た。

(2) 水よりも静的誘電率の大きい溶媒とイオン液体の透明電極界面でのポッケルス効果[9]

電極界面水のポッケルス係数を決定する因子を探るために水以外の特徴的な溶媒のポッケルス係数を評価すること、またその前提としてポッケルス係数の評価の確度をあげるために以下の実験を行い成果を得た。

層内電場 F の正確な評価のための交流インピーダンス法の測定と解析について、電場変調分光測定と同条件になるように白色光を電極に照射しながらインピーダンス測定を行い、さらに電気二重層の等価回路として CPE(constant phase element) と抵抗の並列回路に新たに直列に CPE を追加して等価回路のフィッティング精度を改善し、より正確に層内分配電圧を評価した。結果、酸化物透明電極(ITO)界面の水のポッケルス係数として従来の 200 pm/V に対し 165 pm/V を得た。

水の特徴づけるのは水素結合が強いことと静的誘電率が大きい(80)ことなので、水よりも大きな静的誘電率を持つホルムアミド(FA, 110)、メチルホルムアミド(NMF, 186)と、同類のジメチルホルムアミド(DMF, 37)、そして電解質イオンのみからなる特異な液体であるイオン液体 IL([BMIM][BF₄], 14) の ITO 界面でのポッケルス係数 r_{13} を評価し、水(165), DMF(120), FA(83), NMF(80), IL(55 pm/V) と決定した。結果、静的誘電率の大きさはポッケルス係数の大きさを決める決定的な因子でなく、文献[4]で水、メタノール、エタノール、ジメチルスルホキシドについて得られていた(ポッケルス係数) (水素結合の強さ)/(粘性)というスケール則も適用限界があることがわかった。

成果のまとめ：界面層のポッケルス係数を評価するため層内分配電圧を正確に評価できる等価回路を見出し、種々の特徴的な液体のポッケルス係数を評価した。今回調べた液体と文献[4]で調べられているメタノール、エタノール、DMSO の中で水が最大のポッケルス係数を有している。

(3) 透明薄膜および色素をドープした薄膜のコヒーレント完全吸収の研究[10]

コヒーレント完全吸収(Coherent Perfect Absorption, CPA)とは、ファブリペロー共振器内の(通常は複数の)コヒーレント光ビームの干渉により、吸収を強化することで 100% の吸収が達成される現象で、ほとんど透明な試料や波長よりもずっと薄い試料でも 100% の吸収が実現可能である。しかし、コヒーレントなレーザー光源を用意し、複数ビームを高精度に位置合わせしなければならないという難しさがある。そこで、入射ビーム 1 本によるシングルチャンネル CPA(SCCPA)の可能性を追究し、透明基板上の透明材料薄膜で、インコヒーレントなランプ白色光源と全反射に

よるこれまでで最も安価で簡便な CPA を実現した[注 2]。主な成果は以下の通り。

全反射を利用した SCCPA の必要条件 n_1 (薄膜) $> n_0$ (基板) $> n_2$ (周囲媒体)を導出。ここで、薄膜のみが吸収を持つ($n_1 = n + i\kappa, \kappa \ll 1$)としている。

条件を満たす 4 種類の透明試料を作成・準備(薄膜の厚さ 300-1500 nm)。

dip コーティングで作成した MgF₂ 基板上的 PVP 膜(厚さ 1480 nm, $\kappa \approx 0.002$)の CPA 観測で約 90%の最大ディップを検出。

側面を研磨した市販の ITO 電極(ガラス基板 + ITO 薄膜 厚さ 280 nm $\kappa \approx 0.01$)でも 90%の CPA dip を観測。

で PVP 膜にポルフィリン分子 TPPS をドーブした試料を作成し、TPPS J 会合体と CPA の吸収ピークが一致して 0.161eV の巨大な真空の Rabi 分裂を観測。高反射構造を作りこむことなく、透明基板上的色素ドーブポリマー膜という構造で実現。

透明度が高い($\kappa \approx 0.0001$ 、厚さ 1020 nm)水面上のシリコンオイル薄膜において液体で初めての CPA 現象を観測。

上記のすべての実験結果をよく知られた単層膜の反射率のフレネルの公式と(色素ドーブの場合)ローレンツモデルによって垂直入射の透過率を再現するように複素屈折率を決定することで計算で再現。

バルクで等方的材料でも、薄膜では屈折率の面内方向と面直方向の異方性があることを PVP 膜とシリコンオイルの CPA において観測。特に後者では屈折率が異方的であるために s、p 偏光の CPA ディップの波長の相対位置が逆転する現象を発見。成果のまとめ：透明基板(水も含む)上の透明薄膜だけの構造で SCCPA と真空の Rabi 分裂の観測を実現した。これにより、種々の透明材料間の界面ポッケルス効果から巨大な信号を取り出すことができる可能性が拓けたと考えられる。

[注 2]白色光源に輝点が $\sim 100 \times 200 \mu\text{m}^2$ のレーザー駆動 Xe ランプを用いて、比較的上質の平行白色光ビームを作成できたことが成功の鍵だった。

参考文献

- [1] E. Tokunaga et al., Pockels effect of water in the electric double layer at the interface between water and transparent electrode, Surf. Sci. 601, 735-741 (2007).
- [2] Y. Nosaka et al., Gigantic optical Pockels effect in water within the electric double layer at the electrode-resolution interface, Phys. Rev. B 77, 241401(R)-1~4 (2008).
- [3] D. Hayama et al., Giant Pockels effect in an electrode-water interface for a "liquid" light modulator, OSA Continuum 2, 3358-3374 (2019).
- [4] H. Kanemaru et al., Giant Pockels effect of polar organic solvents and water in the electric double layer on a transparent electrode, RSC Advances 7, 45682 - 45690 (2017).
- [5] S. Yukita et al., Mechanisms of the anomalous Pockels effect in bulk water, Opt. Rev. 25, 205-214 (2018)
- [6] H. Kanemaru et al., Electrooptic effect of water in the electric double layer at the interface of GaN electrode, Opt. Rev. 17, 352 (2010).
- [7] S. Yukita et al., Deflection switching of a laser beam by the Pockels effect of water, Appl. Phys. Lett. 100, 171108-1~3 (2012).
- [8] Y. Nishi et al., Electric-Field Induced Shift in the Plasmon Resonance Due to the Interfacial Pockels Effect of Water on a Silver Surface, Appl. Sci. 11, 2152 17pages (2021).
- [9] A. Okada et al., Interfacial Pockels Effect of Solvents with a Larger Static Dielectric Constant Than Water and an Ionic Liquid on the Surface of a Transparent Oxide Electrode, Appl. Sci. 12, 2454 12pages (2022).
- [10] M. Hasegawa et al., Coherent Perfect Absorption in a Transparent Polymer Film on a Transparent Substrate Utilizing Total Internal Reflection by Grazing Incidence, Appl. Sci. 12, 3633 11pages (2022).

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計4件（うち査読付論文 3件/うち国際共著 3件/うちオープンアクセス 3件）

1. 著者名 Yurina Nishi, Ryosuke Watanabe, Subaru Sasaki, Akihiro Okada, Keisuke Seto, Takayoshi Kobayashi and Eiji Tokunaga	4. 巻 11
2. 論文標題 Electric-Field Induced Shift in the Plasmon Resonance Due to the Interfacial Pockels Effect of Water on a Silver Surface	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Applied Sciences	6. 最初と最後の頁 2152 1-17
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.3390/app11052152	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 Akihiro Okada, Takayoshi Kobayashi, and Eiji Tokunaga	4. 巻 12
2. 論文標題 Interfacial Pockels Effect of Solvents with a Larger Static Dielectric Constant Than Water and an Ionic Liquid on the Surface of a Transparent Oxide Electrode	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Applied Sciences	6. 最初と最後の頁 2454 1-12
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.3390/app12052454	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 Mayu Hasegawa, Junpei Oi, Kyohei Yamashita, Keisuke Seto, Takayoshi Kobayashi, and Eiji Tokunaga	4. 巻 12
2. 論文標題 Coherent Perfect Absorption in a Transparent Polymer Film on a Transparent Substrate Utilizing Total Internal Reflection by Grazing Incidence	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Applied Sciences	6. 最初と最後の頁 3633 1-11
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.3390/app12073633	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 徳永英司	4. 巻 33巻 4号
2. 論文標題 水を利用した光変調器	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 光アライアンス	6. 最初と最後の頁 16-20
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 無
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 -

〔学会発表〕 計17件（うち招待講演 1件 / うち国際学会 3件）

1. 発表者名 西友里奈, 瀬戸啓介, 渡辺良祐, 小林孝嘉, 徳永英司
2. 発表標題 プラズモン共鳴による金属界面の水の屈折率変化と絶対屈折率の高感度計測
3. 学会等名 日本物理学会2020年秋季大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 藤川 紘貴, 岡田 章宏, 千万 大道, 瀬戸 啓介, 雪田 俊平, 小林 孝嘉, 徳永 英司
2. 発表標題 バルク水ポッケルス効果の金属電極の表面状態依存性
3. 学会等名 日本物理学会2020年秋季大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 岡田章宏, 瀬戸啓介, 小林孝嘉, 徳永英司
2. 発表標題 水/有機溶媒混合系の電極界面における屈折率変化と混合順序への依存性
3. 学会等名 日本物理学会第76回年次大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 谷本志王, 小倉慎太郎, 岡田章宏, 藤川紘貴, 小林孝嘉, 徳永英司
2. 発表標題 Ti電極界面水におけるポッケルス効果
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 長谷川真優, 大井淳平, 山下恭平, 瀬戸啓介, 小林孝嘉, 徳永英司
2. 発表標題 透明基板上的透明ポリマー膜のコヒーレント完全吸収の観測
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 藤川 紘貴, 千万 大道, 瀬戸 啓介, 雪田 俊平, 小林 孝嘉, 徳永 英司
2. 発表標題 バルク水ポッケルス効果の金属電極の材質依存性
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 長谷川真優, 大井淳平, 山下恭平, 瀬戸啓介, 小林孝嘉, 徳永英司
2. 発表標題 白色光源を用いた透明電極のコヒーレント完全吸収の観測
3. 学会等名 日本物理学会 第77回年次大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 谷本志王, 岡田章宏, 藤川紘貴, 小林孝嘉, 徳永英司
2. 発表標題 Ti電極界面水におけるポッケルス係数の測定
3. 学会等名 日本物理学会 第77回年次大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 藤川紘貴, 岡田 章宏, 瀬戸啓介, 小林孝嘉, 徳永英司
2. 発表標題 バルク水ポッケルス効果による種々の金属電極界面水のポッケルス係数の大きさの比較
3. 学会等名 日本物理学会 第77回年次大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 岡田章宏, 瀬戸啓介, 小林孝嘉, 徳永英司
2. 発表標題 イオン液体-ITO電極界面におけるポッケルス効果
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 長谷川真優、大井淳平、山下恭平、瀬戸啓介、小林孝嘉、徳永英司
2. 発表標題 全反射を利用した透明薄膜のコヒーレント完全吸収の観測
3. 学会等名 日本物理学会 2022 年秋季大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 谷本志王, 岡田章宏, 小林孝嘉, 徳永英司
2. 発表標題 Ti電極界面水におけるポッケルス効果の電圧依存性
3. 学会等名 日本物理学会 2022 年秋季大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 一宮伴成, 岡田章宏, 藤川紘貴, 小西由利恵, 小林孝嘉, 徳永英司
2. 発表標題 Cu電極界面水におけるポッケルス効果
3. 学会等名 日本物理学会 2022 年秋季大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 岡田章宏, 小林孝嘉, 徳永英司
2. 発表標題 ITO電極界面の液体ポッケルス効果のDC電圧依存性とその利用
3. 学会等名 日本物理学会 2023年春季大会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Akihiro Okada, Takayoshi Kobayashi, Eiji Tokunaga
2. 発表標題 Observation of Pockels effect of an ionic liquid in the electric double layer and estimation of its size
3. 学会等名 The 15th Asia Pacific Physics Conference (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Mayu Hasegawa, Junpei Oi, Kyohei Yamashita, Keisuke Seto, Takayoshi Kobayashi, Eiji Tokunaga
2. 発表標題 Observation of coherent perfect absorption in transparent thin films using a white light source
3. 学会等名 The 15th Asia Pacific Physics Conference (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 M. Hasegawa, J. Oi, K. Yamashita, K. Seto, E. Tokunga, T. Kobayashi
2. 発表標題 Observation of coherent perfect absorption in transparent thin films using a white light source
3. 学会等名 European Congress on Laser, Optics and Photonics (Laser Optics 2022) (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2022年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔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

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