

研究種目：基盤研究(A)

研究期間：2007～2010

課題番号：19206034

研究課題名(和文)

MDC・SHG測定を用いたフレキシブルな界面分子膜の誘電物性評価と量子的形状制御

研究課題名(英文)

Evaluation of flexible interfacial monolayer on the basis of MDC-SHG measurement and its shape control

研究代表者 岩本 光正(イワモト ミツマサ)

東京工業大学・大学院理工学研究科・教授

研究者番号：40143664

研究代表者の専門分野：誘電体物性、有機エレクトロニクス

科研費の分科・細目：電気電子工学・電子・電気材料工学

キーワード：マックスウェル変位電流、柔構造有機分子膜、光第2次高調波発生、有機デバイス、キラリティー、単分子膜ドメイン、キャリア伝導

1. 研究計画の概要

フレキシブルな有機デバイスの動作機構を理解し、新しい有機材料の機能を追及するためには、分子形状の特徴、フレキシブル性、界面で発生する特異的な電気現象を総合的に取り扱う必要がある。けれども、これらに総合的に目を向けた学術的な研究は本格化していない。有機材料のフレキシブル性に関する物理を究め、分子幾何形状に起因して発生する特異的な界面物性を制御し、これを有機電子デバイス物理・工学へと展開してゆくための学術分野の開拓が、国内外で待望されている。このような状況を踏まえ、(i)分子形状、(ii)フレキシブル性、(iii)界面誘電分極現象、という3つの特異性を念頭に柔構造有機分子膜を総合的に取り上げ、「誘電現象計測による有機ナノ界面のフレキシブル性と界面電気現象との関係の評価」、「有機フレキシブルナノ界面の電子構造と量子的なドメイン形状の制御」、「有機FET構造を用いた柔構造分子膜素子の伝導特性評価と有機量子形状効果素子の試作・特性評価」という研究を実施する。最終的には、誘電体物性工学の立場から、フレキシブルな有機素子の特性評価をするための工学的手法の確立を目的とする。

2. 研究の進捗状況

水面上単分子膜のドメイン可視化システム構築と、量子的なドメイン形状制御に関する研究から着手し、キラル棒状分子(DPPC)からなる単分子膜が、分子のキラリティーに依存したドメインを形成することを実験的に確か

めた。この結果については、ドメインから発生する電気四重極子密度が、ドメイン形状のキラル依存性に重要な役割を果たすことを理論的に示した。また、Brewster角反射光測定法(BAM)の偏光測定を可能にし、これをSHG及びMDC測定装置と組み合わせることで、膜構造を総合的に評価できるシステムを構築することができた。さらに、キラル棒状分子からなる単分子膜が、電荷による静電的な相互作用が膜構造に及ぼす影響に関する検討や、形状方程式を拡張する試みとして、マックスウェル応力を考え、これがドメイン形成に重要な役割を果たしていることを明らかにした。

一方で、デバイス中の電界分布を顕微SHG法によって測定するシステムを構築し、FETのOFF時を含めた定常動作時のさまざまな状態における電界分布評価を行った。さらに、時間分解計測が可能となるように拡張することで、デバイス中をキャリアが流れる様子を直接観測することに成功した。この結果については、定常状態において観測される電界分布を詳細に検討し、等価回路モデルによりその分布を説明できることを示した。その上で、この測定を利用して材料中の移動度や電極界面での接触抵抗を評価できること、トラップなどの寄与も分離して評価できることなどを示した。現在、有機ELなどの縦型デバイスにおいてもSHG測定を試み、界面における電荷蓄積や内部電界の変化について、Maxwell-Wagnerモデルによる解析と良く一致することを示すことができた。

3. 現在までの達成度

①当初の計画以上に進展している。

現在まで、計画通りに進捗している。当初計画では、誘電分極の立場から双極子分極による分極構造の評価と、有機デバイス中のキャリア挙動を Maxwell-Wagner 効果に基づく界面分極として扱い、その様子を SHG でプローブすることを基本に据えていた。すなわち、定常状態の解析がその主なものである。けれども、この基本的な目的が 100%達成できる見込みが立ったことに加え、今回、両者のダイナミクスが可視化できるという目覚ましい成果を得ることができた。この観点から考えると、当初計画よりも新たな進展があったと言える。

4. 今後の研究の推進方策

新たな進展のあったダイナミクスが可視化に関して、デバイス中のキャリア輸送の素過程、さらに量子的形状の動的変化など、フレキシブルな構造をもつ有機電子材料の物理を探求し、フレキシブルな有機素子の評価・解析するための手法を確立するためにより相応しい状況となったと考える。引き続き、従来の研究を継続するとともに、ダイナミクスを加えた検討を推進する。また、本年度は最終年度であるため、研究のまとめと総括をする。

5. 代表的な研究成果

(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 9 5 件)

- ① D. Taguchi, S. Inoue, L. Zhang, J. Li, M. Weis, T. Manaka, M. Iwamoto, “Analysis of Organic Light-Emitting Diode As a Maxwell-Wagner Effect Element by Time-Resolved Optical Second Harmonic Generation Measurement“, *Journal of Physical Chemistry Letters*, Vol.1, No. 5, pp. 803-807, (2010), 査読有.
- ② T. Yamamoto, T. Manaka and M. Iwamoto, “Electrostatic origin of the Frank elastic energy and anisotropic line tension of the domains in monolayers at the air-water interface“, *The European Physical Journal E*, Vol. 29, pp.1-8, (2009), 査読有.
- ③ M. Iwamoto, T. Yamamoto, F. Liu and Z.-C. Ou-Yang, “Shear-induced domain deformation in a tilted lipid monolayer: From circle to ellipse and kinked stripe“, *Physical Review E*, Vol. 78, p. 051704 [7 pages], (2008), 査読有.
- ④ E. Lim, T. Manaka and M. Iwamoto, “Analysis of pentacene field-effect transistor with contact resistance as an element of a

Maxwell-Wagner effect system“, *Journal of Applied Physics*, Vol. 104, p. 054511, (2008), 査読有.

- ⑤ T. Manaka, E. Lim, R. Tamura, M. Iwamoto, “Direct imaging of carrier motion in organic transistors by optical secondharmonic generation“, *Nature Photon.*, Vol. 1, Issue 10, p. 581, (2007), 査読有.

[学会発表] (計 1 0 4 件)

- ① M. Iwamoto, “Probing and modeling of carrier motion in organic materials by optical second harmonic generation and Maxwell’s displacement current“, 3rd International Advanced School: Molecular Switching and Functional Materials, 2009年10月27日, (Rennes, France) .
- ② M. Iwamoto, “Probing and Modeling of Carrier Motion in Organic Field Effect Transistors by Optical Second Harmonic Generation“, International Meeting on Frontiers of Physics (IMFP2009), 6PL02, 2009年1月15日, (Awana Genting, Malaysia) .
- ③ M. Iwamoto, “Probing and modeling of carrier transport in organic transistor by optical second-harmonic generation“, 11th International Conference on Electrical and Related Properties of Organic Solids, IL-09, 2008年7月15日, (Piechowice, Poland) .
- ④ M. Iwamoto, T. Manaka, and T. Yamamoto and Takahiro Aida, “Probing and modeling two-dimensional shape of monolayers at the air water interface“, 11th European Conference on Organized Films, L-28, 2008年7月11日, (Potsdam, Germany) .
- ⑤ M. Iwamoto, T. Manaka, E. Lim, R. Tamura, “Direct Probing of Surface Polarization in Organic Molecular Films by Maxwell-Displacement current and Electric Field Induced Optical Second Harmonics Generation“, American Chemical Society 234th National Meeting, COLL-0451, 2007年8月22日, (Boston, USA) .

[図書] (計 5 件)

- ① M. Iwamoto, T. Manaka, E. Lim, “Surface Second Harmonic Generation and Sum-Frequency Generation“, *Encyclopedia of Applied Spectroscopy* (Ed. D.L. Andrews), Wiley-VCH, Germany, pp. 817-832, 2009.
- ② 岩本光正、工藤一浩、小野田光宣、杉村明彦、間中孝彰他、*柔構造有機エレクトロニクス* (分担著書), 電気学会編, オーム社, 2007. 2 5 頁