

岩本光正 「有機分子エレクトロニクス材料の評価技術の開拓」.

IWAMOTO Mitsumasa

「Development of Evaluation Method for Organic Molecular Materials Electronics」



1.略歴 1952 1月21日生 (長野県)

1975 東京工業大学 電気工学科卒(工学士)

1981 東京工業大学 大学院理工学研究科 電気工学専攻
修了(工学博士)

1981 東京工業大学 工学部教務職員(技官)・助手(1982)

1986 東京工業大学 工学部 助教授

1995-2017 東京工業大学 教授 (2017 名誉教授)

2017-2022 東京工業大学 特任教授 (教育・国際連携本部)

(東工大-清華大学合同大学院プログラム教授 中国 清華大学海外専門教授),

その他：中国 科学院研究所招聘教授(2017-2020), マラヤ大学 Academic Icon (2013-16),

External examiner (2010-13, 2017-), マレーシア UCSI 客員教授 (2021-) など,

2.受賞 (主なもの) :

電気学会学術振興会論文賞(1985), 日本素材物性学会山崎賞(1990), 応用物理学会論文賞 A (1991), 電子情報通信学会エレクトロニクスソサイエティ賞(2001), 応用物理学会フェロー(2010), 電子情報通信学会フェロー(2010), 応用物理学会 M&B 業績賞(2015), 電気学会フェロー(2019), 電気学会 家田賞(2019), 応用物理学会功労会員 (2021)

3. 要約 :

電気絶縁材料にみられる電子事象は複雑である。岩本は、電気絶縁材料内のキャリア挙動についてイオンホッピングのモデルで数値解析法を提案し、その電導機構を解析する方法を確立した。そして、この研究をベースに、分子とエレクトロニクスを結ぶ研究(有機エレクトロニクス)に挑戦した。具体的には、誘電体・絶縁体物性工学を基礎に、有機分子材料の評価技術の確立、有機分子特有な物理現象の検出とそのエレクトロニクス応用など、有機分子材料エレクトロニクス分野の進展に必要な不可欠な研究を行った。誘電体・絶縁体物性工学の立場から研究を推進した点に特徴があり、世界初となる独創的な研究成果に結んだ。

4. 研究成果の学術的・社会的インパクト

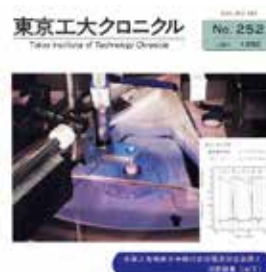
電気材料の誘電的性質の理解には「分極」についての深い洞察が必須である。分子レベルでその意義を見出し、有機分子エレクトロニクスと結ぶためには、有機超薄膜作製技術に加え、キャリアの輸送や蓄積などの物理現象を観測・評価する技術が必要になる。「分極とは何か」を分子レベルで問うなかで、界面単分子膜内の双極子回転の様子をマックスウェル変位電流（MDC）によって評価する方法[1]、有機超薄膜のナノ界面分極構造の評価法[2]、有機薄膜や有機デバイス内を運動する電子や正孔の輸送過程を電界誘起光第 2 次高調波（EFISHG）法によって可視化して評価する手法[3]、Maxwell-Wagner 効果素子として有機トランジスタを解析する方法[4]、ポリイミド有機超薄膜の帯電現象やトンネル現象の実証や解析法などを考案した[5]。以上のように、「有機超薄膜の誘電・絶縁体物性」の視点から、新しく始まった有機エレクトロニクス分野の研究を先導した[6,7]。

4.1. ホッピング法による絶縁体中のキャリア輸送解析

絶縁材料内部の荷電粒子の挙動を解析する方法として、イオンホッピングの機構をモデルとする積分法的な手法を提案した[8]。電気絶縁材料の複雑な電気特性の主因である空間電荷分極の効果を考慮した解析が可能となり、界面電荷・トラップ電荷やイオン電荷などの挙動と電気特性の関係が理論的・実験的に扱えるようになった。

4.2. 水面上単分子膜のマックスウェル変位電流と分子スイッチング現象の計測

分子レベルでの「分極の計測」の立場から、界面単分子膜の自発分極に着目し、水面上に展開された分子膜の双極子能率[1]や、シス-トランス光異性化などの分子レベルの構造変化（光分子スイッチング、界面膜相転移現象）[9]をマックスウェル変位電流(MDC)として観測可能なことを世界で初めて実証した。



水面上有機単分子膜の変位電流測定装置及び測定例 [9,10]

4.3. 界面分子膜の分極構造と誘電的性質

「分極の構造評価」の立場から、界面膜で特異的に現れる非線形分極をSHG、線形分極評価をブリュスター角顕微（BAM）プローブで計測可能であることを示した。また、界面膜の自発分極、線形分極、非線形分極を結ぶコンセプトは、オーダーパラメータの概念であると提唱し、このコンセプトに基づき、MDC、SHGを用いて界面膜の分極構造を明らかにした[2,11]。

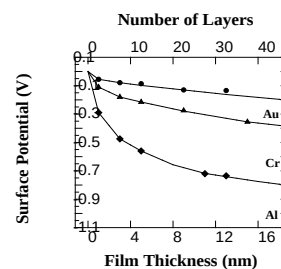
4.4. 界面分子膜の量子的なドメイン形状変化と Maxwell-静電応力効果の関係性

「分極構造の制御」の立場から、MDC-SHG 法に BAM 法を加えた計測システムを構築し、単分子膜の分極の計測とそのドメイン構造の可視化に成功した。ドメイン形状が、円形、双

葉、三つ葉型などへと、量子的に形状変化するという実験事実を検証し、これらの量子的形状が双極子エネルギー（分極の効果）により安定に存在することなどを、微分幾何学を用いてドメイン形状方程式を導出し証明した[12]。また、量子的な形状の制御は、マックスウェル静電応力の線張力への変換であることを明らかにした[13]。

4.5. 絶縁性超薄膜のトンネル伝導とナノ界面の帯電構造

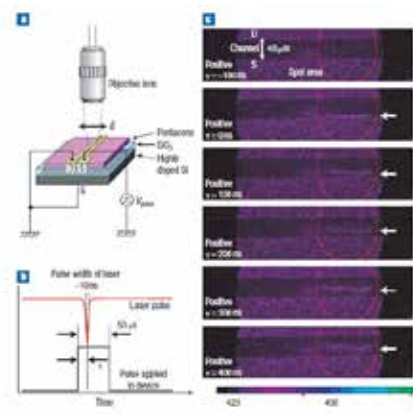
「分子膜の電気伝導評価」の立場から、ポリイミド LB 膜（単層膜厚 0.4nm）の作製法を見出し、トンネルスペーサとしての機能をジョセフソン素子特性により世界で初めて実証した[5,14]。また膜内に機能分子を導入し、極限の静電気現象として単一電子トンネル特性なども示した。さらに、「界面電子構造評価」の立場からは、ポリイミド膜や有機半導体性の膜では界面数 nm 領域で発生する過剰電荷移動による帯電現象を表面電位法などにより実証した[15]。また、これらの結果を用い、界面電子的構造（空間電荷分布とエネルギー分布）の決定法や、表面フェルミ準位モデルを用いた界面帯電状態の解析法を提案した[16]。



ポリイミド LB 超薄膜の表面電位の金属依存性 [15]

4.6. 有機薄膜を移動する電荷の可視化技術

「有機膜内の電界評価」の立場からは、過剰電荷より発する電界により分子の電子雲が歪んで非線形分極現象が誘発されるという事実を電界誘起 SHG(EFISHG)で示した。そして、EFISHG 法により、膜内に形成される電界（外部電界、トラップ、注入キャリアなどによる電界）の評価、さらに時間分解測定を用いれば、動的なキャリア挙動の観測と評価が可能であることを示した。[3,17]。



EFISHG によるキャリア輸送の可視化[17]

4.7. 有機電子素子内の電界分布と特性評価

「有機素子の特性評価・新機能」の立場から、誘電体物性評価手法を基礎として、注入型有機デバイス（有機 FET, 有機 EL デバイスなど）について、マックスウェル・ワグナー（MW）効果素子（界面分極型素子）としての解析評価法を提案した[4]。また、EFISHG を用いて有機太陽電池の電界分布（電界分布）に注目し寿命評価装置を試作、さらに、TENG（ナノ摩擦発電）の発生起源（双極子回転、ナノトラップ）を特定する方法などを示した（著書(2)）。

5. 学会・社会活動（主なもの）：

応用物理学会理事(2007,2008), 同評議員(2009-2011), 同学会 M&BE 分科会幹事長(2005, 2006), 電子情報通信学会有機エレクトロニクス研究会委員長(1993-1995), 同研究会顧問(2001-), 電気学会A部門役員(2001-2003), 同調査専門委員会委員長(1993-2016 多数), 内閣府 最先端研究開発支援プログラム外部評価委員会委員(2012,2013), 同評価小委員会主査(2014), 経済産業省 日本工業標準調査会 標準部会 電気技術専門委員会委員(2011-20), 日本規格協会 (JSA) 電気分野産業標準作成委員会委員(2018-21)委員長同(2022 から), 日本学術振興会センター専門委員(2013- 2016)などとして活動。

また国際会議委員長(ICNME 7 回, M&BE1 回, IDCNICE 7 回)、Association of Asia Pacific Physical Societies の編集員(2011-2014)や同顧問委員(2014-2017), 欧文科学雑誌(Thin Solid Films 7 回, Jpn.J.Appl.Phys1 回など)や国内学会論文誌の Guest Editor など。

6. 特記事項：岩本は、20世紀後半より台頭してきた「有機エレクトロニクス」分野を牽引し、学術分野・人材育成に尽力した。国際共同研究を活発に行い、研究室には多数の海外からの客員研究員やPDが滞在した。また、国内外に数多くの博士課程修了者(26名)が巣立った。その一方で、全国の大学に先駆けて東工大と清華大学の間ではじめて大学院合同プログラム(ダブルデグリー)の運営に企画段階より参画した。また、これらと並行して、高校生の科学技術コンテストの委員(2002より)・委員長(2016から)としても活動し、若い世代の科学技術への啓蒙活動にも力を入れている(JSEC:高校生・高専生科学技術チャレンジ <http://manabu.asahi.com/jsec/>)。また、中等教育における研究倫理に関する教材作成にも分科会委員長(2018から)として取り組んでいる(公正研究推進協会(APRIN) <https://www.aprin.or.jp/e-learning/rse> (中等教育向け教材))。

参考文献

- 1.岩本光正, 真島 豊: 変位電流による水面上単分子膜の評価 (研究紹介) 応用物理 59 pp.1346-1352 (1990).
- 2.岩本光正、間中 孝彰, 遠島 淳(研究紹介) 変位電流・光第2次高調波発生による有機単分子膜の評価 応用物理 71, pp.1502-1508 (2002)。
- 3.岩本光正, 間中孝彰:(最近の展望), 「SHGを用いた有機エレクトロニクスデバイスのキャリヤダイナミクス解析」 応用物理, Vol.82, No.6, pp.487-492 (2013)
- 4.R. Tamura, E. Lim, T. Manaka, M. Iwamoto, "Analysis of pentacene field effect transistor as a Maxwell-Wagner effect element", J. Appl. Phys., 100(11), 114515, (2006)
- 5.M.Iwamoto and M.Kakimoto, *Polyimides as Langmuir-Blodgett Films*, pp.815-884 (M.K.Ghosh and K.L.Mittal ed., *Polyimides*, Marcel Dekker, Inc, New YORK, 1996)
6. M. Iwamoto, T. Manaka, and D. Taguchi: (Topical Review Paper, invited) "Modeling and visualization of carrier motion inorganic films by optical second harmonic generation and Maxwell-

displacement current”, J. Phys. D: Appl. Phys., Vol.48, pp.373001/1-20 (2015).

7. 応用物理学会 75 周年記念事業：暮らしを支える科学と技術展：先端技術講演会：テーマ：光とナノ材料で一般向け講演「分子膜の誘電現象～計測と新機能発現」2007. 8.3).

8. 岩本 日野「ホッピングモデルによるイオン空間電荷分極の理論解析」電気学会誌 A, 103-A, p.395 (昭和 58, 1983) (電気学会学術振興賞論文賞).

9. M. Iwamoto, Y. Majima, H. Naruse, T. Noguchi, H. Fuwa, "Generation of Maxwell displacement current across an azobenzene monolayer by photoisomerization", Nature, 353(6345), 645-647, (1991).

10. 東工大クロニクル No.252 「光電変換可能な有機単分子膜素子」(1992)

11. A.Tojima, T. Manaka, M. Iwamoto, "Orientational order study of monolayers at the air-water interface by Maxwell-displacement current and optical second harmonic generation", J. Chem. Phys., 115, 9010-9017, (2001).

12. M. Iwamoto, ZC. Ou-Yang, "Shape deformation and circle instability in two-dimensional lipid domains by dipolar force: a shape- and size-dependent line tension model", Phys. Rev. Lett., 93(20), 206101-206104, (2004).

13. T.Yamamoto, D.Taguchi, M.Weis, T. Manaka, and M.Iwamoto, Electrostatic Maxwell stress model of the shapes of condensed phase domains in monolayers at the air-water interface, J. Chem. Phys. **128**, 204706-1-21(2008).

14. M. Iwamoto, T. Kubota, M. Sekine, "Electrical properties of polyimide Langmuir-Blodgett films deposited on noble metal electrodes" J. Phys. D: Appl. Phys. 23(5), pp.575-580, (1990).

15. M. Iwamoto, A. Fukuda, E. Itoh, "Spatial distribution of charges in ultrathin polyimide Langmuir-Blodgett films." J. Appl. Phys., 75(3), pp.1607-1610, (1994)

16. E. Itoh, M. Iwamoto, "Electronic density of state at metal/polyimide Langmuir-Blodgett film interface" Appl. Phys. Lett., 68(19), pp.2714-2716, (1996)

17. T. Manaka, E.Lim, R.Tamura, M. Iwamoto, "Direct imaging of carrier motion in organic transistors by optical second harmonic generation", Nat. Photonics, 1(10), 581-584, (2007).

著書（代表的なもの）

(1).M.Iwaoto and C.X.Wu, The Physical Properties of Organic Monolayers”, 200 pages, World Scientific, Singapore 2001). (2). M. Iwamoto and D. Taguchi: “Maxwell Displacement Current and Optical Second Harmonic Generation in Organic Materials : Analysis and Application for Organic electronics”, 407 pages, World Scientific, Singapore (2021). (3). 岩本光正 よくわかる電気電子物性 オーム社 (1995); 基本を学ぶ電気電子物性 オーム社 (2011). (4)岩本光正, 田口大: 「熱刺激電流による電気電子材料評価 -基礎と応用-」 コロナ社 (2014)

(2022-10-03 談)