

令和 4 年 5 月 7 日現在

機関番号：24506

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2018～2021

課題番号：18K05064

研究課題名(和文)蓄積電荷測定法による有機/金属界面の電荷注入障壁測定

研究課題名(英文) Determination of charge injection barriers in organic semiconductors

研究代表者

田島 裕之(Tajima, Hiroyuki)

兵庫県立大学・理学研究科・教授

研究者番号：60207032

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,400,000円

研究成果の概要(和文)：蓄積電荷測定法(ACM)は、電極1(M1)、絶縁体(Ins)、有機半導体(OS)、電極2(M2)からなるMIOM接合の電子構造を調べる実験手法である。この手法は申請者が2016年度に初めて報告した。本研究は、この手法を実験、理論の双方で発展させることを目的とした。申請者はMIOM接合における電荷抽出プロセスには、熱平衡(TE)型と非熱平衡(NTE)型の両方があることを明らかにした。前者では電荷の抽出はIns/OS界面とOS/M2界面の両方で同時に起こる。一方で後者ではOS/M2界面での抽出が終わった後で、Ins/OS界面での電荷抽出が起こる。ACMの実験ではNTE型の電荷抽出の方が都合が良い。

研究成果の学術的意義や社会的意義

有機薄膜デバイス作成においては、金属/有機半導体あるいは絶縁体/有機半導体等、種々の界面の物性を理解する必要がある。しかしながら、このような実験を系統的に行う実験手法は、光電子分光測定等、分光的手法に限定されており、実デバイスを用いた実験手法は報告されていなかった。本研究は実デバイスを用いた新しい実験手法の開発に関連するものであり、今後の有機薄膜デバイス作成に大きな影響を与えることが期待される。

研究成果の概要(英文)：Accumulated charge measurement (ACM) is an experimental technique for studying the charge injection and extraction process in the MIOM junction comprising metal electrode 1(M1), insulator(Ins), organic semiconductor(OS), metal electrode 2(M2). This technique was reported by the author for the first time in 2016. The aim of this project is to develop this technique based on experimental and theoretical studies. In this project, the author clarified that there are two types of charge extraction processes in the MIOM junctions. In the thermal equilibrium (TE) process, charge evacuation simultaneously occurs at the Ins/OS and OS/M2 boundaries. On the other hand, in the non-thermal equilibrium (NTE) process, charge evacuation at the OS/M2 boundary occurs in the first step, followed by charge evacuation at the Ins/OS boundary in the second step. To evaluate the injection barrier at the OS/M2 interface based on ACM, NTE process is more convenient than TE process.

研究分野：有機電子物性

キーワード：蓄積電荷測定法 電荷注入障壁 ACM 有機デバイス 有機FET フタロシアニン ペンタセン

1. 研究開始当初の背景

有機薄膜デバイスにおいては、金属(M)/有機半導体(OS)あるいは絶縁体(Ins)/OSなど様々な接合界面の示す物性を制御することは不可欠であるにもかかわらず、界面電子構造に関する理解は未だに不足している。例えば、M/OS界面に存在する正孔注入障壁は、UPSなどの光電子分光を用いて金属電極の仕事関数(Φ_m)とOSのイオン化ポテンシャル(I)を独立に求め、モットーショットキー則($I-\Phi_m$)により、通常間接的に割り出している(図1a)。UPSの実験では真空準位のエネルギーをイオン化ポテンシャルとは独立に求めることもできるので、OSの薄膜を蒸着させながら正孔注入障壁を決定することもできる。この場合、大きな真空準位シフト(図1の Δ)がおり、正孔注入障壁はモットーショットキー則で求められた値と大きく異なる($I-(\Phi_m+\Delta)$)とされている(図1b)。しかしながら、実デバイスを用いて正孔注入障壁を直接決定したという報告はほとんどなく、本当に大きな真空準位シフトが実デバイスで存在するかどうかは明らかでない。

空軌道を対象とする電子注入障壁の場合、空軌道のエネルギー準位(電子親和力: χ)を測定すること自体が難しい。UPSで求めた正孔注入障壁と光吸収スペクトルで求めた光学ギャップ(E_{opt})を使って、 χ を推定することが簡便法として多くの物質で行われているが、 E_{opt} は励起子生成によるクーロン引力の影響

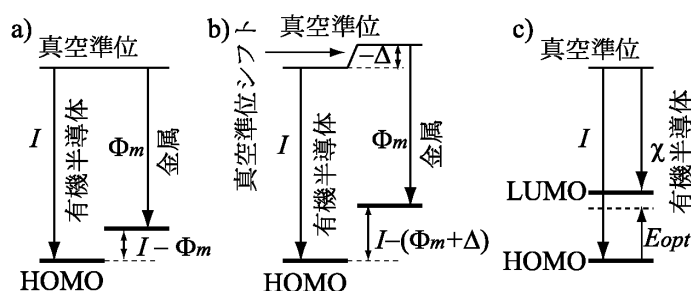


図1 OS/M界面の電子構造

を受けるため、真のギャップ(輸送ギャップ: $I-\chi$)よりも小さく見積もられるという問題がある(図1c)。実際、逆光電子分光により求められた輸送ギャップは、OSの場合、 E_{opt} よりも0.5 eV以上に大きくなると言う報告もある。さらに正孔注入障壁と電子注入障壁を実デバイスで直接求めたという例はない。Ins/OS界面の電子

構造の研究は、M/OS界面よりもさらに難しい。たとえば、有機電界効果トランジスタ(有機FET)においては、絶縁体内部のトラップあるいは絶縁体表面上に形成された自己組織化膜が電界効果移動度に影響を与えることはよく知られているが、その原因は理解されておらず、定性的な実験を除けば、Ins/OS界面で何が起きているかはわかっていない。

こういった界面の電子物性を研究することは、基礎研究の問題だけにとどまらず、新物質を用いて特性の良い有機薄膜デバイスを作成する上でも重要である。たとえば有機薄膜デバイスを作製する場合、ohmic接合ができると思われるM/OSの組み合わせでも電荷注入ができないことはしばしばある。多くの場合その原因は明らかでない。また有機FETでは、電流を流して測定するうちに、特性が変わることがあるが、その理由も明らかでない。

2. 研究の目的

上記の背景をもとに、本研究課題では2016年度に申請者が提案した新しい実験手法「蓄積電荷測定法」(Accumulated Charge Measurement; 以下ACMと略す; 文献)の開発に取り組んだ。この手法は、コンデンサー型接合素子における蓄積電荷の印加電圧による変化を解析することにより、Ins/OS界面およびM/OS界面の電子状態に関する情報を得る手法である。その特徴は、電圧振動法という方法を用いて、蓄積電荷変化を精密に決定するところにある。一方でACMは新しい手法であり、実験例も少ないことから、実験装置の改良、試料開発、解析技術の工夫等、すべての点で不足していた。そこで、本研究課題では種々の物質系を用いて実験を行い、その際に生じた問題点を逐次解消することにより、ACMを発展させることを目的とした。

3. 研究の方法

3.1) ACMの概要

図2にACMの概要を示した。この実験では図2aに示すように背面電極(M1)/Ins/OS/表面電極(M2)の構造を持つコンデンサー型試料を作成し、印加電圧(V_{bias})を変化させたときの変位電流($-I$)を測定する。OS層は電荷注入が起こらないときは誘電体として働くので、この層の電気容量を C_{OS} と定義する。また絶縁層の電気容量を C_{Ins} と定義する。

V_{bias} を $V_{off}+V_a$ から V_{off} まで変化させたときに観測される変位電流 $-I$ を積分し、蓄積電荷量変化 Q_{acc} を観測する(図2b)。実際には、精密な値を得るために Q_{acc} は電圧振動法により測定されるが、得られる Q_{acc} は図2bで定義されたものと同じなので、ここでは簡単のためこれを Q_{acc} の定義としておく。

V_{off} を固定し、 V_a を変化させて、 V_a-Q_{acc} のデータを測定する。このようにして得たカーブは、障壁がある正孔注入の場合、図2cのようになる。 V_a の小さい低電圧側では、Ins層とOS層の

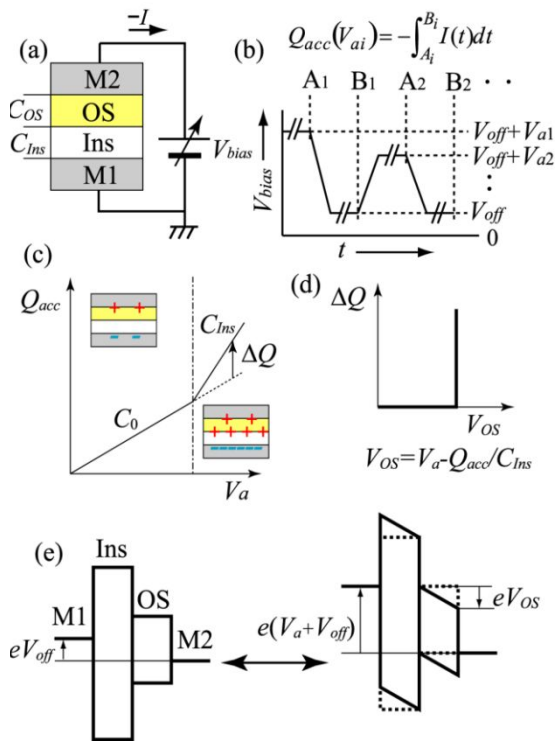


図 2 (a)試料の模式図; (b)実験で印加する V_{bias} のパターンの模式図; (c)蓄積電荷量変化 (Q_{acc})の V_a 依存性。低電圧および高電圧領域の傾きから直列電気容量 C_0 および絶縁層電気容量 C_{Ins} を実験的に決定できる; (d) $Q_{acc}-V_a$ のデータから求めた $\Delta Q - V_{OS}$ のプロット; (e)印加電圧変化に伴う電子状態変化の模式図

3.2) 電圧振動法 (文献)

図 2b に記載した変位電流の積分は、実際に行おうとすると、継続的にトラップから放出される電荷による変位電流のために、積分時間が非常に長くなり精度よく求められない。そこで ACM では、電圧振動法 [文献] と呼ばれる特殊な手法により、 Q_{acc} を求める。

以下 $V_a > 0$ を例に述べる。この手法で用いる電圧印加波形を図 3 に示す。zero-to-positive (ZP) 波形では $V_{bias} = V_{off}$ からスタートし、 V_{bias} を $V_{off} + V_a$ まで増加させ、また $V_{bias} = V_{off}$ に戻す。このパターンを n 回繰り返す。また positive-to-zero (PZ) 波形では $V_{bias} = V_{off} + V_a$ からスタートし、 V_{bias} を V_{off} まで減少させ、また $V_{bias} = V_{off} + V_a$ に戻す。このパターンを n 回繰り返す。観測された変位電流を電圧増加あるいは電圧減少の各区間でそれぞれ積分する。以下、各区間での積分を

$$Q(X(i)) = \int_{X(i)} I(t) dt \quad (i = 1, 2, \dots, 2n; X = \text{PZ or ZP}) \quad (3)$$

と定義する。すると Q_{acc} は以下の式で求めることができる。

$$Q_{acc} = \sum_{i=1}^{2n-1} Q(\text{PZ}(i)) - \sum_{i=1}^{2n} Q(\text{ZP}(i)) \quad (4)$$

この式は PZ(2n-1)の電流波形と ZP(2n)の電流波形が等しいことを仮定し導いている。この近似は多くの場合 $n=5$ 程度で成立する。(4)式を用いた場合、長時間の電流積分を行う必要がなく、電流積分の時間を短くすることが可能となるため、電流 - 電圧変換アンプにおけるオフセット電圧を事実上無視することができ、 Q_{acc} を高い精度で決定することができる。

図 3 $V_a > 0$ の場合の電圧振動法で用いる 2 つの電圧印加波形 (PZ および ZP; $n=5$ の場合に関して示している)。(1)~(10)の番号は、変位電流の積分を行う各区間を示す。

直列電気容量 [$C_0 = C_{OS}C_{Ins}/(C_{OS}+C_{Ins})$] に比例して、 Q_{acc} は増加する。また V_a の大きい高電圧側では Q_{acc} は C_{Ins} に比例して増加する。このとき電荷は OS / Ins 界面まで注入されている。低電圧側の直線を延長し、 ΔQ をこの延長されたスロープからのずれとして定義すると、

$$\Delta Q = Q_{acc} - C_0 V_a \quad (1)$$

が得られる。さらに V_{OS} を

$$V_{OS} = V_a - Q_{acc} / C_{Ins} \quad (2)$$

で定義する。このようにして $\Delta Q - V_{OS}$ のカーブを求めると、図 2c の変曲点に対応して、図 2d のカーブが得られる。 V_{OS} の物理的な意味を図 2e に示す。印加電圧 V_a は Ins 層および OS 層の両方に電圧変化をもたらしている。このうち、Ins 層の変化はガウスの法則を用いると厳密に Q_{acc}/C_{Ins} と計算することができる。したがって、 V_a からこの値を差し引いた V_{OS} は OS 層での電圧降下変化に対応する。図 2e 左図にあるように、 V_{off} 印加により flat band 状態が実現されている場合は、 V_{OS} は電圧降下変化ではなく電圧降下そのものになる。

図 2d の模式図に示したように、 $\Delta Q - V_{OS}$ のプロットは、 V_{OS} がある閾値以上になると ΔQ は急激に増加する。以下この V_{OS} の閾値を "uprising threshold" とここでは呼ぶ。ACM の実験では、 V_{off} 印加により flat band 状態が実現されている時に得られる "uprising threshold" が実効的な電荷注入障壁であると定義する。

4. 研究成果

4.1) 実験手法の改良

本研究課題は、実験手法、解析手法のいずれも未開拓の状態から着手しているため、実験手法の改良は、本研究課題の重要な成果の一つである。以下おこなったことを簡単にここでまとめておく。

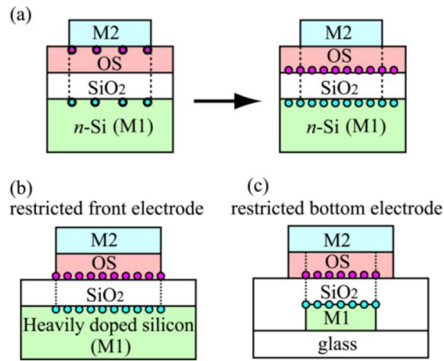


図 4 電極構造の工夫 (a)当初行っていた実験の電極構造。電荷が注入されると Ins / OS 界面に電荷が広がる(右図) ; (b),(c)電荷の広がりを防ぐ電極構造。(b)表面制限電極構造、(c)背面制限電極構造

4.1.1) 電源部分の改良

当初の実験では、市販の Function generator を用いて電圧印加を行ってきたが、この場合の印加電圧範囲は ± 10 V に制限される。そこで、直流電圧電源と Function generator を組み合わせたシステムを構築し、ソフトウェア制御で最適化することにより、 ± 20 V の V_a 印加、最大 25 V の V_{off} 印加が可能となるようにした。この改良によるノイズの増加等はみられなかった。

4.1.2) 試料形状の改良 (文献)

当初の測定試料は、図 4a に示すように、M1、Ins 層、OS 層が全く重なっていた。この構造の場合、電荷が M2 から OS に大量に注入されると、図 4a 右図にあるように実効的に試料の電気容量が増える。このことは ACM の実験では不都合である。そこでこの効果をなくすように、試料形状を変更した。具体的には制限表面電極構造(図 4b)あるいは制限背面電極構造(図 4c)の試料を作成するようにした。

4.2) ACM の理論的解析と実験との比較 (文献)

一次元の Poisson - Boltzman を解くことにより、 V_{bias} を印加したときに熱平衡(thermal-equilibrium = TE)時に OS 内部に注入される電荷量 $Q_{total}(V_{bias})$ を計算した。図 5 に示したのはこのモデルで計算したポテンシャル分布($-e\phi(x)$)、総蓄積電荷量(Q_{total})、注入正孔電荷量(P_{total})、OS/M2 境界に

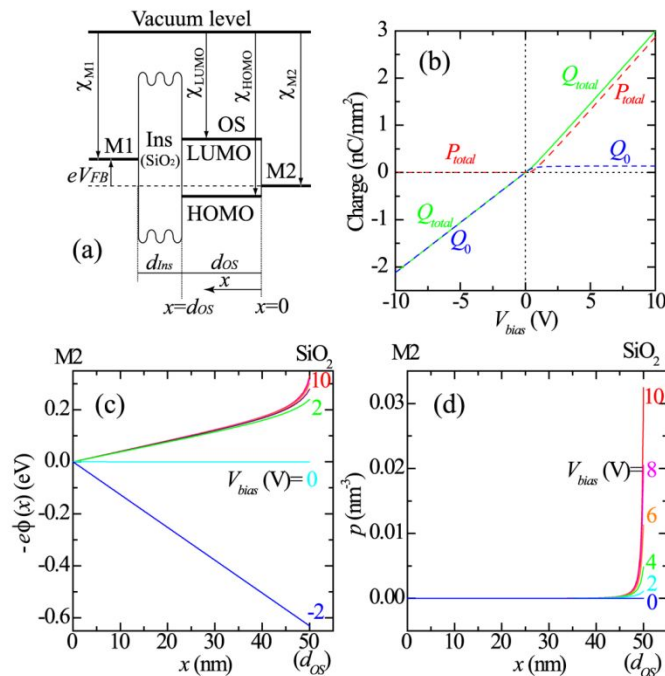


図 5 (a)計算に用いたモデル。 $-\chi_{HOMO}+\chi_{M2} = -0.4$ eV, $-\chi_{LUMO}+\chi_{M2} = 10.0$ eV とし、正孔注入のみを考えている。また $V_{FB}=0$ V としている。 ; (b)印加電圧 V_{bias} を変えたときの総蓄積電荷量(Q_{total})、注入正孔電荷量(P_{total})、OS/M2 境界に存在する界面電荷量(Q_0)。 $V_{bias} \neq 0$ V では M2 近傍の OS には電場が存在するため、たとえ正孔が注入された状態でも Q_0 はゼロにならないことに注意; (c)OS 層内部ポテンシャル分布の V_{bias} 依存性; (d)電極から注入された正孔分布の V_{bias} 依存性

存在する界面電荷量(Q_0)の計算結果である。通常の半導体の教科書とは異なり、OS は M2 とショットキー接合を作っているため、電圧が印加されている状態では、M2/OS 界面の電荷 Q_0 は常に存在する。また電極から OS に注入された電荷は、あらかじめ予想していたように、OS/Ins 界面近傍に集中する。

この計算結果に基づき、TE 型および非熱平衡 (non-thermal-equilibrium = NTE)型の電荷抽出を仮定したときの ACM を以下のように導いた。

TE 型電荷抽出モデルでは $Q_{acc}(V_a)=Q_{total}(V_a+V_{off})-Q_{total}(V_{off})$ で表される。この計算を行い、式 (1)、(2)を用いて、 ΔQ 、 V_{OS} を計算した結果を図 6a に示す。 V_{off} の増加とともに "uprising threshold" がゼロに近づく様子が観測される。ちなみにこの計算では真の正孔注入障壁として 0.4eV を仮定しているが、実効的な電荷注入障壁はそれよりも 0.1 eV 程度小さくなっている。これはキャリアの熱励起のためである。充分大きな V_{off} の場合、"uprising threshold" がゼロに近づくのは V_{off} によって既に電荷が注入されていて、ポテンシャルカーブの変化が小さくなってい

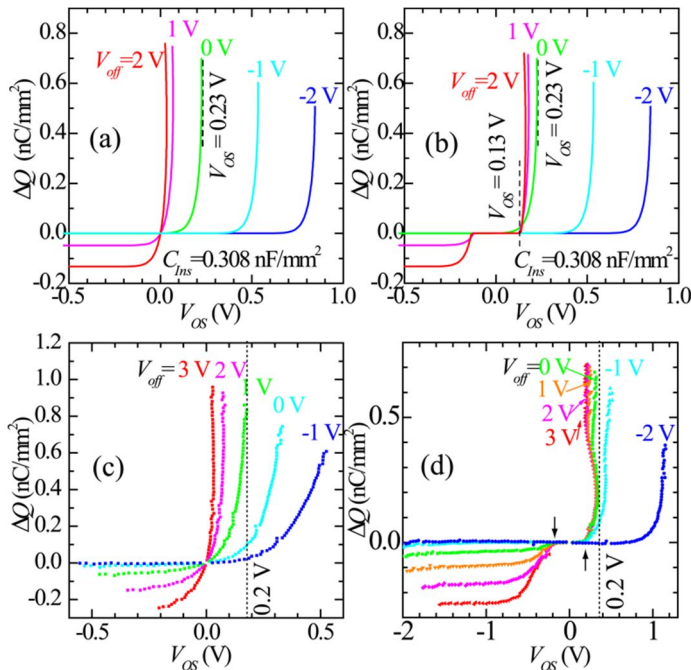


図6 計算および実験で得た $\Delta Q-V_{OS}$ の比較:(a)TEモデル(計算);(b)NTEモデル(計算);(c) n -Si/pentacene/SiO₂/Au(実験);(d)ITO/SiO₂/H₂Pc/Au(実験)

で、Auとのフェルミエネルギーの差を考慮すると $V_{FB} \sim 1$ V、すなわち $V_{off} = 1$ Vの時に、おおよそFlat band状態が成立していると思われる。そこでこの時の、 ΔQ の立ち上がりから、おおよそ0.2 eVが正孔注入障壁として得られる。 $V_{off} \geq 1$ Vで、 $V_{OS} \leq 0$ の領域にプラトーが見えるのは、注入された正孔がすべて抽出されていることを意味しており、これはTE状態の計算結果(図6a)と類似している。 V_{off} を減らすと ΔQ の立ち上がりが右側にシフトするのも、計算結果と一致している。図6dは、フタロシアニン薄膜を用いてACMの実験を行った結果である。この素子ではITOを背面電極に用いているので、Auとのフェルミエネルギーの差を考慮すると、 $V_{FB} \sim 0$ V、すなわち $V_{off} = 0$ Vの時に、おおよそFlat band状態が成立していると思われる。 V_{off} を増加させたときの V_{OS} の"uprising threshold"は0.2 V付近で頭打ちしており、また $V_{OS} \leq 0$ の領域にプラトーが現れている。これらの特徴はFig.6bの計算結果と非常に良く一致している。

一連の結果が、上記のTEおよびNTEモデルに当てはまるのであれば、高い正電圧を印加した後に、正孔抽出を行った際の変位電流波形にも違いが出るはずである。そこでpentaceneと

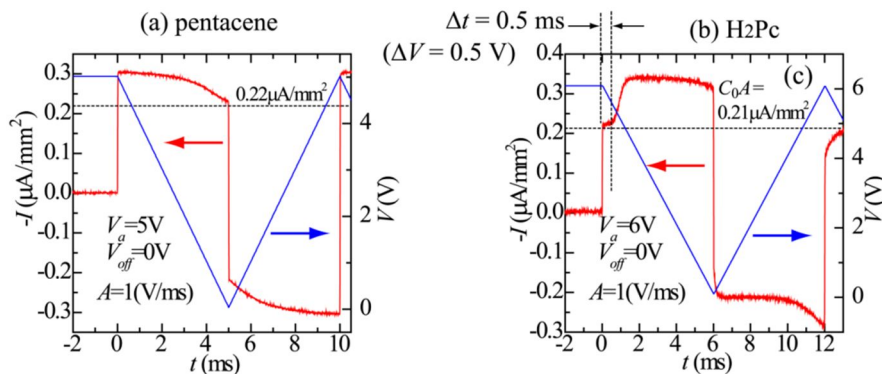


図7 電流抽出波形(赤線) (a) n -Si/pentacene/SiO₂/Au;(b)ITO/SiO₂/H₂Pc/Au 対応する印加電圧波形は青線で示されている。

対して、H₂Pcの試料では最初にOS/M2界面の電荷抽出を示す電流波形が現れた後に、Ins/OS界面からの電荷抽出が起こっていることがわかる。これはまさしく、TEモデルとNTEモデルの違いを反映している。

4.3) まとめと展望

本研究では、ACMのデータがTEおよびNTEモデルで説明できることがわかった。ACMの実験でこれらは重要な発見であり、この知見を基に種々の物質での実験を現在行っている。

<参考文献> H. Tajima et al, *Org. Electron.*, **34**, 193(2016); T. Tanimura et al, *Org. Electron.*, **74**, 251(2019); H. Tajima et al, *J. Appl. Phys.*, **130**, 195501(2021).

ためである。

図6bに示したのはNTEモデルを仮定したACMの計算結果である。このモデルでは電圧を減らしたとき、M2/OS界面の電荷 Q_0 が抽出されてから(すなわちM2近傍のOSの電場がゼロになってから)、OS/Ins界面の正孔が抽出されると考える。この仮定をすると、 V_{off} が大きく正孔が注入されている状態でも、 V_{OS} が0 V近傍では $\Delta Q = 0$ となる。また ΔQ の"uprising threshold"は電荷注入障壁付近で頭打ちし、ゼロになることはない。NTEモデルで考える、 Q_0 のみが抽出された状態は熱平衡状態ではないが、拡散係数がすなわち移動度が小さい場合の準定常状態である。

以下、実測データに基づいてこれらの計算結果の妥当性を議論する。図6cはペンタセン薄膜を用いて作成した素子に関する結果である。この素子では n 型シリコンを背面電極に用いているの

H₂Pcの試料に関して、高い電圧を印加して正孔を注入した後、電圧を減少させて電荷を抽出したときの、変位電流波形を調べた。その結果を図7に示す。図からわかるようにpentacene(a)の試料では最初からIns/OS界面の電荷が抽出されているのに

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計11件（うち査読付論文 10件 / うち国際共著 0件 / うちオープンアクセス 0件）

1. 著者名 Kameda Akihiro, Tajima Hiroyuki, Yamada Jun-ichi, Komino Takeshi	4. 巻 243
2. 論文標題 Whispering gallery modes in bowl-shaped stilbene microresonators	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Journal of Luminescence	6. 最初と最後の頁 118654 ~ 118654
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.jlumin.2021.118654	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 Kameda Akihiro, Shimomoto Sunao, Tajima Hiroyuki, Yamada Jun-ichi, Yokomatsu Tokuji, Maenaka Kazusuke, Komino Takeshi	4. 巻 125
2. 論文標題 Mode Coupling of Whispering Gallery Modes through Organic Semiconductor Thin Films	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 The Journal of Physical Chemistry C	6. 最初と最後の頁 14940 ~ 14946
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acs.jpcc.1c02665	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 Tajima Hiroyuki, Kadoya Tomofumi, Yamaguchi Koji, Omura Yuichi, Oda Takeshi, Ogino Akinari	4. 巻 130
2. 論文標題 Thermal and non-thermal equilibrium processes of charge extraction in accumulated charge measurement (ACM)	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Journal of Applied Physics	6. 最初と最後の頁 195501 ~ 195501
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1063/5.0071037	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 Kadoya Tomofumi, Mano Shotaro, Hori Aoi, Tahara Keishiro, Sugimoto Kunihisa, Kubo Kazuya, Abe Masaaki, Tajima Hiroyuki, Yamada Jun-ichi	4. 巻 78
2. 論文標題 Steric effect of halogen substitution in an unsymmetrical benzothienobenzothiophene organic semiconductor	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Organic Electronics	6. 最初と最後の頁 105570 ~ 105570
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.orgel.2019.105570	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 Ikeda Takashi, Tahara Keishiro, Kadoya Tomofumi, Tajima Hiroyuki, Toyoda Noriaki, Yasuno Satoshi, Ozawa Yoshiki, Abe Masaaki	4. 巻 36
2. 論文標題 Ferrocene on Insulator: Silane Coupling to a SiO ₂ Surface and Influence on Electrical Transport at a Buried Interface with an Organic Semiconductor Layer	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Langmuir	6. 最初と最後の頁 5809 ~ 5819
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acs.langmuir.0c00515	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 Tahara Keishiro, Ashihara Yuya, Ikeda Takashi, Kadoya Tomofumi, Fujisawa Jun-ichi, Ozawa Yoshiki, Tajima Hiroyuki, Toyoda Noriaki, Haruyama Yuichi, Abe Masaaki	4. 巻 59
2. 論文標題 Immobilizing a π -Conjugated Catecholato Framework on Surfaces of SiO ₂ Insulator Films via a One-Atom Anchor of a Platinum Metal Center to Modulate Organic Transistor Performance	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Inorganic Chemistry	6. 最初と最後の頁 17945 ~ 17957
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acs.inorgchem.0c02163	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 Shimomoto Sunao, Kadoya Tomofumi, Tanimura Toshiaki, Maenaka Kazusuke, Yokomatsu Tokuji, Komino Takeshi, Tajima Hiroyuki	4. 巻 125
2. 論文標題 Accumulated Charge Measurement: Control of the Interfacial Depletion Layer by Offset Voltage and Estimation of Band Gap and Electron Injection Barrier	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 The Journal of Physical Chemistry C	6. 最初と最後の頁 1990 ~ 1998
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acs.jpcc.0c04974	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 Tanimura Toshiaki, Tajima Hiroyuki, Ogino Akinari, Miyamoto Yuta, Kadoya Tomofumi, Komino Takeshi, Yokomatsu Tokuji, Maenaka Kazusuke, Ikemoto Yuka	4. 巻 74
2. 論文標題 Accumulated charge measurement using a substrate with a restricted-bottom-electrode structure	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Organic Electronics	6. 最初と最後の頁 251 ~ 257
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.orgel.2019.07.009	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 Kadoya Tomofumi, Mano Shotaro, Hori Aoi, Tahara Keishiro, Sugimoto Kunihisa, Kubo Kazuya, Abe Masaaki, Tajima Hiroyuki, Yamada Jun-ichi	4. 巻 78
2. 論文標題 Steric effect of halogen substitution in an unsymmetrical benzothienobenzothiophene organic semiconductor	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Organic Electronics	6. 最初と最後の頁 1-5
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.orgel.2019.105570	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 Ikeda Takashi, Tahara Keishiro, Kadoya Tomofumi, Tajima Hiroyuki, Toyoda Noriaki, Yasuno Satoshi, Ozawa Yoshiki, Abe Masaaki	4. 巻 36
2. 論文標題 Ferrocene on Insulator: Silane Coupling to a SiO ₂ Surface and Influence on Electrical Transport at a Buried Interface with an Organic Semiconductor Layer	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Langmuir	6. 最初と最後の頁 5809 ~ 5819
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acs.langmuir.0c00515	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 田島裕之、角屋智史	4. 巻 OME2018-26
2. 論文標題 蓄積電荷測定法 (ACM) による有機半導体 / 金属界面の電荷注入障壁測定	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 信学技報	6. 最初と最後の頁 1-4
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14件 (うち招待講演 3件 / うち国際学会 5件)

1. 発表者名 大村 祐一, 田島 裕之, 角屋 智史
2. 発表標題 自己組織化単分子膜 (SAM) が電荷注入現象に与える影響
3. 学会等名 第15回分子科学討論会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 小田 丈志, 田島 裕之, 角屋 智史
2. 発表標題 蓄積電荷測定法による金/ペンタセン界面の電子注入障壁測
3. 学会等名 第15回分子科学討論会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 小田丈志, 角屋智史, 田島裕之
2. 発表標題 蓄積電荷測定法による金/有機半導体間の電子注入障壁測定
3. 学会等名 第69回応用物理学会春季学術講演会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 山口晃司, 田島裕之, 角屋智史
2. 発表標題 蓄積電荷測定法によるAu/C8-BTBT界面の正孔注入障壁測定
3. 学会等名 第69回応用物理学会春季学術講演会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 田島裕之, 角屋智史, 山口晃司, 大村祐一, 小田丈志, 荻野晃成
2. 発表標題 蓄積電荷測定法における熱平衡および非熱平衡型の電荷抽出
3. 学会等名 第69回応用物理学会春季学術講演会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 下元純、角屋智史、谷村利精、前中一介、横松得滋、小峯剛、田島裕之
2. 発表標題 蓄積電荷測定法による金属 / 有機半導体界面の電荷注入障壁測定
3. 学会等名 分子科学討論会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 H. Tajima
2. 発表標題 Determination of charge injection barrier at organic semiconductor/metal interface using accumulated charge measurement
3. 学会等名 AWEST(Awaji Island Conference on Electron Spin Science & Technology), Awaji Yumebutai International Conference Center (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 H. Tajima
2. 発表標題 Estimation of Charge Injection Barrier, Built-in Potential, in Organic Semiconductor Devices, Using Accumulated Charge Measurement
3. 学会等名 ISCOM (13th international symposium on crystalline organic metals, superconductors, and magnets), Portugal. (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 田島裕之, 角屋智史
2. 発表標題 蓄積電荷測定法による有機半導体 / 電極界面の研究
3. 学会等名 日本物理学会秋季年会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 H. Tajima
2. 発表標題 Determination of the charge injection barrier at organic semiconductor/metal interface using accumulated charge measurement (ACM)
3. 学会等名 43rd International Conference on Coordination Chemistry (ICCC2018) (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 H. Tajima
2. 発表標題 Determination of the charge injection barrier at organic semiconductor/metal interface using accumulated charge measurement.
3. 学会等名 International Conference of Synthetic Metals (ICSM2018) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 T. Tajima, T. Tanimura, T. Komino, T. Kadoya, J. Yamada
2. 発表標題 Determination of charge injection barrier at organic semiconductor/ metal interface using accumulated charge measurement
3. 学会等名 The 8th Toyota Riken International Workshop on Molecular Conductor, Semiconductor, and Electronics (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 田島裕之、角屋智史
2. 発表標題 蓄積電荷測定法 (ACM) による有機半導体 / 金属界面の電荷注入障壁測定
3. 学会等名 電子情報通信学会 (招待講演)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 荻野晃成、谷村利精、小簀剛、横松得滋、前中一介、田島裕之
2. 発表標題 蓄積電荷測定法による有機/金属界面の電荷注入障壁測定 III
3. 学会等名 第12回分子科学討論会
4. 発表年 2018年

〔図書〕 計1件

1. 著者名 公益社団法人 日本化学会	4. 発行年 2021年
2. 出版社 丸善出版	5. 総ページ数 1534
3. 書名 化学便覧 基礎編 改訂6版	

〔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
---------	---------