

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 27 年 6 月 4 日現在

機関番号：12608

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2011～2014

課題番号：23760278

研究課題名(和文)異方性分子の凝集構造に依存する有機半導体の電荷輸送機構の解明

研究課題名(英文)Electronic Charge Transport in Organic Semiconductor Depending on Agricultural Structure of Anisotropic Molecules

研究代表者

大野 玲(Ohno, Akira)

東京工業大学・像情報工学研究所・准教授

研究者番号：70397058

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,500,000円

研究成果の概要(和文)：我々是有機半導体の電荷輸送を、秩序パラメータによってエネルギーのディスオーダーが制御されると考え、その関係を示すモデルを構築した。これを検証するため幾つかの有機半導体分子に対し、量子化学計算を用いて双極子モーメント・電子分極率・再配置エネルギー、トランスファー積分を導出し、マーカス式のホッピング伝導で、ガウス型の局在準位の元、シミュレーションを行い、実際に我々のモデルで電荷輸送が説明されることを示した。この効果は有機トランジスタの絶縁体との界面でのチャンネルの電荷輸送機構も明らかにした。本モデルにより有機半導体の電荷輸送と秩序性を明らかにし、有機半導体の分子設計の指針として有用であることを示した。

研究成果の概要(英文)：We modeled to elucidate a relationship between charge mobility and degree of structural order of molecules in molecular aggregates, and related order parameters to electronic transport properties, using molecular dynamics simulations and quantum chemical calculation of some particular molecules. We took account of three factors, i.e., energetic disorder for localized carrier states, the reorganization energy for the formation of polaron and the transfer integral distribution for the nearest neighbor pairs using combination of quantum chemical calculation, molecular dynamics simulation and Monte Carlo simulation for Marcus type of hopping transport. Our model can propose concepts how we can design the organic semiconductive materials with high performance and show a guideline for molecular design of organic semiconductors available for organic transistor materials in printed electronics.

研究分野：有機半導体の電子物性

キーワード：ディスオーダーモデル 秩序パラメーター 電荷輸送 有機半導体 電気双極子 トランスファー積分
ホッピング伝導

1. 研究開始当初の背景

有機半導体における分子間の電子移動は、構成分子の異方性・大きさ及び、分子の凝集構造に由来した特徴が現れる。実際、分子間のトランスファー積分 J は異方性を伴うため、高移動度の有機トランジスタ ($\mu \sim 1$ - 数十 cm^2/Vs) 等では、特定方向の J の値のみが大きいわけではなく、2次元以上の方向で数十 meV 程度以上の値を有する凝集構造の材料が多い。また、デバイス作成に際して、伝導方向を考慮した設計が重要となる。

実デバイスにおいては、簡便な湿式法で動作速度が遅くとも、より安定性の高い均一薄膜を製作する観点から、アモルファス有機半導体が用いられる。さらに近年では、単結晶ほど秩序性は高くないが、大面積薄膜を堅持したままでかつ秩序性を有することで、電子伝導の高速化を図る材料、例えば自己組織化膜や液晶・多結晶薄膜などが増えている。この種の材料群の電子伝導はほとんどがポラロンによる伝導で、さらに大半はホッピング伝導である。その伝導機構は、アモルファスに適用されるディスオーダーモデルがそのまま用いられる例が多い。しかし実際のホッピング伝導には異方性が有り、分子に局在したキャリア準位の乱れは分子が持つ秩序性により低減され、伝導性が向上するはずである。このような材料群の intrinsic な電子伝導の評価はこれまで確立されていなかった。

2. 研究の目的

本研究では分子間の電子移動として、Marcus あるいは Holstein のスモールポラロンモデルを考える。

このとき、分子の異方性・形状・大きさに関係する双極子モーメント・四重極子モーメント・分極率に着目し、これらの静電エネルギーの作用が分子の配向・配置の乱れにより生ずる局在準位の乱れや、再配置エネルギーの寄与を明らかにする。薄膜やスメクチック液晶のような分子間の π - π スタッキングにより形成される2次元層構造方向に、伝導性の高い系を想定して、局在準位の乱れや、再配置エネルギーを考慮したディスオーダーモデルを構築、これにより、有機半導体における凝集体の秩序性と電荷輸送のメカニズムとの関係を明らかにする。

3. 研究の方法

(1) 配向・並進秩序性に支配された永久双極子からの寄与による局在準位分布の形成

Marcus 式

$$k_{ET} = \frac{J_{\text{eff}}^2}{\hbar} \sqrt{\frac{\pi}{\lambda k_B T}} \exp \left[-\frac{(\lambda + \Delta G_0)^2}{4\lambda k_B T} \right]$$

は溶液中の電子移動によく適用される。本研究において、より rigid な凝集体に適用する場合、分子回転・振動が、キャリアのホッピングレートよりさらに遅いとき、この永久双極子の配向緩和は起きず、ランダムに配向・配置したまま、ランダムな静電エネルギーの寄与をキャリアに与えて局在準位に乱れを生ずると考えられる。このとき、分子凝集体に配向・並進秩序性の秩序分布関数を導入して、双極子の配向・配置のランダム性の抑制をあらわに表現、キャリア-双極子相互作用等による、静電エネルギーの N 次モーメントを秩序パラメータの関数として計算・モデル化する。

これにより、配向・並進秩序パラメータに依存する局在準位の分布形成モデルを構築する。さらに、双極子だけでなく、四重極子の効果のモデル化も行う。ディスオーダーモデル由来の移動度の電場依存性の評価も行えるように、キャリア-双極子相互作用の、空間での自己相関関数と秩序パラメータとの関係も明らかにする。

(2) 密度汎関数法を用いた、量子化学計算による各モデル材料のトランスファー積分 J_{eff} の分布、再配置エネルギー λ 、永久双極子 μ 分極率 α の導出

Gaussian09 及び Amsterdam Density Functional (ADF) の量子化学計算パッケージを用い、B3LYP 及び PW91/SAOP の手法により、 $J_{\text{eff}}, \lambda, \mu, \alpha$ を、液晶相を示す有機半導体材料を中心に計算する (たとえば phenyl-naphthalene, terthiophene, triphenylene, benzothiazole, benzothienobenzothiophene (BTBT) などの誘導体)。特に ADF ではフラグメント計算の機能を生かして1分子フラグメントの軌道から仮想 dimer A B での DFT 計算を実行、直接 $J_{\text{eff}} = \langle A | H | B \rangle$ を求め、2分子の距離・角度に依存する J_{eff} の分布をとる。この情報を用いて、モデル材料について(1)、(2)の理論を用い、局在分布広がり・再配置エネルギー、さらに(4)で構築する凝集体全体でのディスオーダーモデルに適用、モデル材料に対し、実験データを用いることなく、移動度の予測計算が可能か検証を行う。

(3) トランスファー積分・局在準位分布を導入した Marcus 式の電子移動に基づく Monte Carlo シミュレーションによるディスオーダーモデルの検証とモデル式の構築

TFT などの薄膜、スメクチック液晶などの層構造を想定して2次元格子上で Marcus 式をホッピングモデルとして適用した Monte Carlo シミュレーションを行う。このとき各サイトには(1)で検討した局在準位の分布を導入し、さらに、(2)で検討した λ, J_{eff} を導入する。これより移動度の温度・電場・秩序パラメータ依存性を検討し、それらを考慮

したディスオーダーモデルのモデル式を構築する。

(4) 簡単な TFT 等デバイスへの適用

一般的な TFT 等について界面領域でのエネルギーのディスオーダーの計算を行う。これは(1)の計算がモデルを変更することなく、異なる材料からの寄与を計算することが出来ることに基づく。このような効果を取り入れて、エネルギーのディスオーダーを導入した簡単なデバイスモデルを構築し、デバイス中で外部環境にどのようにバルク材料の電子伝導が影響を受けるか検証する。

4. 研究成果

まず方法(1)の構想に基づいて、分子の凝集構造に注目し、並進・配向秩序性を有する構造の中で分子の双極子モーメントが、キャリアと相互作用をすることによってホッピング伝導するキャリアの局在準位の乱れ、分布を形成する機構を明らかにする理論モデルの構築に成功した。

本モデルでは液晶で用いられてきた配向・並進秩序性の秩序分布関数を導入して、双極子の配向・配置のランダム性の制御をあらわに表現、キャリア・双極子相互作用等による、静電エネルギーのN次モーメントを秩序パラメータの関数として計算・モデル化した。

まず、配向秩序の形成による、ディスオーダーがどのように制御されるかモデル化し定式化することに成功した。分子長軸に対する双極子モーメント方向の角度が小さいときには配向秩序形成につれ、ガウス型局在分布の分布幅(標準偏差)は、配向秩序パラメータの平方根に比例して低減することを明らかにした。一方、magic angle = 54.7 度以上になり、分子長軸に対し双極子モーメントが垂直になると、配向秩序形成に対して逆に分布幅が拡大することが分かった。双極子モーメントが 1 debye 程度のものであれば、80meV 前後の分布幅を有するが、配向秩序形成によるディスオーダーの制御は、大きくても 10meV 程度の増減であった。

次に分子長軸方向に対して並進秩序パラメータを増大させ、周期的層構造を成す場合にどの程度エネルギーのディスオーダーが制御されるかモデル化することにも成功した。このモデルによると、双極子モーメントが分子長軸に対し何度傾いているかにもよるが、1debye 程度の時、並進秩序パラメータを 0 から 1 に増大するとその大きさが 30meV まで低減した。効果は双極子モーメントが輸送部位にどの程度近接し、分布しているかでその影響が大きく変わる。しかし、依然分子長軸周りの回転により、双極子のランダム配向が存在するため、30meV よりも小さくすることはできなかった。層間距離を大

きくすると、他の層からの、ディスオーダーの効果を下げることが出来るがその依存性は $\sim z^{-1/2}$ であることが分ったため、距離依存性で z を 1/10 にするには層間距離を 100 倍にしなければならない。アルキル鎖を 10 炭素原子分伸ばすことで 1/3 程度低減させることが出来ることが分かった。

一方、方法(2)の構想に基づいて、各モデル材料について、B3LYP 及び PW91/SAOP の手法による密度汎関数法を用いた、量子化学計算を行い、予定通り、BTBT、ターフェニル、ターチオフェン、アセン骨格のものや、さらにその骨格に対してチオフェンやフェニル基が単結合した骨格の誘導体の中で、幾つかの代表的なモデル材料に対し、双極子モーメント・電子分極率・再配置エネルギー、トランスファー積分を求めた。中でも、骨格が同じであっても、異なる置換基を有する分子は双極子モーメントの違いが現れるが、我々が構築した双極子の配向・並進秩序性に従って Gauss 分布型の局在準位を示す分布幅(標準偏差)にあたるエネルギーのディスオーダーを求めた。

分子配置について実際の系における分子の相対的な配置は、秩序度の違いに従って平均位置から大きくずれる。トランスファー積分の大きさがどの程度の分布を持っているのか、明らかにするため、マックスプランク高分子研究所で開発されて VOTCA-CTP パッケージを利用して GROMACS パッケージによる分子動力学計算により配置させた分子間のトランスファー積分の分布を、ZINDO による半経験的計算により求めた。用いた分子はフェニルナフタレンの誘導体である。この結果、トランスファー積分の大きさには液体で 2 桁、液晶で 1 桁、結晶で 0.5 桁程度の大きな半値幅を持った分布をすることが分かった。

さらに方法(3)の構想に基づき、dimer 構造を作成するとき、これら分子材料の電子伝導をポーラロンのホッピング伝導と考え、マークスの電子移動の式を採用して、2次元のモンテカルロシミュレーションを構築した。幾つかの材料について実行、移動度の挙動を TOF により得ている実験値と比較したところ、各温度でオーダーとしては妥当な挙動を示した。また温度依存性、電場依存性共にそれぞれの温度域では実験値と妥当な一致をしており、Disorder Model による伝導モデルの適用性が示された。トランスファー積分の大きさは、隣接分子どうしの geometry に依存して様々に変化するが、4~6Å の分子間距離では、ほぼ 1~数 meV のところに集中して分布する一方、再配置エネルギーが数百 meV、エネルギーのディスオーダーが 40~80meV のものが多く、ホッピング伝導をする材料においては、トランスファー積分の分布よりも、熱活性の要因により伝導が律速されていることが分かった。

トランスファー積分については秩序度が上がった場合トランスファー積分の自乗の対数を取った分布の半値幅は小さくなるが、算術平均は殆ど変わらなかった。秩序度が上がった場合顕著なのは、半値幅が小さくなることで、隣接分子間で、小さなトランスファー積分値をもつものが少なくなることである。フェニルナフタレン骨格のもので、20meV程度、BTBT骨格のもので40meV程度のところに分布のピークが現れた。幾何平均をとることで、秩序度による移動度の違いが説明できることが分かった。

層に垂直な方向の並進秩序が大きければエネルギーのディスオーダーが小さくなることを示したが、並進秩序パラメータが十分に大きく、0.8程度するとき、我々のモデルを用いると、双極子の効果によるエネルギーのディスオーダーには数十分子程度の相関長を有する空間相関が存在することを示した。

通常、ディスオーダーモデルにおいては移動度には温度依存性のほかに電場依存性が存在するが、室温以下の十分低温の領域でなければ、本材料のTOF法による移動度の測定では電場依存性は現れない。並進秩序パラメータが大きく、空間相関が十分大きな系では、ホッピングサイト間でのエネルギー差は小さく、低電場領域であっても高移動度になり、結果として移動度に電場を生じないことがモンテカルロシミュレーションより分かった。双極子の値が大きく、エネルギーのディスオーダーが100meV以上の場合でも並進秩序度が0.5以上と十分大きい場合はディスオーダーモデルによる移動度の温度依存性があっても、電場依存性が消滅することを示した。

最後に方法(4)の構想に基づき、電荷輸送モデルを有機トランジスタ構造に応用して、デバイス上での電荷輸送モデルの構築を行った。トラップなど電荷輸送における外因的なものを取り去った理想的な条件のもと、ゲート絶縁膜上でのチャンネルの電荷輸送はチャンネルの有機半導体そのものばかりではなく、ゲート絶縁膜中、及び界面の永久双極子モーメントによるディスオーダーに大きな影響を与える。また分極率の、異方性によるエネルギーのディスオーダーの増大やポーラロンの形成が起こり、このことがチャンネルの電荷輸送機構そのものを変化させることがわかった。絶縁膜について配向秩序パラメータを変数として、キャリア-双極子、キャリア-分子分極相互作用がチャンネルの電荷輸送に分極エネルギー、及びエネルギーのディスオーダーとして影響を与えるかを定量的に見積もる計算手法を開発した。

有機絶縁膜に用いる高分子材料を、1セグメントごとに分割し、各セグメントの作る双極子モーメントが高分子鎖に沿った軸周りをランダムに回転し、配向しているとしてモデルを作成した。密度汎関数計算を用いて、1セグメントごとの双極子、分極率を計算し、

この双極子、及び分極が、高分子鎖に沿った配向の秩序パラメータに従った軸周りをランダム配向するとして、本研究のモデル手法を応用してモデル化し、チャンネル部のキャリアの電子状態が、絶縁膜の双極子、分極によって与えられる静電ポテンシャルの影響を導出することに成功した。これによると、絶縁膜高分子1セグメントあたりに、1deby程度程度の双極子を有する場合、数十~数百meVの活性化エネルギーを、チャンネルの輸送部位に付与することが分かった。

誘電分極が大きい材料でも、永久双極子が大きな材料においては、本モデルの効果により有機半導体の電荷輸送は、線形領域での移動度を低下させることを見出した。

一方この効果はトラップサイトとしては機能せず、 V_{th} のシフトには影響しないことを見出した。また分極はチャンネル部の有機半導体の伝導がスモールポーラロンである場合、再配置エネルギーを増大させる。したがってこのような輸送機構は界面絶縁膜からの、有機半導体キャリアに対するエネルギーのディスオーダーの効果と、ポーラロンの効果の両方が機能していることを明らかにした。

さらに絶縁膜界面とチャンネル分子の電荷輸送部位までの距離に指数関数的に依存しており、チャンネルの有機半導体分子における輸送部位と、絶縁膜界面との距離を、アルキル鎖の長さ等、分子レベルで設計し最適化することで有機トランジスタの動作を制御することが出来ることが分かった。誘電率の低い材料であっても双極子モーメント大きい材料は有機半導体の移動度が低下する効果のあることを明らかにしたが、その一方で、この効果は絶縁膜がチャンネルの電荷輸送部位に対して1nm程度以上離れていると、ディスオーダーの大きさは10分の1程度以下に下がることもあきらかにしており、分子レベルでの材料設計を考慮した有機半導体デバイスの作成する際、本効果を考慮した設計が重要になることを示した。

本研究ではホッピング伝導を伝導の主体とする電子伝導のモデルを構築し、実際の材料の電子伝導機構を明らかにした。そこでは秩序度の形成に伴ってエネルギーのディスオーダーが小さくなるとともにその空間相関が大きくなることによってバルクの移動度の増大が得られることが分かった。棒状分子においては分子回転が残っている限り、1debyeの双極子を有する材料では30meVよりも低減させることは、困難であると言える。一方、トランスファー積分の効果は平均値のよりも分布広がりが小さくなることで移動度の向上が得られるが、むしろ分子配置の秩序が低いときは、秩序性の増大によるエネルギーのディスオーダーの低減とその空間相関が増大することによる移動度向上の効果のほうが大きく、このため、移動度が $1\text{ cm}^2/\text{Vs}$ 以下でホッピング伝導するような系におい

ては、分子のコアの違いによる移動度の差はあまり顕著でなく、秩序度の違いに移動度がか支配されていると考えられる。

ホッピング伝導の系では秩序度が大きく関係しているため、分子間距離が変わらない場合でも秩序性が高い材料では移動度は向上する。原理的には分子のコア部の設計でなく、凝集状態の高秩序化により移動度を $\sim 0.5\text{cm}^2/\text{Vs}$ 程度まで近づけることが出来、凝集状態の詳細な構造に依存しないことが本モデルを用いて明らかにすることができた。

5. 主な発表論文等

(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 1 件)

- (1) Jun-ichi Hanna, Akira Ohno, Hiroaki Iino “Charge carrier transport in liquid crystals”, *Thin Solid Films*, 554, pp.58-63 (2014), 査読有, doi:10.1016/j.tsf.2013.10.051..

[学会発表](計 27 件)

- (1) Akira Ohno, Jun-ichi Hanna, Material Design of Organic Semiconductor -How we can predict the charge carrier transport properties in a particular molecular system-, International Conference on Advanced Imaging, 平成 27 年 6 月 17 ~ 19 日一橋講堂, 東京都
- (2) 大野 玲, 新田 武父, 高屋敷 由紀子, 飯野 裕明, “有機半導体の構造秩序の乱れが電荷輸送に与える影響 - 秩序パラメータに基づく相関のあるディスオーダーモデル -”, 応用物理学会春季学術講演会, 平成 27 年 03 月 11 ~ 14 日, 東海大学湘南キャンパス, 神奈川県
- (3) 大野 玲, 新田武父, 高屋敷由紀子, 飯野裕明, 半那 純一, “構造秩序性をもつ有機半導体の Correlated Disorder Model の構築とその電荷輸送の温度依存性”, 応用物理学会秋季学術講演会, 平成 26 年 9 月 17 ~ 20 日, 北海道大学, 北海道
- (4) Akira Ohno, Jun-ichi Hanna, Carl Poleking, and Denis Andrienko, “Structural Order and Charge Transport in Smectic Liquid crystals”, International Liquid Crystal Conference, 平成 26 年 6 月 29 日 ~ 7 月 4 日, トリニティカレッジ, ダブリン, アイルランド
- (5) 大野 玲, 半那 純一, “液晶性有機半導体における電荷輸送機構の温度依存性”, 日本画像学会年次大会, 平成 26 年 6 月 11 ~ 13 日, 東京工業大学, 横浜市

- (6) 大野 玲, 半那 純一, “有機 TFT 半導体材料の電荷輸送特性とそのモデル化”, 日本写真学会年次大会, 平成 26 年 5 月 26 日 ~ 27 日, 千葉大学, 千葉県
- (7) 大野 玲, 半那 純一, “Structural order and charge transport in liquid crystals”, 2nd International Symposium on Self-Organizing Molecular Semiconductors, 平成 26 年 2 月 27 ~ 28 日, 東京工業大学, 大岡山, 東京都
- (8) 新田 武父, 大野 玲, 半那 純一, “Charge carrier transport in highly ordered smectic mesophases”, 2nd International Symposium on Self-Organizing Molecular Semiconductors, 平成 26 年 2 月 27 ~ 28 日, 東京工業大学, 大岡山, 東京都
- (9) 大野 玲, 半那 純一, “Modeling of Charge Transport at Donor-Acceptor Interface for Bulk-Hetero Junction”, Materials research society fall meeting, 平成 25 年 12 月 1 ~ 6 日, Hynes Convention Center, ボストン, 米国
- (10) 大野 玲, 半那 純一, “有機ゲート絶縁膜 / 有機半導体 界面における電荷輸送 (II)”, 日本画像学会年次大会, 平成 25 年 06 月 12 ~ 14 日, 東京工業大学, 横浜市
- (11) Akira Ohno, Jun-ichi Hanna, “Effect of Molecular Order in Layered Organic Semiconductors”, The 1st Asian Conference on Liquid Crystals, 平成 24 年 12 月 16 ~ 18 日, Fuji Calm, Fuji-Yoshida, Yamanashi
- (12) 大野 玲, 半那 純一, “有機半導体におけるキャリア-双極子相互作用の影響と分子配向”, 2012 年日本液晶学会 討論会, 平成 24 年 9 月 5 ~ 7 日, 千葉大学, 千葉県
- (13) Akira Ohno, Jun-ichi Hanna, “Energetic and structural disorders in carrier transport of smectic liquid crystal”, 24th International Liquid Crystal Conference, 平成 24 年 8 月 19 ~ 24 日, Mainz, Germany
- (14) 大野 玲, 飯野 裕明, 半那 純一, “有機ゲート絶縁膜 / 有機半導体 界面における電荷輸送 ディスオーダーモデルによるモデル化と解析”, 第 109 回日本画像学会年次大会, 平成 24 年 6 月 11 ~ 13 日, 東

京工業大学, 横浜市

- (15) Akira Ohno, and Jun-ichi Hanna, "Diagonal disorder and carrier transport in smectic liquid crystals", Gordon Research Conference, 平成 24 年 06 月 3 ~ 8 日, Lucca, Italy
- (16) Akira Ohno, Jun-ichi Hanna, "Role of diagonal disorder on density of states function of order parameters in organic semiconductor", MRS spring meetings, 平成 24 年 04 月 9 ~ 13 日, San Francisco, California
- (17) 大野 玲, 半那 純一, "有機半導体-ゲート絶縁膜界面での Gauss 型状態密度分布の形成モデル", 2012 年春季第 57 回応用物理学関係連合講演会, 平成 24 年 3 月 15 日, 早稲田大学, 東京都
- (18) Akira Ohno and Jun-ichi Hanna, "Role of diagonal disorder on density of states function of orientational and translational orders in organic semiconductor", 1st International Symposium on Self-Organizing Molecular Semiconductors, 平成 24 年 2 月 21 日, 東京工業大学, 東京都・大岡山
- (19) Akira Ohno and Jun-ichi Hanna, "Extraction of Trap Distribution in Smectic Liquid Crystals by Time-of-Flight Spectroscopy", 1st International Symposium on Self-Organizing Molecular Semiconductors, 平成 24 年 2 月 21 日, 東京工業大学, 東京都・大岡山
- (20) Akira Ohno and Jun-ichi Hanna, "Molecular Design led by quantum chemical calculation", 1st International Symposium on Self-Organizing Molecular Semiconductors, 平成 24 年 2 月 21 日, 東京工業大学, 東京都・大岡山
- (21) Akira Ohno and Jun-ichi Hanna, "Effect of dipoles on carrier transport of selforganizing molecular semiconductor", 1st International Symposium on Self-Organizing Molecular Semiconductors, 平成 24 年 2 月 21 日, 東京工業大学, 東京都・大岡山
- (22) Akira Ohno and Jun-ichi Hanna, "Disorder model based on Marcus

hopping rate for charge carrier transport in liquid crystals", 1st International Symposium on Self-Organizing Molecular Semiconductors, 平成 24 年 2 月 21 日, 東京工業大学, 東京都・大岡山

- (23) Akira Ohno and Jun-ichi Hanna, "Diagonal disorder and carrier transport in smectic liquid crystals", 1st International Symposium on Self-Organizing Molecular Semiconductors, 平成 24 年 2 月 21 日, 東京工業大学, 東京都・大岡山
- (24) 大野 玲, 河原 紘一, 高屋敷由紀子, 飯野裕明, 半那 純一, "Marcus 式を考慮した液晶性有機半導体の電荷輸送特性の解析と再配置エネルギー", 平成 23 年 9 月 13 日, 日本液晶学会討論会, 東京都市大学, 東京都
- (25) 大野 玲, 河原 紘一, 高屋敷由紀子, 飯野裕明, 半那 純一, "Marcus 式を取り入れたディスオーダーモデルによる有機半導体の電荷輸送特性の解析とエネルギーのディスオーダーの起源", 2011 年秋季第 72 回応用物理学学会学術講演会, 平成 23 年 9 月 1 日, 山形大学, 山形県
- (26) 大野 玲, 半那 純一, "分子の双極子・四重極子が有機半導体の電荷輸送に与える影響", 第 107 回日本画像学会年次大会, きゅりあん, 平成 23 年, 6 月 8 日, 東京都・大井町
- (27) 河原 紘一, 大野 玲, 飯野 裕明, 半那 純一, "液晶物質における双極子の電荷輸送への影響", 平成 23 年 5 月 26 日, 2011 年度(社)日本写真学会年次大会, 千葉大学・千葉県

〔図書〕(計 1 件)

- (1) Jun-ichi Hanna, and Akira Ohno (Edited by Quan Li), WILEY, "Self-Organized Organic Semiconductors: From Materials to Device Applications" Chapter 3 : Charge Carrier Transport and Its Modeling in Liquid Crystals", 平成 23 年, 総ページ数 292 ページ (内 Chapter3 43 ページ)

6. 研究組織

- (1) 研究代表者
大野 玲 (Ohno Akira)
東京工業大学・像情報工学研究所・准教授
研究者番号 : 70397058