

機関番号：34504

研究種目：基盤研究(B)

研究期間：2011～2013

課題番号：23350037

研究課題名(和文)極表面分析用全反射減衰遠紫外分光分析装置の開発と高分子極表面分析への応用

研究課題名(英文)Development of attenuated total reflection-far-ultraviolet spectrometer for ultra surface and its application to ultra surface analysis of polymers

研究代表者

尾崎 幸洋(Ozaki, Yukihiro)

関西学院大学・理工学部・教授

研究者番号：00147290

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 15,200,000円、(間接経費) 4,560,000円

研究成果の概要(和文)：固体極表面分析用全反射減衰遠紫外(ATR-FUV)分光装置を開発した。この装置を用いてバルクの固体の極表面(~50 nm)の分析が可能となった。応用としてポリエチレンとナイロンのATR-FUVスペクトル測定(145-250nm)を行った。密度の異なるポリエチレンのATRスペクトルと透過スペクトルの比較、液体、固体アルカンとの比較、異なるサンプル作製法での比較から、電子状態と表面状態の変化の相関を得た。また5種類のナイロンについて同様の研究を行った。いずれの場合も、量子化学計算を用いてスペクトル変化がどのような物性や構造変化によるものが明らかにし、新規固体表面分光分析法における基礎を確立した。

研究成果の概要(英文)：We have developed an attenuated total reflection-far-ultraviolet spectrometer for a solid ultra surface. This instrument enables us to explore the surface (~50 nm) structure of a bulk solid sample. As applications we measured ATR-FUV spectra (145-250 nm) of various kinds of polyethylenes and Nylons. Based on a comparison of the ATR spectra of polyethylenes with different densities with the corresponding transmittance spectra and that with spectra of liquid and solid n-alkanes we obtained the correlation between electronic structure and surface structure. For Nylons we have carried out similar studies. For both cases we have used quantum chemical calculations to investigate band assignments and the relation between spectra and structure. In this way we have succeeded in developing the novel method for solid ultra surface.

研究分野：化学

科研費の分科・細目：複合化学・分析化学

キーワード：遠紫外分光 ポリマー 表面分析 全反射吸収 ATR ポリエチレン 電子状態 流動ベリ-遷移

1. 研究開始当初の背景

FUV 領域 (140-200nm) には分子の許容電子遷移に相当する強い吸収が観測され、それに基づく分光分析が期待される。しかし、吸光係数が大きすぎ、これまで国内・国外において液体や固体の FUV 領域の分析応用はされてこなかった。研究代表者らはこの強度の強さに注目し、測定部となる内部反射部材 (IRE) から波長程度浸み出した光の吸収に相当する ATR を用いた FUV 分光分析法を開発した。これに基づきこれまで、液体試料の分析に適した ATR-FUV 分光器の開発に取り組んできた。また、新たに時間分解 ATR-FUV の開発にも取り組んでいる。

これまでの研究の中で、液体アルカンの電子励起状態への遷移に相当する吸収が、炭素数や枝別れのような分子構造の違いにより変化することを見出した。この研究から、高分子などの骨格の構造変化によってそのスペクトルが変化するという着想を得た。高分子の遠紫外スペクトルは、ポリエチレン薄膜の報告があるのみで、その物性分析への応用は検討されていない。研究代表者らは、ポリエチレンの透過スペクトルの吸収の裾がその物性の違いにより変化することを見出し、分析応用の可能性を示した。

ATR-FUV 法は IRE から浸み出す光の変化を検出する。よってバルク試料測定でも表面の局所的情報が得られる。FUV 光は IR 光よりその浸み出し深さが約 1/100 である。つまり、ATR-FUV はこれまで表面分析に用いられてきた ATR-IR に比べて、はるかに極表面の状態を観測する手法となる。近年、高分子の表面修飾や表面処理が注目を集めているが、表面の欠陥や均一性を調べるには結晶化度や配向を、きわめて薄い領域において検出する必要がある。本研究はこのような高分子のナノメートルオーダーの配向や二次構造を官能基レベルで分析する手法の基礎を築く。

2. 研究の目的

本研究の目的は、ATR-FUV 分光器をさらに発展させ、固体試料の極表面分析用 ATR-FUV 分光分析装置を開発すること、それを高分子極表面分析に応用することである。ATR 法を用いることで、バルク試料であっても、その表面の情報を選択的に得ることができる。さらに、波長の短い ATR-FUV では分析深さが 50nm 程度となり、従来高分子の表面分析に用いられてきた ATR-IR 分光法に比べてはるかに薄い表面に局在した情報を観測できる。本研究では、開発した ATR-FUV を用いて遠紫外に吸収が観測されるポリエチレン、ナイロンの表面分析の研究を行い、それに基づいて高分子固体中の電子状態や結晶化度が ATR-FUV スペクトルにどのように反映されるかを調べる、さらに温度・圧力等の状態変化によるスペクトル変化を系統的に研究し、新たな高分子表面分析手

法を確立する。

3. 研究の方法

ATR-FUV 分光法は研究代表者らが開発した分光法であり、液体、固体など密度の高い系において吸光度の高い電子励起状態を観測する最適な方法である。本研究では、固体試料極表面を容易に再現性よく観測するための極表面分析用 ATR-FUV 分光器の設計・製作を行った。この設計は研究代表者らが行い製作は分光計器 (株) に依頼した。

図 1 に固体極表面分析用 ATR-FUV 分光装置の測定部の装置図を示す。分光部分は従来の液体用の装置と同じである。この装置は測定部 IRE が表に出ていることから、固体および液体の測定が簡便に行うことができる。固体フィルムの測定は、加圧クランプでフィルムを IRE に押し付けることで測定が可能である。FUV 領域での測定試料への光の潜り込み深さは 30-50 nm であり、赤外分光法の 100 分の 1 程度である。そのことから、分子の極表面の分析に適していると考えられる。

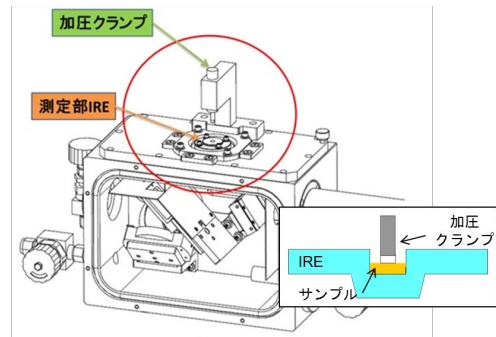


図 1 固体用 ATR-FUV 分光器の装置図

4. 研究成果

研究成果の第一は固体極表面分析用 ATR-FUV 分光装置の開発である。次にその応用としてポリエチレンとナイロンの ATR-FUV スペクトル測定 (145-250nm) を行った。密度の異なる 18 種類のポリエチレン (high-density polyethylenes (HDPEs), linear low-density polyethylenes (LLDPEs), low-density polyethylenes (LDPEs)) の ATR スペクトルと透過スペクトルの比較、液体、固体アルカンとの比較、異なるサンプル作製法での比較から、電子状態と表面状態の変化の相関を得た。

ナイロンについては 5 種類のナイロンについて同様の研究を行った。いずれの場合も、量子化学計算を用いてスペクトル変化がどのような物性や構造変化によるものか明らかにし、新しい分光分析法における基礎を確立した。

(1) 減衰全反射遠紫外分光法を用いた
ポリエチレン表面の電子状態の研究
- ポリエチレン表面のスペクトルと表面構造の解析

物性の異なるポリエチレンのATR-FUVスペクトル

新たに開発した装置を用いて5種類のHDPE、6種類のLLDPE、7種類のLDPEのATR-FUVスペクトルを測定した。全ての分子において、156 nm付近に強いバンドが観測された。それぞれこのバンドの強度の変化も見られるが、強度の変化はHDPEが一番大きく、LLDPEとLDPEではあまり変わらない。これはサンプルの種類による変化ではなく、測定箇所による変化である。LLDPEとLDPEにおいて、180-200 nm付近にブロードなバンドが観測された。このバンドが観測されたサンプルは結晶化度が33.3%以下であったが、バンドの強度や156 nm付近のバンドと180-200 nm付近のバンドの強度比の順になっているわけではなかった。

研究代表者らはすでに液体 *n*-アルカン (C_nH_{2n+2} ; $n=5-14$) と C_6H_{14} 異性体のATR-FUVスペクトルを測定している。*n*-アルカンのATR-FUVスペクトルには149 nm付近に強いバンドが、161 nm付近に弱いショルダーが観測された。149 nm付近のバンドはアルカン分子の炭素数増加に伴い、強度が増加し、低エネルギー側へシフトし、最終的に153 nmに収束した。最近、研究代表者らが行った量子化学計算の結果、アルカン分子の149 nm付近のバンドはHOMO-1からRydberg 3pの遷移とHOMO-2からRydberg 3pの遷移の重なりと帰属された。ポリエチレンの高エネルギー側のバンドは156 nmに観測されるので、同じHOMO-1からRydberg 3pの遷移とHOMO-2からRydberg 3pの遷移の重なりと帰属できることが示唆される。

固体 *n*-アルカン (C_nH_{2n+2} ; $n=18-36$) のATR-FUVスペクトルでは、全ての分子において、152-156 nmにバンドが観測された。炭素数28の *n*-オクタコサンまではピーク位置が153 nm付近であるのが、炭素数30の *n*-トリアコンタンになった途端に、ピーク位置が156 nm付近までシフトしたことがわかる。これは低分子の *n*-アルカンの炭素鎖を伸ばしていくと、最終的に156 nmに収束し、ポリエチレンのピーク位置と一致するということを支持する。また、固体 *n*-アルカンでは低エネルギー側にブロードなバンドが観測されない。ポリエチレンでは、結晶化度の高いHDPEにおいてブロードなバンドが観測されないことから、低エネルギー側のバンドは非晶質部分の情報を含んでいると考えられる。

物性の異なるポリエチレンの透過FUVスペクトル

5種類のHDPE、6種類のLLDPE、7種類のLDPEの透過FUVスペクトルを測定した。ATR-FUVスペクトルと同様に、透過FUVスペクトルにも180-200 nmに吸収が観測されたが、HDPE、LLDPEのスペクトルには複数の小さな吸収帯が現れた。一方、LDPEのスペクトルには188 nm付近に顕著なバンドが観測された。それぞれのLDPEの結晶化度と188 nm

付近のバンドの強度の関係をプロットした結果から、結晶化度が高くなるにつれて、バンドの強度が弱くなることから、188 nm付近のバンドは非晶質由来のバンドであることが示唆される。

透過FUVスペクトルとATR-FUVスペクトルの比較を行った。低エネルギー側に小さなバンドが観測されたが、このバンドの位置は透過、ATRの両方において、ほぼ同じである。透過測定において、光路長はフィルムの厚さに相当するので、約30 μm である。それに対して、ATR測定での光路長はエバネッセント波の潜り込み深さに相当するので、約50 nmである。ランベルト・ベールの法則に従うと、ATR測定における吸光度は、透過測定における吸光度の1/600になる。しかし、本実験ではおよそ1/10にしかなっていない。このことから、ATR-FUV測定では極表面に存在している情報を得ることができるということがわかった。

量子化学計算によるスペクトルの解釈

本研究では *n*-ペンタンをモデル分子として、分子間の距離や分子の数を変えて量子化学計算を行った。TD-CAM-B3LYPの計算手法でポリエチレンの結晶構造の一部を再現したモデルの計算により計算スペクトルを得た。この計算結果は結晶化度の高いHDPEの実測スペクトルと良い一致を示した。このことから、ポリエチレンのATR-FUVスペクトルにおける156 nmの吸収バンドの帰属を明らかにすることができたと考える。

次に、実験結果から非晶質部分に起因すると思われる180-200 nmのピークについて考察する。前述した結晶構造の一部を再現したモデルをいかに変化させると実験のような値が得られるのか、パラメータを変えて計算を行った。その結果、次のように分子間距離の変化において該当するスペクトルを得た。*n*-ペンタンのダイマーモデルを用いて、分子間相互作用が励起スペクトルに及ぼす効果について検討した。分子座標のx軸方向に構造決定した分子を2つy、z軸に平行になるように並べた。x軸方向のみ分子間の距離を6 Åから3 Åまで1 Åずつ変化させた構造について計算を行った。分子間距離が6 Å、5 Åでは135 nm付近の強いバンドが計算されたが、特に大きな変化が見られなかった。分子間距離4 Åからこのバンドの強度が弱くなり、長波長側にショルダーが計算された。3 Åでは135 nm付近のバンドの強度が弱くなり、長波長側に同程度の強度のバンドが得られた。このことはLLDPE、LDPEで観測される180-200 nmのブロードなバンドが非晶質部分で部分的に分子鎖の距離が短くなるために現れるということを示唆している。

量子化学計算より、全てのポリエチレンに観測される156 nm付近のバンドは(C(2p)-H)-Rydberg 3s, 3p遷移であることが示された。

(2) 減衰全反射遠紫外分光法を用いたポリエチレン表面の電子状態の研究 - ポリエチレンの表面挙動の遠紫外スペクトルによる観測

本研究では、プレスフィルムとキャストフィルムの2種類のLDPEフィルムのATR-FUVスペクトルの測定を行い、作製法の違いによる表面の電子状態についての検討を行った。次に、表面の情報を観測するATR-FUVスペクトルと内部の情報を観測する透過FUVスペクトルの比較を行った。また、温度変化によるATR-FUVスペクトルの結果について述べる。サンプル作製法の違いや同一サンプルにおける温度依存性の観測により、ATR-FUVスペクトルの変化が何によるものであるかといった化学的情報を引き出すことが本研究の目的である。

作製法の異なるポリエチレンのATR-FUVスペクトル

図2にLDPEのプレスフィルムとキャストフィルムのATR-FUVスペクトルを示す。どちらのフィルムにおいても、156 nm付近にバンドが観測された。プレスフィルムにおいては190 nm付近に1つの吸収バンドがあるのみであるが、キャストフィルムでは195 nm付近の吸収バンドの他に、220 nm付近に吸収が現れた。また強度比も大きく異なる。

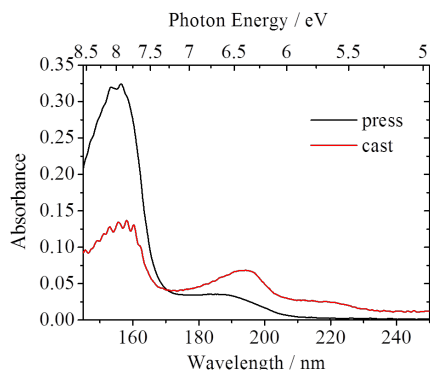


図2 LDPEのプレスフィルムとキャストフィルムのATR-FUVスペクトル

サンプル作製法の違いにより、以下のような違いが生じると考えられる。プレスフィルムでは、ホットプレス機から外し空気に触れた際、急冷され、アモルファス部分が多くなる。一方、キャストフィルムでは、空気と溶液の界面から溶媒が徐々に蒸発していくので、プレスフィルムとは結晶性または配向が異なると考えられる。ATR-FUV測定では、サンプル表面の数十nm程度の範囲を測定していることから、特にサンプル作製により生じたサファイアとポリエチレン界面の構造の違いがスペクトルに現れたと考えられる。

作製法の異なるポリエチレンの透過FUVスペクトル

LDPEのプレスフィルムとキャストフィルムの透過FUVスペクトルを測定した。ATR-FUVスペクトルと同様に、透過FUVスペクトルに

も180-200 nmに吸収が観測されたが、顕著な違いは見られなかった。

ここで、透過FUVスペクトルとATR-FUVスペクトルの比較を行う。低エネルギー側の強度の弱いバンドの位置は透過、ATRの両方において、ほぼ同じである。透過測定において、測定範囲はフィルム全体である。プレスフィルムとキャストフィルムではスペクトルに顕著な違いが見られなかった。それに対して、ATRでの測定範囲はエバネッセント波の潜り込み深さに相当するので、深さ方向に約50 nmの極表面の領域である。その極表面の測定で、プレスフィルムのスペクトルとキャストフィルムのスペクトルには顕著な違いが見られた。以上のことから、ホットプレスとキャストといった異なるサンプル作製法により生じた極表面の構造の違いを分析できることがわかった。

キャスト法で作製したポリエチレンのATR-FUVスペクトルの温度変化

温度変化実験では、はじめに室温でスペクトルを測定し、40 °Cから20 °C刻みで120 °Cまで測定した後、ヒーターを外し、もう一度室温に戻してから測定を行った。室温でのスペクトルを見ると156 nm付近と195 nm付近、220 nm付近にバンドが観測されることがわかる。40 °Cで270 nm付近にも吸収が現れ始めた。120 °Cまで195 nm付近と220 nm付近、270 nm付近のバンドは徐々に強度が強くなっていき、最後に室温に戻すと、はじめの室温のものと同じになった。

n-アルカンの温度変化測定との比較を行った。*n*-トリデカン(*n*-C₁₃H₂₈)の0 °Cから-60 °Cまで20 °C刻みのATR-FUVスペクトルの温度変化を測定した。低温になるにつれ150 nm付近のピーク強度が減少し、200, 230, 260 nm付近にバンドが出現した。*n*-アルカンは十分低温では低温秩序相と呼ばれる結晶層となることが知られており、-40 °C以下から現れた200, 230, 260 nmの特異的なバンドは*n*-アルカンの結晶化に由来するものであると考えられる。*n*-アルカンの降温測定で現れた長波長側の3つのバンドのうち、強度の大きな2つのバンドのエネルギー間隔は、LDPEキャストフィルムで観測された強度の大きな2つのエネルギー間隔がほぼ一致することがわかった。

(3) 固体用減衰全反射遠紫外分光装置を用いたナイロン極表面の遠紫外スペクトルの測定と量子化学計算によるバンドの帰属

ナイロンにおける表面の電子状態を知り、その反応性などを検討することは高分子の特性(生体適合性、吸収性等)を考えるうえで重要である。本研究では、5種類の構造の異なるナイロンのATR-FUVスペクトルの変化を調べ、それらの電子状態について研究した。バンドの帰属には量子化学計算を行った。

ナイロンの ATR-FUV スペクトル

図3 に5種類のナイロンおよび液体アミド (NMA) の ATR-FUV スペクトルを示す。

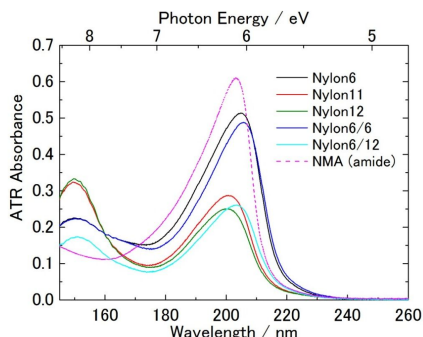


図3. ナイロン キャストフィルムの ATR-FUV スペクトル

すべてのナイロンのスペクトルにおいて、液体アミドで観測された 200 nm 付近に吸収バンドが観測された。アミドの量子化学計算の結果から、この吸収はアミド結合による $\pi \rightarrow \pi^*$ 遷移が主に寄与する強いバンドであると結論できる。一方、150 nm 付近に、液体アミドのスペクトルでは吸収が観測されていない領域に、ピークが存在し、その強度は化学構造の違いにより変化した。この吸収バンドはナイロン 6 に比べ、ナイロン 11 およびナイロン 12 で強度が大きい。炭素鎖が増えることで、強度が増すという特徴を持つことから、炭素鎖由来の吸収バンドに帰属したこの特徴は *n*-アルカンの ATR-FUV スペクトルの特徴に似ている。

量子化学計算によるバンドの帰属

ナイロンの ATR-FUV スペクトルの吸収バンドについて量子化学計算との比較を行い、その詳細な帰属を検討した。TD-CAM-B3LYP の計算方法を用いてナイロン 6、ナイロン 11、ナイロン 12 の繰り返しユニットであるモノマー分子の計算スペクトルを得た。計算結果から、170 nm と 140 nm 付近に吸収バンドが存在していることがわかる。これは、それぞれ ATR-FUV スペクトルで観測された 200 nm 付近のアミドと 140 nm 付近の炭素鎖由来の吸収バンドであると考えられる。それぞれの吸収バンドの振動子強度に注目してみると、170 nm 付近ではナイロン 6、11、12 に対してほぼ同じ強度を示した。ナイロンは分子間のアミド結合部分で強い水素結合を形成していると考えられるが、モノマーの真空状態の計算では、そのような相互作用は考慮されず、170 nm のバンドに変化がないと考えられる。170 nm に計算された遷移の占有軌道となる σ 軌道と非占有軌道となる Rydberg 3p 軌道はアミド結合に局在していることがこの計算から示された。ナイロン 11、12 に対しても同様の結果が得られた。液体アミド (NMA) の TD-CAM-B3LYP 法から得られた計算スペクトルで一番強く観測された $\pi \rightarrow \pi^*$ 遷移は、その

軌道がナイロンの および π と同様であることがこれらの計算の比較から示された。一方、140 nm 付近ではナイロン 6、11、12 と炭素鎖が増えるごとに強度が大きくなり、実験で観測された 150 nm のバンド変化を再現している。140 nm に計算された遷移の占有軌道である σ 軌道と非占有軌道である Rydberg 3p 軌道の分子軌道は炭素に局在していることがわかった。アルカン (*n*-ヘキサン) の TD-CAM-B3LYP 法から得られた計算スペクトルとの中で最も強い遷移の分子軌道を図 4 に示す。ナイロンのモノマーで計算されたものと比べると、その σ 軌道が類似している。このことは、ナイロンにおいて炭素鎖の増加にしたがってバンドの強度が大きくなることを支持する。以上の結果から、ナイロンで観測される吸収バンドが、アミド由来のものと、炭素鎖由来のものであることがわかり、それぞれの遷移の挙動がナイロンでも現れていることが示された。

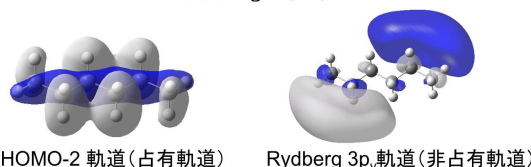
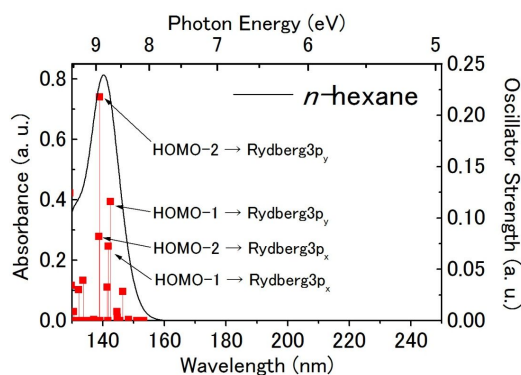


図4. TD-CAM-B3LYP 法によるヘキサンの計算スペクトルと最も強い遷移の分子軌道

本研究により、ナイロンの極表面における電子状態の情報を得たことから、液相の電子状態の研究から固相の電子状態の研究へ拡張することができたと言える。そして、この研究結果は ATR-FUV 分光システムを用いた固体の極表面分析の開発を一歩進める結果になったに違いない。

5. 主な発表論文等

- (1) 雑誌論文 (計 5 件、すべて査読あり)
 1) Yusuke Morisawa, Manaka Yasunaga, Ryoich Fukuda, Masahiro Ehara, and Yukihiro Ozaki, Electronic transitions in liquid amides studied by using attenuated total reflection far-ultraviolet spectroscopy and quantum chemical calculations, The

Journal of Chemical Physics, 139, 2013, 154301-1-9

DOI:10.1063/1.4824383

2) Yusuke Morisawa, Takeyoshi Goto and Akifumi Ikehata, Noboru Higashi and Yukihiro Ozaki, Far-Ultraviolet(FUV) Spectroscopy in the Solid and Liquid States, Principle, Instrumentation, and Application of, Encyclopedia of Analytical Chemistry, 2013, 1-21

DOI:10.1002/9780470027318a9279

3) Takeyoshi Goto, Akifumi Ikehara, Yusuke Morisawa and Yukihiro Ozaki, Electronic Transitions of Protonated and Deprotonated Amino Acids in Aqueous Solution in the Region 145-300nm Studied by Attenuated Total Reflection Far-Ultraviolet Spectroscopy, The Journal of Physical Chemistry, 117, 2013, 2517-2528

DOI:10.1021/jp4008416

4) Yusuke Morisawa, Shin Tachibana, Masahiro Ehara, and Yukihiro Ozaki, Elucidating Electronic Transition from Orbitals of Liquid n- and Branched Alkanes by Far-Ultraviolet(FUV) Spectroscopy and Quantum Chemical Calculations, The Journal of Physical Chemistry, 116, 2012, 11957-11964.

DOI: 10.1021/jp307634m

5) Yukihiro Ozaki, Yusuke Morisawa, Akifumi Ikehata, Noboru Higashi, Focal Point Review- Far-Ultraviolet Spectroscopy in the Solid and Liquid States: A Review, Applied Spectroscopy, 66, 2012, 1-25

DOI: 10.1366/11-06496

(2)学会発表(計13件)

1) 谷村恵里香、減衰全反射遠紫外分光法によるポリエチレンの表面構造の研究 作製方法の違いおよび温度依存性、日本分光学会年次大会、2013年11月21日、大阪大学基礎工学部

2) 後藤剛喜、多角入射減衰全反射遠紫外分光法によるアルミナ表面吸着水とバルク水の第一電子遷移の解析、日本分光学会年次大会、2013年11月19日、大阪大学基礎工学部

3) 池羽田晶文、遠紫外領域に観測される電子遷移吸収を用いた溶液の水素結合状態分析、第73回分析化学討論会、2013年5月18日、北海道大学函館キャンパス、函館

4) 谷村恵里香、減衰全反射遠紫外分光法を用いたポリエチレンのスペクトルと表面構造の研究、第73回分析化学討論会、2013年5月18日、北海道大学函館キャンパス、函館

5) 森澤勇介、減衰全反射遠紫外分光法によるナイロンの電子スペクトルを用いた表面分析、第73回分析化学討論会、2013年5月18日、北海道大学函館キャンパス、函館

6) Yusuke Morisawa Far-ultraviolet spectroscopy in solid and liquid, Scix 2012(招待講演)、2012年10月4日、カンザスシティー国際会議場、USA

7) 谷村恵里香、減衰全反射遠紫外スペクトルによるポリエチレンの極表面分析 AFM測定との比較、日本分析化学会第61年会、2012年9月20日、金沢大学

8) 泰永愛佳、減衰全反射遠紫外分光法によるナイロン極表面の電子状態の研究、第6回分子科学討論会、2012年9月18日、東京大学

9) 森澤勇介、減衰全反射遠紫外分光法と量子化学計算を用いた凝集相におけるアルカンの電子状態の研究~Rydberg状態を含む電子化学の可能性~、第6回分子科学討論会、2012年9月18日、東京大学

10) 森澤勇介、減衰全反射遠紫外分光法による凝縮相における飽和アルカンの電子遷移の研究、日本化学会第92春季年会、2012年3月25日、慶応大学日吉・矢上キャンパス

11) 泰永愛佳、減衰全反射遠紫外分光法を用いた液体アミドの電子遷移の観測と帰属、日本化学会第92春季年会、2012年3月25日、慶応大学日吉・矢上キャンパス

12) S. Tachibana, Spectra Analysis for Liquid Alkane in Far Ultraviolet Region; Attenuated Total Reflectance Far Ultraviolet Spectra and Ab-initio Calculation, The 8th Korea-Japan Symposium on Frontier Photoscience (KJFP-2011), 28th October 2011, Konkuk University, Seoul, South Korea

13) 森澤勇介、時間分解減衰全反射遠紫外分光法による溶液中の光解離の研究、日本分析化学会第60年会、2011年9月14日、名古屋大学東山キャンパス、名古屋市

(3)図書(計0件)

(4)産業財産権 なし

(5)その他

ホームページ等

<http://science.kwansei.ac.jp/~ozaki/index.html>

6. 研究組織

(1)研究代表者

尾崎 幸洋 (OZAKI, Yukihiro)

関西学院大学・理工学部・教授

研究者番号: 00147290

(2)研究分担者

佐藤 春実 (SATO, Harumi)

神戸大学・人間発達環境学研究科・准教授

研究者番号: 10288558

森澤 勇介 (MORISAWA, Yusuke)

近畿大学・理工学部・講師

研究者番号: 60510021