

機関番号：12608

研究種目：基盤研究(B)

研究期間：2008～2010 年度

課題番号：20350035

研究課題名(和文) Z 偏光ラマン分光法と MAIR 分光法による非平滑界面の構造解析

研究課題名(英文) Z-polarization Raman spectroscopy and MAIR spectroscopic study of coarse surfaces

研究代表者 長谷川 健 (Hasegawa Takeshi)

東京工業大学大学院理工学研究科・連携准教授

研究者番号：30258123

研究成果の概要(和文)：表面が滑らかでない薄膜中の分子配向を解析する手法を、すでに独自に開発を進めている MAIR 分光法とともに、ラマン分光法での実現を目指した。ラマン分光法は、極めて細く絞ったレーザー光により解析するため、薄膜のむらに影響されにくく、また赤外分光法では得られない C=C や N≡N 伸縮振動バンドのような、構造異性化と構造異方性を同時に考える上で鍵となる化学構造を明らかにできる点で重要である。本研究では、Z 偏光測定に相当する構造異方性に関する情報を定量的に得るため、定量精度の高い偏光ラマン分光装置をくみ上げた。さらに、レーザー光照射・光散乱の過程を、光学異方性を考慮しながら厳密に理論化し、偏光ラマンスペクトルから官能基の分子配向を求める手法を確立した。

研究成果の概要(英文)：A technique of molecular orientation analysis in thin films having a coarse surface using Raman spectroscopy has been developed, so that the results would be discussed with those obtained by MAIR spectroscopy. Visible LASER light can be sharply focused on a sample, which is impervious to the surface roughness of the sample. In addition, the C=C and N≡N stretching vibration bands that are not observed by IR spectroscopy can readily be analyzed by Raman spectroscopy, which is a great benefit to reveal isomeric and anisotropic structures. In the present study, to analyze anisotropic structure quantitatively, highly accurate polarization Raman spectrometer has been built, which corresponds to measurements using the Z-polarization. An exact theory considering anisotropic LASER irradiation and light scattering processes has also been developed for drawing quantitative molecular information from the polarized Raman spectra.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2008 年度	12,400,000	3,720,000	16,120,000
2009 年度	1,700,000	510,000	2,210,000
2010 年度	900,000	270,000	1,170,000
年度			
年度			
総計	15,000,000	4,500,000	19,500,000

研究分野：界面の振動分光学

科研費の分科・細目：複合科目・分析化学

キーワード：MAIR 分光法・Z 偏光・ラマン分光法・非平滑界面・有機薄膜

1. 研究開始当初の背景

申請者はこれまで、固体基板上に作製した薄膜の分子配向を定量的に明らかにする分

光学的手法の構築に取り組み、外部反射法および反射吸収法による定量的解析法に加え、MAIR 分光法の開発を研究してきた。いずれ

も、Langmuir-Blodgett (LB) 膜のような、基板および膜の平滑性と膜の結晶性が高いものを対象としてきたため、液液界面のような揺らぎのある界面や、高分子薄膜のような厚さが不均一な界面、それに金属微粒子を付着させた平滑性の悪い界面などの解析には限界があった。

本提案課題では、これまでの一連の MAIR 分光法の開発研究から、MAIR 分光法の原理が非平滑界面の解析に適していることに着目し、新しい振動分光分析法を開拓する。仮想的な縦波光による垂直透過測定を実現させる計測原理をもつ分光法は、Fresnel 理論の拘束を受けない、唯一の分光測定法である。そこで、これを発展させることで、従来の方法では十分な解析のできなかった高分子薄膜の高次構造の解析が可能になることを示し、汎用性のある不均一薄膜材料解析技術に発展させる。

2. 研究の目的

従来の分光分析法による界面の分析は、いわゆる‘規定された’ (well-defined) な界面に、分子が結晶性よく並んで配列している場合を分析対象としている場合が多い。赤外分光法による超薄膜の構造解析の場合を例にとると、透過および反射光学系を用いた吸収スペクトルのバンド強度から膜中の分子配向を解析する際、支持基板が理想的に平滑で、薄膜も平行な平滑面が維持されているものと仮定されている。これは、Fresnel 反射の理論によって薄膜中の電場異方性を解析する必要があるからである。

本研究では、こうした解析上の都合から薄膜の構造解析に実験的制約が生ずる問題を克服するため、独自に開発を進めている多角入射分解 (MAIR) 分光法に Z-偏光ラマン分光法の考え方を組み合わせることで、MAIR 分光法の未活用能力を最大限に発揮させ、非平滑な界面の構造解析を可能にする振動分光法を開拓する。この課題の実現により、結晶性が低く厚みも不均一な液晶・高分子薄膜の分子配向解析に道が開かれるだけでなく、表面増強ラマン (SERS) 活性表面のような金属微粒子による非平滑構造の界面が分光学的に果たす役割を解析するなど、新しい界面物理計測の道が開かれる。

3. 研究の方法

非平滑な厚みや結晶性の低い薄膜の構造および分子間相互作用を官能基単位で明らかにする分析法を、独自に開発を進めている赤外多角入射分解 (MAIR) 分光法にラマン分光法を組み合わせ、先端的な振動分光法として確立していく。MAIR 分光法の機能と有用性は、赤外分光法との組み合わせで明らかにされつつあるが、非平滑界面や構造の揺らぎをもつ高分子薄膜などへの適用を視野に入

れた研究は、偏光ラマン分光法を加えた新しい展開を必要とする。具体的な方法は、以下に研究成果とともに述べる。

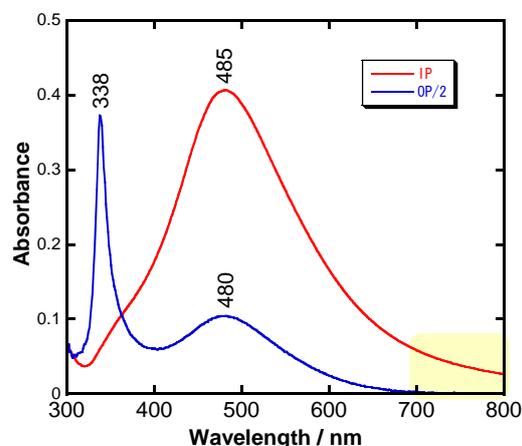
4. 研究成果

LB 膜のように、比較的整った 2 次元結晶～液晶構造をもった薄膜の構造を、結晶性の程度にかかわらず明らかにするため、赤外および可視 MAIR 分光法を確立することにした。赤外 MAIRS は、すでに実績を積みつつあったので、当初の課題としては可視域での MAIR 分光法を実現することにあつた。

可視域での MAIRS は、ただ単に測定波長を赤外から可視域にずらせば実現するものではない。測定する光に透明な薄膜支持基板の屈折率は、赤外域では 3 以上の大きなものがあるが、可視域での屈折率は通常 2 以下であり、この条件では MAIRS の測定が破綻してしまうことがわかっている。

この問題を克服するため、pMAIRS という偏光を利用した MAIRS の測定理論を構築した。また、測定最適化を行うための実験および理論的な解析手法も構築した。これにより、はじめて可視 MAIRS が実現した。

可視 MAIRS の能力を端的に発揮できる非平滑薄膜として、最初の試料にはガラス基板上の銀の蒸着膜 (厚さ 5 nm) を選んだ。つぎの図に、世界初の可視 MAIRS スペクトルを示す。



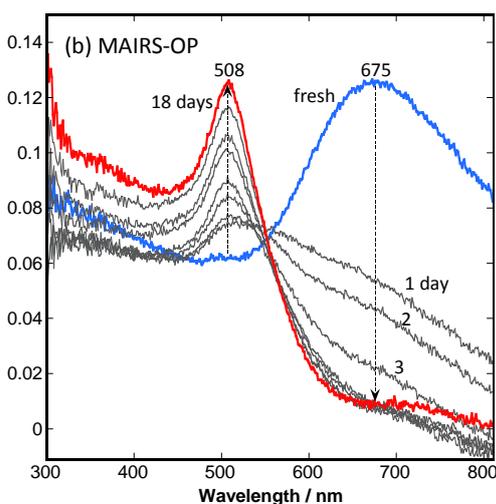
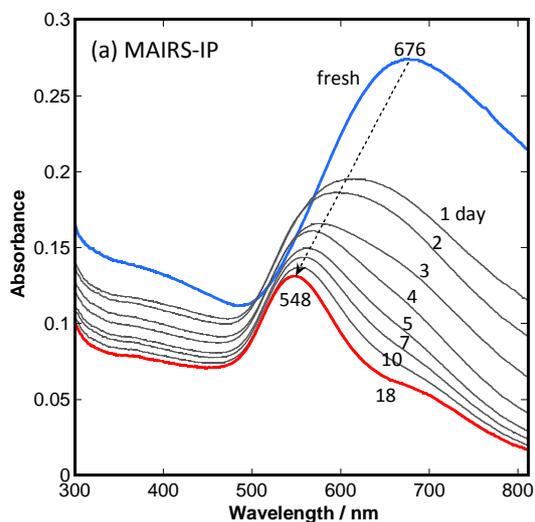
この図の赤 (IP) および青 (OP) のスペクトルは、それぞれ膜に平行および垂直な遷移モーメントをとらえたスペクトルで、いずれも局在型のプラズモンポラリトンによる光吸収に対応する。

過去の研究で、斜入射測定によるプラズモン吸収異方性の研究はあったが、IP および OP スペクトルが混ざった結果しか得られなかった。また、山口・金原らによる研究で、IP と OP を独立させた測定例があったが、結果を得るのに膜や基板の屈折率を必要とするため、任意性が避けられなかった。

可視 MAIRS によって、こうした任意性を入れることなく、初めて IP と OP スペクトルの

同時測定に成功した。また、これにより、表面が粗い薄膜を、局在プラズモンを足がかりに表面構造と関連づけて議論する分光法が確立できた。

この手法を、表面増強ラマン散乱 (SERS) の研究に近づけるため、金蒸着ガラス基板を作製し、その可視 MAIRS スペクトルを測定したところ、つぎに示すような強い経時変化が現れた。



(a) の IP スペクトルと (b) の OP スペクトルは、大きく異なる変化を示している。この知見は可視 MAIRS 法があつて初めて得られたものである。

これらのスペクトル変化を、固有値解析により解析したところ、OP スペクトルは2つのスペクトルの線形結合で表現できる変化であるのに対し、IP スペクトルは無限な成分数をもつ、シフト型の変化であることがわかった。

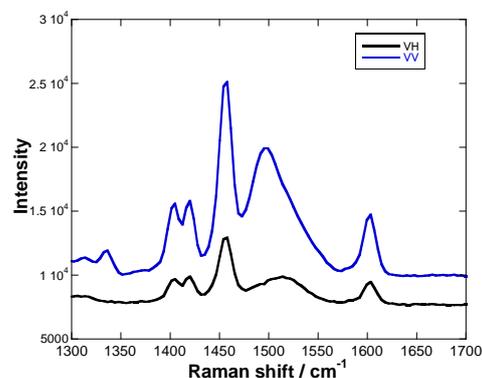
AFM や SEM を用いた試料表面観察の結果、スペクトルの変化は表面トポグラフィーの変化に対応していることがわかった。また、FDTD 法による電磁場計算から、局在プラズモンを電気双極子と見立てたとき、双極子相互

作用が head-to-tail 型のとくと face-to-face 型のとくと大きく異なるスペクトルを与え、それが可視 MAIRS スペクトルをよく説明できることがわかった。これらの成果は、現在論文にまとめて投稿する段階にある。

他方、偏光ラマン分光法の準備も、実験・理論の両面からほぼ完成に近づいている。偏光ラマンスペクトルを、光学異方性を考慮して解析するために、潮田らの理論を拡張してつぎの4段階で定式化した。

$$\begin{aligned} \mathbf{E}_{loc} &= \mathbf{F}\mathbf{E}_{in} \\ \mathbf{a}_L &= \mathbf{U}^{-1}\mathbf{a}_M\mathbf{U} \\ \mathbf{P} &= \mathbf{a}_L\mathbf{E}_{loc} \\ \mathbf{E}_{SC} &= \mathbf{F}'\mathbf{P} \end{aligned}$$

ここで、最後の式はローレンツの相反定理と呼ばれるもので、これを組み込むことであらゆる薄膜構造に対応した散乱理論が記述できる。また、座標変換行列 \mathbf{U} を組み込むことで異方性を考慮した2階のテンソルを自由に回転させ、分子配向と関連づけられるようになっている。



試料として用いた Azo-Lue3 (千葉大の山田哲弘教授提供) のクロロホルム溶液の偏光ラマンスペクトルから、 $N=N$ 伸縮振動バンドの偏光解消度が $1/3$ (上の図) であることがわかり、このバンドに関してはラマン散乱テンソルが zz 成分のみ非ゼロであると結論できた。

これをもとに、Azo-Leu3 薄膜のラマンスペクトルを解析したところ、得られた分子配向は、可視 MAIRS 解析から得られた描像とよく一致した。

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 17 件)

1. Yuki Itoh, Maiko Muro and Takeshi Hasegawa "Quality Evaluation of Polarization Modulation Infrared Reflection Absorption Spectra of a Langmuir Monolayer on Water Dependent on Angle of Incidence and Molecular Orientation"

- Appl. Spectrosc.* **64**(12), 1374-1378 (2010).
2. Takeshi Hasegawa, Shuntaro Tatsuta and Yukiteru Katsumoto "Infrared Spectroscopic Study of Molecular Interaction of Tacticity-Controlled Poly(N-isopropylacrylamide) in a Cast Film Deposited on a Solid Substrate" *Anal. Bioanal. Chem.* **397**, 2203-2209 (2010).
 3. Maiko Muro, Yuki Itoh and Takeshi Hasegawa "A Conformation and Orientation Model of the Carboxylic Group of Fatty Acids Dependent on Chain Length in a Langmuir Monolayer Film Studied by Polarization-Modulation Infrared Reflection Absorption Spectroscopy" *J. Phys. Chem. B* **114**(35), 11496-11501 (2010).
 4. Terumi Sakabe, Satoru Yamazaki and Takeshi Hasegawa "Analysis of Cross-Section Structure of a Polymer Wrapping Film Using Infrared Attenuated Total Reflection Imaging Technique with an Aid of Chemometrics" *J. Phys. Chem. B* **114**(20), 6878-6885 (2010).
 5. Hiroyuki Kakuda, Tetsuo Okada, and Takeshi Hasegawa "Temperature-Induced Molecular Structural Changes of Linear Poly(ethylene imine) in Water Studied by Mid-Infrared and Near-Infrared Spectroscopies" *J. Phys. Chem. B* **113**, 13910-13916 (2009).
 6. Fuquan Dang, Takeshi Hasegawa, Vasudevanpillai Biju, Mitsuru Ishikawa, Noritada Kaji, Takao Yasui, and Yoshinobu Baba "Spontaneous Adsorption on a Hydrophobic Surface Governed by Hydrogen Bonding" *Langmuir* **25**, 9296-9301 (2009).
 7. Yuki Itoh, Akiyoshi Kasuya, and Takeshi Hasegawa "Analytical Understanding of Multiple-Angle Incidence Resolution Spectrometry Based on a Classical Electromagnetic Theory" *J. Phys. Chem. A* **113**(27), 7810-7817 (2009).
 8. Sou Ryuzaki, Takeshi Hasegawa, and Jun Onoe "X-ray diffraction and infrared multiple-angle incidence resolution spectroscopic studies on the crystal structure and molecular orientation of Zinc-porphyrin thin films on a SiO₂/Si substrate" *J. Appl. Phys.* **105**, 113529-1 - 6 (2009).
 9. Takeshi Hasegawa, Katsuhiko Taniguchi and Yoshiko Sato "Selection of Modulation Frequency of FT-IR Equipped with an MCT Detector for Thin-Film Analysis" *Vib. Spectrosc.* **51**, 76-79 (2009).
 10. Hiroyuki Kakuda, Tetsuo Okada, Makoto Otsuka, Yukiteru Katsumoto and Takeshi Hasegawa "Multivariate Analysis of DSC-XRD Simultaneous Measurement Data: a Study of Multistage Crystalline Structure Changes in a Linear Poly(ethylene imine) Thin Film" *Anal. Bioanal. Chem.* **393**, 367-376 (2009).
 11. Hiroyuki Kakuda, Tetsuo Okada and Takeshi Hasegawa "Anisotropic Molecular Structure in Dip-Coated Films of Linear Poly(ethylene imine) Studied by Infrared Multiple-Angle Incidence Resolution Spectrometry" *J. Phys. Chem. B* **112**(41), 12940 -- 12945 (2008).
 12. Masaya Matsunaga, Toshio Suzuki, Kiyoshi Yamamoto and Takeshi Hasegawa "Molecular structure analysis in a dip-coated thin film of poly (2-perfluoro octylethyl acrylate) by infrared multiple-angle incidence resolution spectrometry" *Macromolecules* **41**(15), 5780- 5784 (2008).
 13. Takeshi Hasegawa, Yuki Itoh and Akiyoshi Kasuya "Development of UV-Visible Multiple-Angle Incidence Resolution Spectrometry and Application Study of Anisotropic Surface-Plasmon Excitation in a Silver Thin Film on a Glass Substrate" *Anal. Chem.* **80**(14), 5630-5634 (2008).
 14. Kentaro Tanaka, Taishi Tanaka, Takeshi Hasegawa, and Mitsuhiko Shionoya "A Close-packed, Highly Insulating Organic Thin Monolayer on Si(111)" *Chem. Lett.* **37** (4), 440-441 (2008).
 15. Takeshi Hasegawa, Yoshiko Sato, Hiroyuki Kakuda, Changqing Li, Jhony Orbulescu, Roger M. Leblanc "Study of Molecular Aggregation of Artificial Amyloid in a Langmuir Monolayer by Infrared Spectroscopy" *J. Phys. Chem. B* **112**(5), 1391-1396 (2008).
 16. Takeshi Hasegawa, Yuki Itoh, and Akiyoshi Kasuya "Experimental Optimization of p-Polarized MAIR Spectrometry Performed on a Fourier Transform Infrared Spectrometer" *Anal. Sci.* **24**(1), 105 -- 109 (2008).
 17. Hiroyuki Kakuda, Norihiro Yamada, Maki Akita, Sayaka Yoshida, Yukie Kiuchi, and Takeshi Hasegawa "Infrared Spectroscopic Study of Molecular Fastening by Mechanical Compression in an Elastic Film" *Chem. Lett.* **37**(1), 56-57(2008).
- [学会発表] (計 37 件)
1. 室麻衣子, 伊藤雄樹, 長谷川健 "飽和脂肪酸ラングミュア単分子膜の構造の鎖長依存性: 偏光変調赤外分光法による研

- 究”日本化学会第 91 春季年会, 2011 年 3 月 26 日, 横浜
2. Takeshi Hasegawa, “Use of chemometrics as a theoretical framework for development of a novel spectroscopic technique” Pacifichem 2010, Dec. 17, 2010, in Honolulu, HI
 3. Maiko Muro, Tetsuo Okada, Takeshi Hasegawa “Study of molecular interaction in a Langmuir monolayer film of a fatty acid using polarization modulation infrared reflection absorption spectroscopy” Pacifichem 2010, Dec. 17, 2010, in Honolulu, HI
 4. Yuki Itoh, Norihiro Yamada, Takeshi Hasegawa “Ordered molecular structure of an amphiphilic azobenzene derivative containing a peptide chain in a Langmuir-Blodgett film studied by Infrared and UV-visible multiple-angle incidence resolution spectrometries” Pacifichem 2010, Dec. 17, 2010, in Honolulu, HI
 5. 坂部輝御, 山崎悟, 長谷川健 “TOF-SIMS を用いた高分子膜表面の改質解析” 高分子分析討論会, 2010 年 12 月 8 日, 名古屋国際会議場
 6. Takeshi Hasegawa “Analysis of Anisotropic Local Surface Plasmon in a Thin Film of Gold Nano-Particles Studied by Visible Multiple-Angle Incidence Resolution Spectrometry” FACCS 2010, Oct. 17, 2010, Raleigh, NC
 7. Takeshi Hasegawa “Structure in a condensed film of molecules and metal particles: Infrared and visible spectroscopy using multiple-angle incidence resolution spectrometry (Invited Talk)” Symposium on Advanced Spectroscopy, Oct. 8, 2010, Sapporo
 8. 坂部輝御, 山崎悟, 長谷川健 “TOF-SIMS を用いた高分子膜表面の改質解析” 分析化学第 59 年会, 2010 年 9 月 15 日, 仙台
 9. 伊藤雄樹, 山田哲弘, 岡田哲男, 長谷川健 “偏光ラマン分光法による固体基板上の有機薄膜の分子配向解析” 分析化学第 59 年会, 2010 年 9 月 15 日, 仙台
 10. 室麻衣子, 原田誠, 岡田哲男, 長谷川健 “XAFS 法と偏光変調赤外外部反射分光法によるステアリン酸亜鉛塩 Langmuir 膜における Zn^{2+} の配位構造解析” 分析化学第 59 年会, 2010 年 9 月 15 日, 仙台
 11. 長谷川健 “多変量解析を計測原理とした新しい表面分光分析法” 名古屋大学応用計測化学公開講演会, 2010 年 5 月 18 日, 名古屋
 12. 長谷川健 “多変量スペクトル解析の信頼性を左右する要因 (招待講演)” 第 71 分析化学討論会, 2010 年 5 月 15 日, 松江
 13. 室麻衣子, 岡田哲男, 長谷川健 “偏光変調赤外外部反射分光法による飽和脂肪酸 Langmuir 膜の構造解析” 第 71 分析化学討論会, 2010 年 5 月 15 日, 松江
 14. Takeshi Hasegawa “Multiple-angle incidence resolution spectrometry (MAIRS): development and practical applications (Craver Award 2009 受賞講演)” FACSS 2009, Oct. 22, 2009, Louisville, KY.
 15. 粕谷明由, 伊藤雄樹, 岡田哲男, 長谷川健 “金属薄膜の経時変化をとらえた可視 MAIRS スペクトルの二次元相関解析による解析” 第 58 分析化学会年会, 2009 年 9 月 24 日, 札幌
 16. 伊藤雄樹, 粕谷明由, 岡田哲男, 長谷川健 “多角入射分解分光法の電磁気学的理解” 第 58 分析化学会年会, 2009 年 9 月 24 日, 札幌
 17. 坂部輝御, 山崎悟, 長谷川健 “ケモメトリックスを用いた高分子多層薄膜断面の赤外イメージング解析” 高分子学会年会, 2009 年 9 月 16 日, 熊本大
 18. 長谷川健, 龍田俊太郎, 勝本之晶 “ポリ(N-イソプロピルアクリルアミド) 薄膜の分子間相互作用の赤外分光法による研究” 高分子学会年会, 2009 年 9 月 16 日, 熊本大
 19. 長谷川健 “ゆらぎを認める計測理論の構築と薄膜構造解析 (依頼講演)” 平成 21 年度東日本分析若手交流会, 2009 年 7 月 3 日, 仙台
 20. Takeshi Hasegawa “Molecular orientation analysis in polymer thin films by infrared multiple-angle incidence resolution spectrometry (invited)” 4th International Workshop on Vibrational Spectroscopy of Thin Films, June 4, 2009, Potsdam, Germany
 21. 長谷川健 “MAIR 分光法の原理と薄膜構造解析” 産総研講演会, 2009 年 5 月 22 日, つくば
 22. 坂部輝御, 山崎悟, 長谷川健 “ケモメトリックスを用いた ATR-IR イメージングデータの解析” 第 70 分析化学討論会, 2009 年 5 月 16 日, 和歌山大学
 23. 粕谷明由, 伊藤雄樹, 岡田哲男, 長谷川健 “可視 MAIRS 分光法による金微粒子薄膜の経時変化の検討” 第 70 分析化学討論会, 2009 年 5 月 16 日, 和歌山大学
 24. 長谷川健 “分子水が引き起こす高分子薄膜の構造転移: 赤外 MAIR 分光法による解析” 日本化学会第 89 春季年会・特別企画「非常態の水の機能と計測科学」2009 年 3 月 30 日, 船橋

25. 伊藤雄樹, 粕谷明由, 岡田哲男, 長谷川健 “多角入射分解分光法の電磁気学的解釈” 日本化学会第 89 春季年会, 2009 年 3 月 27 日, 船橋
26. Fuquan Dang, 長谷川健, Biju Vasudevan pillai, 石川満, 加地範匡, 安井隆雄, 馬場嘉信 “赤外外部反射分光法による PMMA 基板の表面修飾構造の検討” 日本化学会第 89 春季年会, 2009 年 3 月 27 日, 船橋
27. Takeshi Hasegawa “Development of UV-Visible Multiple-Angle Incidence Resolution Spectrometry and Application Study of Anisotropic Surface-Plasmon Excitation in Silver Nano-Particles on a Glass Substrate” The Pittsburgh Conference, March 8, 2009, Chicago, IL.
28. 長谷川健 “赤外分光法：表面物理化学と分析化学での展開” 伊藤紘一教授退官記念講演会(招待講演), 2009 年 3 月 7 日, 早大理工
29. 長谷川健 “仮想光計測による薄膜の構造・物性解析 (依頼講演)” キンカ京都化学者クラブ第 224 回例会, 2009 年 2 月 7 日, 京大会館
30. 長谷川健 “仮想光計測が変える薄膜科学” 広島大学大学院理学研究科第 5 回理学教育研究融合セミナー, 2008 年 10 月 10 日, 広島大学
31. 角田洋幸, 岡田哲男, 勝本之晶, 長谷川健 “直鎖ポリエチレンイミン水溶液の相分離機構の振動分光法による解析” 第 57 分析化学会年会, 2008 年 9 月 10 日, 福岡大学
32. 伊藤雄樹, 粕谷明由, 岡田哲男, 長谷川健 “紫外可視領域での多角入射分解分光法の構築” 第 57 分析化学会年会, 2008 年 9 月 10 日, 福岡大学
33. 粕谷明由, 伊藤雄樹, 岡田哲男, 長谷川健 “多角入射分解分光法による表面増強赤外吸収の機構の検討” 第 57 分析化学会年会, 2008 年 9 月 10 日, 福岡大学
34. 角田洋幸, 岡田哲男, 長谷川健 “直鎖ポリエチレンイミン膜の赤外多角入射分解分光法による構造解析” 第 61 回コロイドおよび界面化学討論会, 2008 年 9 月 7 日, 九州大学
35. 角田洋幸, 岡田哲男, 大塚誠, 長谷川健 “示差走査熱量・X 線回折同時測定による直鎖ポリエチレンイミン膜の相変化過程の解析” 第 69 分析化学討論会, 2008 年 5 月 15 日, 名古屋
36. 長谷川健 “赤外 MAIR 分光法による高分子薄膜の構造解析 (依頼講演)” 高分子分析懇談会, 2008 年 5 月 8 日, 五反田
37. 龍崎奏, 長谷川健, 尾上順 “亜鉛ポルフィリン蒸着膜中における grain の結晶性

と分子配向性” ナノ学会, 2008 年 5 月 7 日, 九州大学

[図書] (計 2 件)

1. Takeshi Hasegawa “Structural Characterization Techniques of Molecular Aggregates, Polymer and Nano-particle Films” in “Nanomaterials for Life Sciences” Vol. 5 (a ten book series)", ed. by Challa Kumar (Wiley-VCH) (2010) pp.397-417.
2. 山田哲弘, 長谷川健 “オリゴペプチド集合体薄膜” 「超分子サイエンス&テクノロジー—基礎からイノベーションまで—(国武豊喜・監修)」第 2 章 3.3 節 (NTS) pp. 370-378

[産業財産権]

○取得状況 (計 2 件)

名称：分光解析装置及び分光解析方法
 発明者：長谷川健
 権利者：同上
 種類：ヨーロッパ PCT
 番号：EP2112498
 取得年月日：2009. 10. 28
 国内外の別：国外

名称：分光解析装置及び分光解析方法
 発明者：長谷川健
 権利者：同上
 種類：米国 PCT
 番号：US2009--0316152
 取得年月日：2009. 12. 24
 国内外の別：国外

[その他]

ホームページ等

研究室公式：

www.chemistry.titech.ac.jp/~okada/

6. 研究組織

(1) 研究代表者

長谷川 健 (Hasegawa Takeshi)

東京工業大学・大学院理工学研究科・

連携准教授

研究者番号：30258123