



HOKKAIDO UNIVERSITY

Title	特定研究「新しい電子機能素子の開発のための基礎研究」の研究成果報告
Author(s)	永井, 信夫
Citation	電子科学研究, 2, 35-41
Issue Date	1995-01
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/24303
Type	departmental bulletin paper
File Information	2_P35-41.pdf



特定研究「新しい電子機能素子の開発のための基礎研究」の研究成果報告

研究代表者 永井信夫

本研究は、平成4年度・平成5年度の2年間に実施された特定研究に関するものである。本研究は、21世紀には実現するであろう極微細な線巾(0.1 μm 以下)のICの製作技術上の諸問題の解明と同時に、特異な機能を与える原子集団における相転移現象の解明、及び蛋白質等の生体分子や超分子などの持つ超高密度・超微小機能素子の性質を、3次元的構造から総合的に解明することを目的とした基礎研究であって、0.1 μm 以下の素子のための量子効果や分子動力学法を考慮した回路集積技術と、100Åの素子となる生体分子や超分子による電子機能素子などの開発とを同時に行うことが論じられている。

これらの研究は近い将来必ず直面する0.1 μm の集積回路の壁に対して技術的目途をつける目的で行われたものであり、それぞれの知見が得られたので、一応の区切りをつけた。この研究で得られた成果は、2年間の基礎研究としては多岐に亘り示唆に富むものであり、これからの活用が期待される。

(I) 材料物性及び量子効果に関する基礎研究

(1) 化学反応のダイナミクスに関する研究

川崎昌博 松見 豊

今回試作した化学反応ビジュアライゼーション・システムを用いて、二酸化硫黄の光分解過程を研究した。紫外波長域で分解して生成する酸素原子及び硫黄原子をレーザー多光子イオン化法で検出し、空間的にどちらの方向をどれだけエネルギーで飛散するかを3次元的に解明することができた。化学反応素過程の立体的な解析はこれまで1次元的数据の解釈しなされていなかったが、今回の研究結果より、反応する原子と分子が近づき生成物が離れていく化学反応の微細な様子を実験的に3次元でとらえることが可能であることが判った。集積回路等の製造過程に用いられていた1次元の解析方法に較べると、より高度な技術の開発に役立てることができるといえる。

平成5年度は3次元的な測定が可能で化学反応の立体的な解析が行えるものを設計・製作した。二種類の分子線源と二つのレーザー光の導入が可能である。これにより、二つの反応分子が特定の方向から近づき、原子の組み替えを行った後に離れていく様子を3次元

的に解析することが可能となった。

これらの化学反応ビジュアライゼーション・システムによって計測可能な反応系を検討した結果次の二つが可能となった。一つはO(D)原子と水素分子の反応であって、衝突した後はHOHの中間体内でH原子同志がぶつかって、モーメント保存則により相対速度を持つことを生成物のH原子速度分布から調べる。第二はH + CH₄の反応であって、あたかも玉突きのように一つの水素原子がメタンに向かうともう一つの水素原子が炭素原子から離れる立体機構である。

化学反応ビジュアライゼーションの装置を開発したことにより、従来机上で考えられていた立体反転反応などを実験的に立証することができる。また、この装置を固体表面反応に応用することにより、半導体微細加工プロセスなどの表面反応を立体的に解明し、より微細で複雑な構造作製の手がかりを得ることが可能となった。

(2) 相転移現象による材料物性の研究

八木駿郎

凝縮系に特異な機能を付与する機構を相転移現象を利用して原子レベルから解明するために、平成4年度

は主に誘起フォノンの時間分解スペクトル観測システムの構築がなされた。その結果モードロック YAG レーザーを光源としたシステムが完成し、年度末までに液体、薄膜、液晶等の物質において基本的物性定数を反映する時間分解スペクトルの観測に成功した。

このシステムを用いて平成 5 年度に広く固体物質の時間分解スペクトルを観測することに成功し、それにより結晶性物質中におけるフォノン生成過程として、光弾性定数に依存する光誘起フォノン生成過程と熱吸収過程によるフォノン生成過程が存在することが明らかになった。また孤立水素結合を持つ $K_3H(D)(SeO_3)_2$ 結晶における構造相転移で、集団原子励起過程として秩序パラメータのダイナミクスを反映するスペクトルの異常を見いだした。

今後は、従来の周波数ドメインのスペクトルと時間のスペクトルを比較し、これらの成果から新しい電子材料の機能性を見いだすために、計測結果を多次的に表示・解析することで、基本的物性の発現機能と物質内の原子集団励起状態の相関性が解明される。さらに現システムの約 10 倍の強度の光パルスを生ずる YLF レーザーシステムを構築し、大振幅非線形フォノンを励起し、電子材料中のフォノン結合ダイナミクスと物性の相関を解明する。

(3) 光物理化学的反応における電子輸送現象の研究

竹村 健

ポルフィリン類は色素や葉緑素の重要な成分として知られるように、物理化学的電子材料として広く用いられ研究されてきている。今回、我々は光毒性のない、即ち、光劣化性の無い蛍光性ポルフィリン類の開発の一貫として無置換ポルフィリンとメタルポルフィリンを種々のスペーサーで繋いだ化合物を合成し、その分光学的特性および電子エネルギー移動の効率と機構を明らかにした。

通常、分子内には三重項寿命 τ_f の減少と共に蛍光強度(収率)は減少することが理論的に導かれ、いわゆる光毒性の無い蛍光物質を一分子的に見出すことは困難である。光毒性の無いこと、蛍光収率がある程度高いこと、この相反する性質を解消するために我々は異分子ポルフィリン二量体の方法を用いた。金属錯体として Mn および Cu を選び、スペーサーとしては $-CH_2-$ 、 $-(CH_2)_4-$ 、meta-phenylene, para-phenylene

を用いた。結果の範囲内で Mn 二量体では用いたスペーサーの種類によらず相当に蛍光を発生し、Cu 二量体では $-CH_2-$ で二量体の個々の構成ポルフィリン間の相互作用が最も強く、他のスペーサーでは差が無く十分な蛍光強度を有していた。

本研究で得られた成果の今後の活用の一つとして、光反応性の無い即ち光劣化性や光毒性の無い発光検出素子の開発がある。これは生体系等への利用において特に重要である。

(4) 超格子、量子井戸の量子力学的研究

井上久遠

一層の層数が n の対称型短周期超格子 ($GaAs$) $_n/(AlAs)_n$ に関して、 $n = 8 \sim 15$ までの一連の試料に関して多くの成果を得た。即ち、イ) 長い間論争になっていた問題に関して、 $n \leq 12$ では擬直接型、即ち伝導帯の最小は $AlAs$ の X 点が折り返された状態、 $n \geq 13$ では直接型、即ち、最小は $GaAs$ の Γ 点であること、ロ) $n = 13$ の超格子では、圧力 1.1 kbar で $\Gamma-X$ 状態の交差がおこり、混成状態が生ずること、又混成ポテンシャルの大きさは 2 meV であること、ハ) $n \leq 12$ では発光寿命が n の偶奇性に依存し、 $\Gamma-X$ の混合の程度は n ; 奇数の方が大きい、ことなどを世界で初めて明らかにした。

II-VI 化合物系については、一層の厚さがそれぞれ 20 Å 程度の $(ZnSe)_n/(ZnS)_n$ の超格子を取り上げ、基本的な量子閉じ込め電子状態に関して、伝導帯と価電子帯のバンドオフセットの大きさ、励起子の束縛エネルギーの増大、下地の $GaAs$ との格子不整合による歪みの大きさなどを世界で初めて解明した。また、励起子に 2 光子共鳴したときの SHG (第 2 高調波光) 信号の異常増大現象の発見や、励起子分子の存在並びにその特性に関する新しい知見を得るなどの成果を上げた。なお、新たに開発したブリュスター反射分光法は $GaAs$ の下地結晶が着いたままの状態の試料の励起子構造を調べる優れた手段であることを初めて明らかにした。次に、半導体超格子における励起子のコヒーレンス特性を解明した。まず、フェムト秒の時間分解能で励起子のコヒーレント、即ち自由誘導減衰を直接観測できる、全く新しい手段、過渡ブリュスター反射分光法を開発した。この独創的手段を駆使して、II-VI 半導体超格子の励起子のコヒーレンス時間、並びに励

起子濃度依存性を明らかにし、その機構を解明した。

他に、CdTe/CdMnTe 量子井戸を作成し、励起子に捕らえられた磁気ポーロンの状態と、そのエネルギー緩和機構も明らかにした。即ち、超高速分光法と高磁場印加手段を駆使して、Mn 濃度に依存して、局在励起子と束縛励起子から磁気ポーロンが形成される時間的振舞いとその機構を解明した。

この研究で開発されたブリュスター反射分光法、共鳴 SHG 分光法、さらにブリュスター反射過渡自由誘導減衰法は、現在研究が盛んである II-VI 化合物薄膜並びに量子井戸系の電子構造を調べるための方法、並びに試料の評価法として今後、世界的に広く活用されるものと考えられる。また、量子閉じ込め効果の大きい、II-VI 化合物超格子における励起子分子に関する初めての重要知見は、将来の全く新しい光スイッチング素子の開発のために活用されることが期待される。

(II) 生体分子や超分子に関する基礎研究

(5) 生体分子である蛋白質の形状と機能に関する研究

田村 守 中村正雄

平成 4 年度は、近赤外パルス光を用いて生体組織及びそのモデル系における光の挙動を実験的・理論的に解析した。散乱系での光子の飛行時間計測とモンテカルロシミュレーション、及び拡散方程式での解析を行い、生体系での 3 次元画像再構成の基本的アルゴリズムの作製を試みた。近赤外光を用いた生体組織の計測の可能性を種々の条件下で、人及び実験動物で検討した。また、近赤外ピコ秒パルス光を用いて散乱系での光の挙動の解析を行った。この結果はモンテカルロ法及び光拡散方程式と良い一致を示した。これを応用して、近赤外分光法による人脳機能の計測をマルチチャンネルで行うことができ、その有効性を実証した。

平成 5 年度は、モード同期ピコ秒レーザーシステムを用い、時間相関型の検出系を完成させ、遊離肝臓細胞やオルガネラの生体物質の蛍光寿命を系統的に測定した。この結果から、蛋白質や生体系での構造と機能の関連を解析した。次に、飛行時間型光 CT のシミュレーションを行い、その可能性を証明した。

近赤外光を用いた人の光 CT 装置の試作に成功したため、それを生体機能の解明に活用でき、また、生体分光学の中で特に近赤外パルス光を用いた臨床応用が

可能となった。

(6) 細胞内超分子の機能に関する研究

小山富康 荒磯恒久

細胞において生命機能を担うものは、リン脂質膜を支持体として機能性蛋白質を二次的に配列した薄膜構造体である。このような構造体には、Na⁺ や K⁻ などのイオンを選択的に輸送するものや光エネルギーを電子やイオンの流れに変換するものが含まれ、電子機能素子への応用が期待される。本研究ではこのような薄膜構造体の機能発現構造を解明するため、脂質分子膜と蛋白質を中心とする細胞内機能性超分子構造体の、静止像ばかりでなく分子運動による動的構造の可視化を可能とする測定法の開発を行い、基板上の分子素子として再構築する研究を行った。

(i) 機能性蛋白質分子素子作製のための基礎研究

蛋白質の機能発現に伴う分子運動変化を測定するため、パルスレーザー光を用いた時間分解閃光吸収偏光測定装置を作製した。本装置は同時に時間分解旋光分散測定装置としても用いられる。本装置を用いて光エネルギー変換蛋白質バクテリオロドプシンの機能的動態変化を測定した結果、光反応中の最終反応中間体において蛋白質が特に回転運動を行うことが明らかとなった。今後製膜化された蛋白質の分子運動を本方法により測定することが可能となる。

(ii) 脂質膜及び蛋白質の分子運動測定

光によるプロトン輸送を行うバクテリオロドプシン膜に対し、ピコ秒パルスレーザーを用いた蛍光偏光解消法により膜脂質の分子運動を測定し、レーザー励起による吸収偏光解消法によりバクテリオロドプシン蛋白質の分子運動を測定した。少量のアルコールの添加による機能発現の速度の変化に伴い、脂質・蛋白質双方の分子運動の変化が観測され、光エネルギー変換過程における脂質・蛋白質運動の重要性が明らかとなった。

(iii) 平面膜分子運動の測定

従来の偏光解消法の測定法とその理論は、垂直方向と水平方向の二方向の偏光強度のみを用いるもので測定される分子配向がランダムな系に対するものであり、LB 膜等の平面分子膜の測定には不完全であった。本研究では空間を規定する X, Y, Z 軸それぞれの方向に対する偏光の強度を、「偏光率」という新たに定義し

た量で表し、平面膜の分子配向とゆらぎの角度及びゆらぎの速度を正確に求めることに成功した。この方法を用い、ステアリン酸 LB 膜の分子運動を実測し、温度変化による特徴的な運動変化をとらえることができた。

生体構造は分子レベルにいたるまでゆらぎを伴う柔軟な構造を持っている。電子素子への応用を目指し、基板上へ再構成を行うとき、単に静的構造をうつしとるだけでなく、動的特性も保持しなければならない。本研究は従来研究側の少ない生体機能構造の分子運動を解明する方法を与えるものであり、さらにシリコン系素子との融合を念頭においた平面膜分子運動に対する新たな測定法を提供するものである。生体分子構造を研究する上で、また生体分子再構成系を評価する上で、本法は X 線回折、赤外ラマン分光等の測定を補完するものとしての意義を持つこととなる。

(III) 計測法やシミュレーション技術の開発

(7) 光工学的計測法の高度化の研究

朝倉利光 魚住 純

平成 4 年度は、空間周波数情報の可視化については、液晶空間光変調素子をコヒーレント光情報処理光学系及びコンピュータと組合せることにより、画像の空間周波数情報の高速可視化が可能であることを実験的に示した。微粒子の挙動の可視化については、その位置と粒径の時間的変化を、レーザーと撮像素子により可視化することができることを理論および実験により示した。また、フラクタル構造による回折現象の可視化については、一次元の規則的自己相似フラクタルによるフレネル回折場の振る舞いをコンピュータにより解析・可視化し、フレネル回折場には物体のフラクタル性に依存した 2 種類のスケール性が存在することなどを示し、フラクタル計測のための基礎的知見を得た。

平成 5 年度は、昨年度に開発した画像の空間周波数情報の可視化システムに光音響光学素子を組合せることにより、時間的信号のウィグナー分布関数処理光学系を作成し、時間的信号の局所的周波数の高速可視化が可能であることを実験的に示した。

フラクタル構造による回折・散乱現象の可視化については、規則的な 2 次元的面フラクタルおよびランダム質量フラクタルの回折・散乱場の特性を計算機シミュレーションにより可視化し、複雑なフラクタル構

造のフラクタル性の光学的測定に関する基礎的知見を得た。

空間的および時間的信号の局所的周波数の可視化は、テレビカメラにより電子的に記録したスペックルグラム等の非定常な信号の高速な解析に有効であり、各種の物体の複雑な変位・変形・速度場の実時間可視化技術などへの応用を進める。フラクタル構造の回折・散乱場の諸特性の可視化は、生体組織を始めとする種々のフラクタル構造のフラクタル性の非破壊的・無侵襲的な測定を通して、対象とする構造の諸特性の定量的評価に応用する。

(8) 回路網理論によるシミュレーション技術の高度化並びにビジュアライゼーションによるシミュレーション技術の高度化の研究

永井信夫 三木信弘

立体構造のビジュアライゼーション・システムの開発を目指した基礎研究として、人間の発声状態における声帯や声道中における流体音響的現象を数値シミュレーションとビジュアライゼーションにより解析する基礎的成果を得ている。ここで得られたソフトおよび手法を応用して、結晶学的問題としての格子欠陥や量子力学的現象に対応できるシミュレーション技術を確立するために立体構造の素子の解析・合成に回路網理論が応用できるビジュアライゼーション・システムのソフトの開発を行ってはいるが、そこではまだ見るべき成果は得られていない。

複素係数回路理論を量子力学現象に応用して超高速デバイスの設計を目指した理論からの研究として、次の成果がある。共鳴状態の存在寿命は、従来共鳴準位の半値幅で求めていたものを、ラプラス変数の複素エネルギーから求めることを提案し、従来問題があるとされていた共鳴準位の特性が双峰性を示すものや、従来では求めることが不可能であった三重以上のバリヤ構造をもつ多重井戸構造の存在寿命も、容易に求められることを示した。また、クローニツヒ・ペニー模型の成り立たない物質では、その主たる原因はヘテロ界面での波動関数の接続にあることが知られている。これを表す界面行列の複素等価回路を求め、 Γ -X ミクシングやタイプ II あるいは III 型量子井戸の解析を極めて容易に行えることを示した。

人間の発声状態における声帯や声道中における流体

音響的現象を数値シミュレーションとビジュアライゼーションにより解析する基礎的成果を得ている。これらの成果をビジュアライゼーションに結び付け、シミュレーション技術の高度化を図る。

共鳴状態の存在寿命は、超高速デバイスのスイッチ

ングに直接関係しており、本研究の応用により、特性の優れた井戸構造の設計が可能となった。また、タイプIIおよびIII型の物質の特性を容易に解析できるようになったため、従来実現不可能と考えられていた特性を設計できる可能性がでてきた。

【参考文献】

- [1] T. Sato, T. Kinugawa, T. Arikawa and M. Kawasaki "Two-photon dissociation of SO₂ in the ultraviolet region" *Chemical Physics*, vol.165 (1992) 173-182.
- [2] Y. Matsumi, K. Tonokura and M. Kawasaki "Fine-structure branching ratios and Doppler profiles of Cl (²P_{1/2}) photofragments from photodissociation of the chlorine molecule near and in the ultraviolet region", *J. Chem. Phys.* vol.97, no.2 (1992) 1065-1071.
- [3] S. Shogen, Y. Matsumi and M. Kawasaki "Photodissociation of trimethylindium on Si(111) at 193 nm", *Thin Solid Films* 218 (1992) 58-61.
- [4] T. Sumiyoshi, H. Sakai, M. Kawasaki and M. Katayama "Pulse Radiolysis-Laser Flash Photolysis Studies of Diphenyl Sulfide in Liquid Halocarbons", *CHEMISTRY LETTERS*, (1992) 617-620.
- [5] H. Ouchi, K. Ishida, M. Hanabusa, S. Shogen and M. Kawasaki "Photoinduced Deposition of Aluminum Thin Film on Silicon Nitride and Oxide", *Jpn. J. Appl. Phys.* vol.31 (1992) 1979-1981.
- [6] K. Tonokura, Yuxiang Mo, Y. Matsumi and M. Kawasaki "Doppler Spectroscopy of Hydrogen and Chlorine Atoms from Photodissociation of Silane, Germane, Chlorosilanes, and Chloromethanes in the Vacuum Ultraviolet Region", *J. Phys. Chem.* vol.96, no.16 (1992) 6688-6693.
- [7] S. Hashimoto, Y. Matsumi and M. Kawasaki "OH(A²Σ⁺) fragment emission from reaction of electronically excited Xe(6p) with H₂O under free jet and bulb conditions", *Chem. Phys. Letters*, vol.200, no.6 (1992) 624-630.
- [8] S. Shogen, M. Ohashi, S. Hashimoto, Y. Matsumi and M. Kawasaki "Photodissociation of Trimethylindium and Trimethylgallium on GaAs at 193 nm studied by angleresolved photoelectron spectroscopy", *Jpn. J. Appl. Phys.* vol.32 (1993) 3099-3105.
- [9] Y. Matsumi, K. Tonokura, Y. Inagaki, and M. Kawasaki "Isotopic branching ratios and translational energy release of H and D atoms in reaction of O(¹D) atoms with alkanes and alkyl chlorides", *J. Phys. Chem.* vol.97, no.26 (1993) 6816-6821.
- [10] Y. Inagaki, Y. Matsumi and M. Kawasaki "Formation of a hydrogen atom from the photodissociation of hydrogen peroxide at 193 nm", *Bull. Chem. Soc. Jpn.*, vol.66 (1993) 3166-3170.
- [11] T. Sumiyoshi, M. Kawasaki and M. Katayama "Photochemistry of diphenyl sulfide/halogen and mesitylhalogen complexes in liquid halocarbons", *Bull. Chem. Soc. Jpn.* 66, 2510-2514 (1993)
- [12] S. Yoshiyagawa, K. Tohda, Y. Umezawa, S. Hashimoto and M. Katayama "Optical ion sensor based on second-harmonic generation at the surface of an ionophore-incorporated poly (vinyl chloride) liquid membrane", *Analytical Sci.* 9, 715-718 (1993)
- [13] K. Tonokura, Y. Matsumi, M. Kawasaki, H. L. Kim, S. Yabushita, S. Fujimura and K. Saito "Photodissociation of ICI at 235-248 nm", *J. Chem. Phys.* 99, 3461-3467 (1993).
- [14] Y. Inagaki, S. M. Shamsuddin, Y. Matsumi and M. Kawasaki "Dynamics of the reaction S(¹D)+ HD, H₂, and D₂: Isotopic branching ratios and transitional energy release", *Laser Chem.*14, 235-244 (1994).
- [15] Y. Matsumi, Y. Inagaki, G. P. Morley and M. Kawasaki "Fine structure branching ratios and translational energies of O(₃P₂)atoms produced from collision induced intersystem crossing of O(¹D) atoms", *J. Chem. Phys.* 100, 315-324 (1994).
- [16] M. Ohashi, Z. Song, Y. Matsumi and M. Kawasaki "Primary processes and energy disposal in the reaction of S(¹D) atoms with thiirane", *Chem. Phys. Lett.* 220, 7-13 (1994).
- [17] Y. Matsumi, Y. Inagaki and M. Kawasaki "Isotopic branching ratios and translational energy release of H

- and D atoms in the reaction of O(¹D) with CH₃OD and CD₃OH”, *J. Phys. Chem.* 98, 3777-3781 (1994).
- [18] S. Shogen, M. Ohashi, Y. Matsumi and M. Kawasaki “X-ray and ultraviolet photoelectron spectroscopic study of 58.4 and 193 nm photodissociation of organometallic compounds adsorbed on substrates”, *Appl. Surf. Sci.* 79/80, 439-443(1994).
- [19] R. Bersohn and M. Kawasaki “Dynamics of the inversion-reaction”, *Israel J. Chem.* 34, 19-23 (1994).
- [20] S. M. Shamsuddin, Y. Inagaki, Y. Matsumi and M. Kawasaki “O(³P₁) atom formation from photodissociation of ozone at visible and ultraviolet region”, *Can. J. Chem.* 72, 637-643 (1994).
- [21] Z. Lu, T. Yagi, A. Sakai, K. Deguchi and E. Nakamura “Anisotropic broadening of the Brillouin scattering spectra of hydrogenbonded ferroelectric PbHPO₄”, *Ferroelectrics*, Vol.135, (1992) 249-256.
- [22] J. Banys, J. Grigas, S. Lapinskas, Z. Lileikis and T. Yagi “Influence of the External Electric Field on the Dielectric Properties of Ca₂Sr(C₂D₅CO₂)₆”, *Phy. Stat. Sol. (a)* vol.132, (1992) 191-196.
- [23] M. Yamaguchi, T. Yagi, N. Hamaya and T. Yagi “Brillouin Scattering Study of Pressure-Induced Phase Transition in MnF₂”, *J. Phys. Soc. Jpn.* vol.61, no.11 (1992) 3883-3886.
- [24] M. Kasahara, P. Kaung and T. Yagi “Raman Scattering Study of K₃H(SO₄)₂ and K₃D(SO₄)₂ Single Crystals” *J. Phys. Soc. Jpn.* vol.61, no.10, (1992) 3432-3435.
- [25] S. Kinoshita, W. Tsurumaki, Y. Shimada and T. Yagi “Relationship between coherent acoustic wave generation and a coherence spike in an impulsive stimulated Brillouin scattering experiment”, *Opt. Soc. Am. B* vol. 10, no.6 (1993) 1017-1024.
- [26] 木下修一, 八木駿郎 “光パルスによるフォノンの励起と構造相転移”, *固体物理*, 28 巻, 5 (1993) 273-282
- [27] 竹村 健, 中島 進, 阪田 功 “光毒性の無い蛍光腫瘍診断剤の開発” *ポルフィリン*, 1 巻, 3, 4 号, (1992-12) 229-234.
- [28] T. Takemura, S. Nakajima and I. Sakata “Mechanism of photodynamic therapy: Exploration by photophysical-chemical study”, *Frontiers of Photobiology* (1993) 503-506
- [29] T. Takemura, S. Nakajima and I. Sakata “Tumor localizing fluorescent diagnostic agents without phototoxicity” *Photochem. Photobiol.* 59 (1994) in press.
- [30] 竹村 健 “光感受性物質を用いたレーザーによる診断—治療: 光感受性物質のレーザー治療効果の基礎”, *電気学会部門誌*, 114 C, (1994) 535-541.
- [31] T. Nakayama, F. Minami and K. Inoue “Exciton dynamics in short-period (GaAs)_n / (AlAs)_n superlattices with n = 8~15”, *J. Luminescence* vol.53, (1992) 380-382.
- [32] H. Akinaga, K. Takita, S. Sasaki, N. Miura, T. Nakayama, F. Minami and K. Inoue “Optical Properties and Dynamical Behaviors of Localized and Bounded Excitons in MBE-Grown Cd_{1-x}Mn_xTe”, *Phys. Rev.* vol. B46 (1992) 13136-13141.
- [33] T. Nakayama, F. Minami and K. Inoue “T-X mixing in GaAs/AlAs short-period superlattices”, *Proc. 21th Int. Conf. on Physics of Semiconductors*, ed. P. Jiang and H. Z. Zheng (World-Scientific, Singapore, 1992) 717-720
- [34] K. Yoshida, F. Minami, K. Inoue and H. Fujiyasu “Resonant Second-Harmonic Scattering Phenomena in ZnSe/ZnS Superlattices”, *Proc. 21st Int. Conf. on Physics of Semiconductors*, ed. P. Juang and H. Z. Zheng (World-Scientific, Singapore, 1992) 811-814.
- [35] H. Akinaga, Y. Shirai, K. Takita, T. Nakayama, F. Minami and K. Inoue “Preparation and time-resolved photoluminescence study of CdTe/Cd_{1-x}Mn_xTe single quantum wells”, *Jpn. J. Appl. Phys.* Vol.32 Part 2, No.2B (1993) pp.L225-L228.
- [36] F. Minami, T. Nakayama and K. Inoue “Pressure-Induced Type I - Type II Crossover in AlAs/GaAs Short-Period Superlattices”, *Jpn. J. Appl. Phys.* Vol.32 Suppl. 32-1 (1993) pp.70-74.
- [37] F. Minami, K. Yoshida, K. Inoue and H. Fujisaki “Two-photon spectroscopy in ZnSe/ZnS quantum wells”, *Journal of Crystal Growth*, vol.138 (1994) 796-799.
- [38] K. Inoue, T. Kuroda, F. Minami, K. Yoshida, and M. Hayashi “Study of electronic structure in strained ZnSe/GaAs thin films by nonlinear optical- and Brewster-angle reflection spectroscopies”, *Journal of Crystal Growth*, vol.138 (1994) 182-186.
- [39] A. Hasegawa, T. Kuroda, K. Inoue, Y. Mitsumori, F. Minami and K. Era “Transient Optical Reflectivity in Layered semiconductors”, *J. Lumin.* vol.58 (1994) 234-236.
- [40] T. Kuroda, M. Hayashi, K. Inoue, K. Yoshida, F. Minami and H. Fujiyasu “Excitonic structure in II-VI superlattices observed by Brewster-angle reflectance spectroscopy”, *J. Appl. Phys.* vol.76 (1994) 533-536.
- [41] 黒田 隆, 井上久遠 “半導体薄膜の励起子観測と試料評価のためのブリュスター角反射分光法”, *固体物理*, 29 巻, 9

- 号 (1994) 35-40.
- [42] K. Inoue, T. Kuroda, K. Yoshida and I. Suemune "One-Monolayer-Terraced Structure in ZnSe/ZnSSe Superlattices as Revealed by Brewster-Angle Reflection Spectroscopy", *Appl. Phys. Lett.* vol.65, No.22 (1994) 2830-2832.
- [43] Y. Hoshi and M. Tamura, "Dynamic changes in cerebral oxygenation in chemically induced seizures in rat: study by near-infrared spectrophotometry", *Brain Research*, 603, (1993) 215-221.
- [44] M. Inagaki and M. Tamura "Brain oxygenation state: Preparation of isolated perfused rat brain and near-infrared spectrophotometry" *Oxygen Transport to Tissue XIII*, (1992) 119-123.
- [45] Y. Hoshi, O. Hazeki and M. Tamura, "Oxygen dependence of redox state of copper in cytochrome oxidase in vitro", *J. Appl. Physiol.* 74 (4), (1993) 1622-1627.
- [46] Y. Hoshi and M. Tamura, "Dynamic multichannel near-infraredoptical imaging of human brain activity", *J. Appl. Physiol.* 75 (4), (1993) 1842-1846.
- [47] N. Kimura, R. Tsuneta, T. Araiso and K. Mukasa "Time-resolved Fluorescence Depolarization to study the Molecular Motion of Organic Thin Films" *Langmuir* (in press).
- [48] K. Mukasa, T. Araiso and N. Kimura, "Estimation of molecular motion in the LB film using time-resolved fluorescence depolarization in order to control the film structure" *New Functionality Materials, Vol.C, 705-710* T. Tsuruta, M. Doyama, M. Seno (editors) (1993 Elsevier Sci. Publ. B. V.).
- [49] 荒磯恒久 "膜脂質の流動性と膜蛋白質の動態" *膜 (MEMBRANE)* 19, 1, 3-13 (1994).
- [50] Y. Harada, T. Asakura and T. Murakami, "Spatial and temporal analysis of solid-state imaging systems" *Applied Optics*, Vol.31 (1992) 4758-4768.
- [51] J. Widjaja, J. Uozumi, T. Ushizaka and T. Asakura, "Real-time generation of the Wigner distribution function by means of a single acousto-optic modulator" *Optics Commun.* vol.94 (1992) 313-320.
- [52] Y. Sakurada, J. Uozumi and T. Asakura "Fresnel diffraction by one-dimensional regular fractals" *Pure Appl. Opt.* vol.1 (1992) 29-40.
- [53] A. Dogariu, J. Uozumi and T. Asakura "Determination of the surface roughness parameters using the integrated intensity", *Optik*, vol.93 (1993) 52-58.
- [54] K. Uno, J. Uozumi and T. Asakura "Statistical properties of the Fraunhofer diffraction field produced by random fractals", *Appl. Opt.*, vol.32 (1993) 2722-2729.
- [55] Y. Harada, T. Asakura and K. Enomoto "Effects of the radiation pressure of laser beams in photon correlation spectroscopy", *Proc. of ICO-16 (SPIE 1983)*, pp.323-324 (1993).
- [56] T. Okamoto and T. Asakura "Multiple light scattering from a moving layer of Brownian particles: comparison with a rigid phase screen" *Waves in Random Media* vol.3 (1993) 211-219.
- [57] 大谷直毅, 永井信夫, 三木信弘 "スミスチャートを用いる共鳴準位合成法" *電子情報通信学会論文誌 C-II, J 75-C-II, 9 (1992)* 497-503.
- [58] 大谷直毅, 真田博文, 永井信夫, 鈴木正清, 三木信弘 "共鳴状態の存在寿命に関する回路論的一考察" *電子情報通信学会論文誌 C-II, J 76-C-II, 2 (1993)* 59-66.
- [59] 大谷直毅, 永井信夫, 鈴木正清, 三木信弘 "不確定要因による電子波散乱の影響を考慮した共鳴トンネル効果の回路論的取り扱い" *電子情報通信学会技術報告, CAS 93-5, pp.29-34(1993)*.
- [60] H. Sanada, N. Nagai, N. Ohtani and N. Miki "Circuit theoretical method for quantum effect phenomena in one-dimensional potential profiles of arbitrary semi-conductors", *Proc. JTC-CSCC '93*, pp.575-580 (1993).
- [61] 真田博文, 永井信夫, 大谷直毅, 三木信弘, 大鎌広 "ヘテロ界面における波動関数の接続を表す複素等価回路", *電子情報通信学会論文誌 C-I, J 76-C-I, 9 (1993)* 344-351.
- [62] 真田博文, 永井信夫, 大谷直毅, 三木信弘 "量子井戸および周期的ポテンシャル構造の回路的取扱い" *電子情報通信学会論文誌 C-II, J 77-C-II, 1 (1994)* 44-51.
- [63] T. Hirohku, N. Miki and N. Nagai "A study on FEM analysis for the vocal cord vibration", *Proc. JTC-CSCC '93*, pp.556-560 (1993).
- [64] 任捷, 永井信夫, 大谷直毅, 三木信弘 "非対称3重バリヤ構造による唯一つの完全共鳴準位の実現", *電子情報通信学会論文誌 C-II, J 77-C-II, 4 (1994)* 181-189.
- [65] N. Nagai "A restatement on applications of electrical considerations for one-dimensional wave phenomena", *IEICE Trans. Fundamentals, E77-A, 5, 804-809 (1994)*.