KBr 基板上に堆積されたバナジルフタロシアニン厚膜の 有機ガス処理効果と非線形光学特性

学生員 設楽 俊孝* 学生員 金 永龍*
正 員 内田 悦行* 正 員 小嶋 憲三*
正 員 大橋 朝夫* 正 員 落合 鎮康*
正 員 水谷 照吉**

Nonlinear Optical Properties and Organic Gas Effects of VOPc Thick Films Prepared on KBr Substrate

Toshitaka Shidara*, Student Member, Yonglong Jin*, Student Member, Yoshiyuki Uchida*, Member, Kenzo Kojima*, Member,
Asao Ohashi*, Member, Shizuyasu Ochiai*, Member, Teruyoshi Mizutani**, Member

Vanadyl-phthalocyanine (VOPc) thick films were prepared by an organic molecular beam deposition (OMBD) method on KBr substrate. The morphologies and nonlinear optical properties of VOPc films were investigated with VIS/UV spectra, the incident angle dependence of third harmonic (TH) intensity measured by Marker fringe, SEM, and AFM images. The morphology of VOPc thick film prepared at the substrate temperature of 200°C is a pseudoepitaxy. Cracks and wrinkly parts on the film surface are observed from SEM and AFM images. The VOPc thick film exposed for 25 and 50hrs to 1.8 atm organic gas changes from pseudoepitaxy to epitaxy. Cracks and wrinkly parts on the film surface disappear due to the molecular diffusion during the gas treatment. It depends upon time exposed in organic gas. A VOPc thick film treated for 75hrs in 1.8 atm organic gas almost perfectly changes from pseudoepitaxy to epitaxy because it is impregnated with organic gas.

キーワード：臭化カリウム(KBr), バナジルフタロシアニン(VOPc)厚膜, 有機ガス処理, 擬似エピタキシー, エピタキシー,
第2次・第3次高調波(SH・TH)

Keywords: KBr, Vanadyl-phthalocyanine (VOPc) thick film, organic gas treatment, pseudoepitaxy, epitaxy and second and third harmonics (SH・TH)

1. はじめに

バナジルフタロシアニン(VOPc)を用いた非線形光学膜の光エレクトロニクス素子への応用を考慮した場合, 光学的に優れた分子配向を有する膜, いわゆるエピタキシー成長膜の作成が必要不可欠である⁽¹⁾。エピタキシー成長膜の作成には, 分子レベルの配向制御を行わねばならない。また, 高速光スイッチング素子の作成では, エピタキシー成長された VOPc 厚膜で非線形フォトリソニックバンドギャップ構造⁽³⁾⁽⁴⁾の構築が必要である。さらに, プローブ光の波長が

1064nm である場合, VOPc 膜の膜厚を 100nm 以上にすることが必要である。100nm 以上の膜厚をもつエピタキシー VOPc 膜は, これまでほとんど研究されていない。一方, 臭化カリウム(KBr)基板上に作成された VOPc 膜が基板と成長膜の間に起きるミスフィットにより, 64nm 厚さ以上にエピタキシー成長させることができないことが報告された⁽²⁾。

そこで, 我々は試料のミスフィットを解消するため, チャンバー内ガス圧を上げることに注目した。具体的には, 有機溶剤を加熱, ガス化し, チャンバー内圧を上げた。高ガス圧の有機ガスにさらされた VOPc 厚膜に与える効果について, 可視・紫外(VIS/UV)吸収スペクトル, 第2次高調波(SH)・第3次高調波(TH), 走査型電子顕微鏡(SEM), 原子間力顕微鏡(AFM)観察の結果から検討した。さらに, 有機溶剤加熱温度変化による VOPc 厚膜の有機ガス処理効果から, 最適な加熱温度, 最適チャンバー内圧力での有機ガス処理

* 愛知工業大学
〒470-0392 豊田市八草町 1247
Aichi Institute of Technology
1247 Yakusa, Toyota 470-0392

** 名古屋大学大学院工学研究科
〒464-8603 名古屋市不老町
Dept. of Electrical Eng., Nagoya University
Nagoya 464-8603

時間依存性を検討した。

2. 試料及び実験方法

蒸着材料としてバナジルフタロシアニン(VOPc)分子を用いた。その分子式は $(C_8H_4N_2)_4VO$ で表される。Fig. 1にVOPcの分子構造を示す。分子構造はピラミッド5配位構造を有し、分子の長径が1.4nm、高さが0.2nmである。基板材料には、臭化カリウム(KBr)を用いた。蒸着には分子線エビタキ

図1 バナジルフタロシアニン(VOPc)の分子構造

Fig. 1. Molecular structure of VOPc molecule.

表1 VOPc 膜の作成条件

Table 1. Preparing conditions of VOPc thin films.

Preheating temperature of substrate: P_h [°C]	150
Preheating time of substrate: P_t [min.]	60
Vacuum: V [Pa]	10^{-7}
Substrate temperature: T_s [°C]	200
Evaporating temperature: T_e [°C]	320
Evaporating time: t [min.]	300

表2 有機ガス処理条件

Table 2. Treating conditions in organic gas.

Sample no.	1-a	1-b	1-c	1-d
Heating temperature of solvent: T_v [°C]	Untreated sample	24 Room temperature	75	100
Organic gas	1,2-Dichloroethane			
Pressure of chamber: T_p [atm]	1		1.8	2.6

表3 有機ガス処理条件

Table 3. Treating conditions in organic gas.

Sample no.	2-a	2-b	2-c	2-d
Organic gas	1,2-Dichloroethane			
Treated temperature: T_v [°C]	75			
Pressure of chamber: T_p [atm]	1.8			
Treated time: t_v [hrs]	0	25	50	75

シー(MBE)装置を用いた。試料の作成条件を Table1 に示す。

KBr 基板を使用直前に大気中で劈開し、真空中 150°C で 60min. 予備加熱を行った。KBr 基板上に VOPc 分子を蒸着後、試料を MBE 装置から取り出し、有機ガス処理を行った。試料を 2 枚作成し、それぞれ 4 分割して有機ガス処理した。VOPc 厚膜の形態と非線形光学特性の有機ガス圧力効果の実験に試料 1-a~1-d を、VOPc 厚膜の形態と非線形光学特性の有機ガス処理時間依存性の実験に試料 2-a~2-d を使用した。

有機ガスに試料をさらす方法により、有機ガス処理を行った。Table 2 の処理結果の知見により得られた最適溶剤加熱温度での処理条件を Table 3 に示す。

膜の評価について、VIS/UV スペクトルから相構造、メーカ・フリンジ法により測定された第2次・第3次高調波(SH・TH)から、非線形光学特性および分子の配向を検討した。メーカ・フリンジ装置の光源として、波長: 1064nm, パルス幅: 5ns, 出力: 455mJ, 繰り返し周波数: 10Hz の Nd-YAG レーザーを用いた。

3. 実験結果及び検討

〈3・1〉 異なる有機溶剤加熱温度で加圧した有機ガスで処理された VOPc 膜のガス圧力効果 異なる有機溶剤加熱温度で加圧した有機ガスで処理された VOPc 膜のガス圧力効果を検討する。VOPc 膜のガス圧力効果を検討する前に、VOPc 膜の形態変化が有機ガス、温度のいずれの効果が支配的であるか検討する。80°C の基板温度上に作成された VOPc 薄膜が膜厚 15nm でエピタキシー成長するが膜厚が 40nm で擬似エピタキシー膜へ転移する⁽⁵⁾。KBr 基板上に作成された膜厚 96nm の擬似エピタキシー-VOPc 膜が室温、1atm の有機ガス処理で擬似エピタキシーからエピタキシー膜へ転移する⁽⁶⁾。これらは、Fig. 2 の Q バンド帯での吸収ピークのレッドシフトが有機溶媒加熱温度に関係せず、有機ガス、膜内部への有機ガスの含浸(ガス圧力効果)に強く

図2 有機ガス処理前後の VIS/UV スペクトル
Fig. 2. Absorption spectra of VOPc film after and before organic gas treatment.

支配されることを示唆する。

Fig. 2 に試料 1 の VIS/UV スペクトルを示す。膜厚は有機ガス処理前後にエリブソメーターで計測した。その膜厚は処理前後で 210nm から 195nm に変化した。有機ガス処理前では、Q バンド領域の波長 768nm 付近に吸収ピークが観測される。これは製膜された VOPc 膜が擬似エピタキシー成長した膜であることを示唆する。Fig. 3(b) のように擬似エピタキシー(Pseudomorphic Epitaxy)は、エピタキシーが Fig. 3(a) のように VOPc 分子の中心と臭素の軸と一致して配向するが、膜中に生じたミスフィットによって、VOPc の中心と臭素の軸が僅かにずれた配向をする⁽⁷⁾。これは、擬似エピタキシーが Fig. 3(a) のエピタキシーよりも僅かに膨らんだ構造になることを示唆する⁽⁷⁾。Fig. 4 は擬似エピタキシーとエピタキシー堆積断面構造を示す。Fig. 3 を考慮した場合、Fig. 4 (a) の堆積構造が Fig. 4 (b) の堆積構造より僅かに横へ広がる構造をもつ。

Fig. 2 の室温 (24°C) 有機ガス処理前後では、スペクトル

図3 KBr 基板上における VOPc 分子の格子モデル⁽⁷⁾

Fig. 3. Lattice model of VOPc molecules deposited on KBr substrate⁽⁷⁾.

の変化が見られない。75°C 処理と 100°C 処理では、Q バンド帯の吸収ピークのシフトが見られる。処理前後でピークが 768nm から 790nm へシフトする。これは、試料が擬似エピタキシーからエピタキシーへ相転移したことを示唆する。言い換えれば、室温有機ガス処理では解消されなかったミスフィットが有機溶剤加熱温度を上げること、つまり、ガス圧をあげることにより解消されることを意味する。また、溶剤加熱温度 75°C と 100°C の場合、処理後の吸収ピークの波長に変化は見られない。これは膜厚約 200nm では溶剤加熱温度 75°C での処理で膜に有機ガスが浸入していることを示す。さらに、膜への有機ガスの侵入と VOPc 分子のドナー性とジクロロエタン分子のアクセプター性に基づくドナー・アクセプター相互作用が密接に関係していることを示唆する。

有機ガス処理された VOPc 膜の擬似エピタキシーからエピタキシーへの転移機構は、まだ明らかにされていない。ここで、現段階での検討を試みる。その機構をアレニウス(Arrhenius)の式から展開されるポテンシャルエネルギーと化学反応速度の関係をj用いて説明する。今回の有機ガス処理では、試料を有機ガスにより加圧しているが、試料に熱を加えてはいない。そのため、VOPc 分子の分子拡散は熱エネルギーには関係しない。このため、有機ガスの効果により VOPc の活性化エネルギーが低下するのではないかと考えている。すなわち、有機ガスの効果で活性化エネルギーが低減され、室温程度の熱エネルギーでも、分子が移動できるものと思われる。これにより、不安定な擬似エピタキシーの構造から、擬似エピタキシーよりもエネルギー的に安定なエピタキシーへと転移すると考えている⁽⁷⁾。しかし、活性化エネルギーが低減する機構について明確には分かっていない。銅フタロシアニン(CuPc)の場合、相転移に対する活性化エネルギーがトルエン中では 14.0kcal/mol、ベンゼン中では 11.6kcal/mol となり、溶媒の種類によって活性化エネルギーが変化することが報告されている⁽⁸⁾。VOPc についても CuPc と同様に溶媒の種類によって活性化エネルギーが変化することが考えられる。

ジクロロエタンガス中の VOPc 分子の活性化エネルギーが低下し、活性化することについて、少し具体的に検討する。VOPc 分子が電子供与性を持つことが報告されている⁽⁹⁾。

図4 有機ガス処理による VOPc 膜の相転移モデル⁽⁷⁾

Fig. 4. Phase transition model of VOPc film treated in organic gas⁽⁷⁾.

図5 試料の第2高調波(SH)強度の入射角依存性
(入射光 S 波)

Fig. 5. SH intensity vs. incident angle of VOPc films (irradiated with S polarized laser light).

また、有機溶剤中、フタロシアニンの電子受容体として振る舞う有機溶剤があることが報告されている⁽⁸⁾。これらは、ジクロロエタンガスで含浸された VOPc 膜中、ジクロロエタン分子と VOPc 分子間の電荷移動が起こり、ジクロロエタン分子と VOPc 分子間の相互作用が強まることを示唆する。これがジクロロエタンガス中の VOPc 分子の活性化エネルギー低下を引き起こす原因であることが示唆される。

Fig. 5 にメーカ・プリングにより測定された第2高調波(SH)強度の入射角依存性を示す。非線形光学定数の大きな膜では、堆積分子が中心非対称性を持って配向することが重要である⁽¹⁰⁾。これは、VOPc 膜で大きな SH が発生する条件として、膜がエピタキシー成長していることが必要であることを意味する。Fig. 5 は SH 強度がレーザー光入射角 0°付近で最小となる下に凸の角度依存性を持つ。これは、VOPc 膜がエピタキシー成長していることを示唆する。理論的には、入射角 45°付近から、反射率が近似的に入射角の二乗に比例して増大する。したがって、±45°付近で第2次高調波(SH)が最大値を示す。しかしながら、実験結果では、SH 強度の最大値が±45°付近に存在しない。これは試料表面の状態で、第2次高調波(SH)強度の最大値が入射角 45°から前後にずれを起こすことを示す。さらに、有機ガス処理後の SH 強度の入射角依存性が増大している。75℃の処理後は処理前より 2.2 倍大きくなった。これは、処理後の相構造が擬似エピタキシーからエピタキシー成長へ転移したことを示唆する。これらの結果は、処理前後の VIS/UV スペクトル(Fig. 1)の考察を支持する。

Fig. 6 に試料 1 の第3次高調波(TH)強度の入射角依存性を示す。入射角 0°付近を最大とした上に凸の角度依存性を持つ。有機ガス処理前より、処理後の TH 強度が増加した。これは、膜のパッキング密度が高くなったことに原因する。

図6 試料の第3次高調波(TH)強度の入射角依存性
(入射光 P 波)

Fig. 6. TH intensity vs. incident angle of VOPc films (irradiated with P polarized laser light).

有機ガス処理後の3次非線形光学感受率($\chi^{(3)}$)を見積もった。その $\chi^{(3)}$ 値は 3.40×10^{-9} esu である。この $\chi^{(3)}$ 値は、近年 Fang 等⁽²⁾によって報告された VOPc 単結晶の $\chi^{(3)}$ 値 (2.87×10^{-10} esu) の約 12 倍になる。この値は光スイッチング素子作成材料として十分な性能を有することを意味する。

有機ガス処理された VOPc 膜の非線形光学特性(SHG・THG)が向上することを示した。更に、チャンパー内 75℃ の溶剤加熱温度で処理された膜の非線形光学特性が向上することが分かった。これらは、チャンパー内の溶剤加熱温度が高くなると、チャンパー内圧の上昇により、結晶構造の歪が消失することを示唆する。溶剤加熱温度 100℃ で処理された膜の SH, TH 強度が 75℃ 処理より低下する。これは、100℃での分子拡散速度が 75℃より速いため、膜内に欠陥が生ずることを示唆する。それ故、最適なチャンパー内圧が存在することを意味する。100℃におけるチャンパー内圧は $T_{p100}=2.6$ [atm]、75℃のチャンパー内圧は $T_{p75}=1.8$ [atm] である。

〈3・2〉 有機ガス処理時間依存性 有機溶剤加熱温度 75℃における有機ガス処理時間依存性を検討する。Fig. 7 に試料 2 の VIS/UV スペクトルを示す。有機ガス処理前では、Q バンド領域の波長 770nm 付近に吸収ピークが観測される。これは、製膜された VOPc 膜が擬似エピタキシー成長した膜であることを示唆する。25hrs 処理では処理効果が見られない。50, 75hrs では、ピークが 780, 790nm と長波長側へシフトしていることが分かる。このことは、長い処理時間によって、VOPc 内部に有機ガスが浸入し、試料が擬似エピタキシー成長からエピタキシー成長へ相転移したことを示唆する。

Fig. 8 に試料の SH 強度の入射角依存性を示す。SH 強度が入射角 0°付近で最小をもつ下に凸の角度依存性をもってい

図7 有機ガス処理前後のVIS/UV スペクトル
Fig. 7. Absorption spectra of VOPc film after and before treatment in organic gas.

図8 試料のSH強度の入射角依存性 (入射光S波)
Fig. 8. SH intensity vs. incident angle of VOPc films (irradiated with S polarized laser light).

ることが分かる。これは膜がエピタキシー成長していることを示唆する。さらに、有機ガス処理後において、SH強度が大きくなっていることが分かる。これは、処理後の相構造がより完全なエピタキシー成長へ近づいたことを示唆する。有機ガスの処理時間に伴いSH強度が増大する。その値は、処理前より75hrsの処理では1.9倍大きくなった。これは上述の考察を支持する。

Fig. 9に試料2のTH強度の入射角依存性を示す。入射角0°付近で最大値を持つ上に凸の角度依存性を示す。処理後の入射角0°付近におけるTH強度が増加している。これは、エピタキシーと擬エピタキシーのパッキング密度の違いに原因することを示唆する。有機ガス処理時間の増大に伴いTH強度が大きくなる。処理前より75hrsの処理では、その大きさが2.9倍となった。これは、有機ガス処理により3次非線形光学特性が改善されたことを示す。P波入射時における、有機ガス処理後の3次非線形光学感受率 $\chi^{(3)}$ を見積も

図9 試料のTH強度 (入射角依存性・入射光P波)
Fig. 9. TH intensity vs. incident angle of VOPc film (irradiated with P polarized laser light).

った。その $\chi^{(3)}$ は 2.97×10^{-9} esuとなった。

有機ガス処理された膜の相転移が非線形光学特性(SHG・THG)を向上させることを示した。更に、処理時間の増大に伴い、有機ガスがVOPc内部に浸入し、配向が改善されることを示した。

Fig. 10に試料2-aのSEM像を示す。これらSEM像の観察倍率は、5000倍である。Fig. 10では、膜にクラックが存在することが分かる。クラックの存在が擬エピタキシーと密接に関連することが示唆される。クラックの存在が厚膜に特有の現象であることから、クラックを起こす程度の歪みが厚膜内部に存在することを示す。Fig. 11でも、Fig. 10と同様な像が見られることから、擬エピタキシー膜であることが示唆される。Fig. 12, Fig. 13では、Fig. 10, Fig. 11で見られたクラック、歪みが消失していることが分かる。これは、有機ガスによってVOPc厚膜の形態が擬エピタキシーからエピタキシーへ転移したことを示唆する。しかし、Fig. 12はFig. 13より、膜表面に多くの細孔が存在することが分かる。言い換えれば、Fig. 13がFig. 12より平滑な表面を持つ。これは、Fig. 13がFig. 12よりエピタキシーに近い形態をもつことを示唆する。SEM観察の結果から、有機ガス処理による膜の配向改善が観測された。さらに、有機ガス処理時間の増大に伴い、膜のパッキング密度が高くなり、膜表面が平滑化し、エピタキシーへ転移することが観測された。

Fig. 14に試料2-aのAFM像を示す。Fig. 10で見られたクラックの溝が走っていることが分かる。Fig. 15においても、Fig. 11で観測されたようなクラックが存在することが分かる。これらは、Fig. 10, Fig. 11の観察結果を支持する。Fig. 16, Fig. 17では、Fig. 14, Fig. 15で観測されたクラックが消失していることが分かる。これらは、SEM観察の結果を支持する。

図 10 試料 2-a の SEM 像
Fig. 10. SEM image of sample 2-a.

図 11 試料 2-b の SEM 像
Fig. 11. SEM image of sample 2-b.

図 12 試料 2-c の SEM 像
Fig. 12. SEM image of sample 2-c.

図 13 試料 2-d の SEM 像
Fig. 13. SEM image of sample 2-d.

図 14 試料 2-a の AFM 像
Fig. 14. AFM image of sample 2-a.

図 15 試料 2-b の AFM 像
Fig. 15. AFM image of sample 2-b.

図 16 試料 2-c の AFM 像
Fig. 16. AFM image of sample 2-c.

図 17 試料 2-d の AFM 像
Fig. 17. AFM image of sample 2-d.

4. まとめ

分子線エピタキシー法で作成された VOPc 膜では、60nm 以上の膜厚を有する VOPc 膜は高配向性をもつエピタキシー膜へ成長しない。高速スイッチング材料として、100nm 以上の膜厚を有する VOPc 膜が必要である。しかしながら、1 atm 程度の有機ガス圧では、100nm 以上の厚膜をもつ VOPc 膜全体を有機ガスで含浸させることができない。そこで、有機ガス圧を上げ、VOPc 厚膜(100nm 以上)のエピタキシーへの転移を検討した。本研究で得られた知見を次に示す。圧力 1.8 atm の有機ガス処理により、200nm 厚を持つ VOPc 膜全体を擬似エピタキシーからエピタキシーへ転移させることに成功した。エピタキシーへ転移された VOPc 厚膜は擬似エピタキシー厚膜より優れた非線形光学特性を有することを示した。大きな 3 次非線形光学感受率を得るには、配向性の優れた膜を作成することが重要であることを示した。本研究で作成された VOPc 厚膜がフォトニッククリスタルとして十分実用可能であることを明らかにした。

(平成 14 年 3 月 22 日受付, 平成 15 年 5 月 26 日再受付)

文 献

- (1) S. Fang, H. Tada, and S. Mashiko: "Enhancement of the third-order nonlinear optical susceptibility in epitaxial vanadyl-phthalocyanine films grown on KBr", *Appl. Phys. Lett.*, Vol. 69, pp. 767-769 (1996-8)
- (2) H. Hoshi, K. Hamamoto, T. Yamada, K. Ishikawa, H. Takezoe, A. Fukuda, S. Fang, K. Kohama, and Y. Maruyama: "Thickness Dependence of the Epitaxial Structure of Vanadyl Phthalocyanine Film", *Jpn. J. Appl. Phys.* Vol. 33, L1555 (1994)
- (3) M. Scalora, J. P. Dowling, C. M. Bowden, and M. J. Bloemer: "Optical Limiting and Switching of Ultrashort Pulses in Nonlinear Photonic Band Gap Materials", *Physical review letters*, Vol. 73, No. 10 (1994-5)
- (4) S. Scholz and O. Hess: "Dynamic Cross-waveguide Switching with a Nonlinear Photonic Band-gap Structure", *Optics Express*, Vol. 3, No. 1 (1998-6)
- (5) A. Maeda, H. Furuhashi, T. Yoshikawa, Y. Uchida, K. Kojima, A. Ohshi, S. Ochiai, and M. Ieda: "Characterization of Vanadyl-Phthalocyanine Single Crystal Films Grown on KBr and Muscovite Mica by Molecular Beam Epitaxy", *T. IEE Japan*, Vol. 118-A, No. 5 (1998-5) (in Japanese)
前田昭徳・古橋秀夫・吉川俊夫・内田悦行・小嶋憲三・大橋朝夫・落合鎮康・水谷照吉: 「分子線エピタキシーで KBr, 雲母基板上に作成したバナジルフタロシアニン単結晶の評価」, 電学誌 A, 118, 5 (1998-5)
- (6) H. Nakano, H. Furuhashi, T. Yoshikawa, A. Maeda, Y. Uchida, K. Kojima, A. Ohashi, S. Ochiai, and T. Mizutani: "Phase Transition of Vanadyl-phthalocyanine Film Prepared on KBr Treated in Organic Vapour", *J. Vac. Soc. Jpn.*, Vol. 43, No. 3 (2000-3) (in Japanese)
中野寛之・古橋秀夫・吉川俊夫・前田昭徳・内田悦行・小嶋憲三・大橋朝夫・落合鎮康・水谷照吉: 「有機ガス処理された KBr 基板上のバナジルフタロシアニン膜の相遷移」, 真空, 43, 3 (2000-3)
- (7) H. Nakano, H. Furuhashi, T. Yoshikawa, A. Maeda, Y. Uchida, K. Kojima, A. Ohashi, S. Ochiai, and T. Mizutani: "Control of Molecular Orientation in Vanadyl-Phthalocyanine Film Using Organic Gas", *T. IEE Japan*, Vol. 121, No. 4, pp. 726-732 (2001-4) (in Japanese)
中野寛之・古橋秀夫・吉川俊夫・前田昭徳・内田悦行・小嶋憲三・大橋朝夫・落合鎮康・家田正之・水谷照吉: 「有機ガスによるバナジルフタロシアニン(VOPc)膜の分子配向制御」, 電学誌 C, 121, 4 (2001-4)
- (8) 田中正夫・駒 省二: 「フタロシアニン」, p. 36, ぶんしん出版 (1991)
- (9) L. Qiu, Y.-Q. Shen, H.-J. Xu, Z.-X. Zhang, P.-X. Ye, P. Yuan, Z.-J. Xia, and Y.-H. Zou: "The Off-resonant Third-order Optical Nonlinearities of Solu-

ble Vanadyl Phthalocyanines", *Inst. Photographic Chemistry and Inst. Physics, Chinese Acad. Sci., Beijing, Peking Univ., Beijing*, 55, 37 (1997)

- (10) V. G. Dmitriev, G. G. Gurzadyan, and D. N. Nikogosyan: "Handbook of nonlinear optical crystals", Vol. 64, p. 24, Springer Series in Optical Sciences (1999)

設 案 俊 孝

(学生員) 1976 年 11 月 9 日生。2000 年 4 月愛知工業大学大学院工学研究科修士課程・電気電子工学専攻入学, 在学中。非線形材料の作成とその応用に関する研究に従事。

金 永 龍

(学生員) 1969 年 12 月 11 日生。2001 年 4 月愛知工業大学大学院工学研究科修士課程・電気電子工学専攻入学, 在学中。非線形材料の作成とその応用に関する研究に従事。

内 田 悦 行

(正員) 1940 年 12 月 21 日生。1966 年 3 月早稲田大学大学院理工学研究科修士課程修了。名古屋大学工学部助手, 愛知工業大学工学部電子工学科助教授, 現在, 同大学情報通信工学科教授。工学博士。主としてオプトエレクトロニクスの技法の開発とその応用システムならびに材料の開発に関する研究と教育に従事。レーザー学会応用物理学会, SPIE 会員。

小 嶋 憲 三

(正員) 1941 年 12 月 22 日生。1970 年 3 月愛知工業大学大学院工学研究科修士課程修了。同年愛知工業大学電気工学科助手。光非線形薄膜の電気伝導を測定し, 光非線形性と電気伝導の関係の解析に関する研究, 有機分子薄膜を各種電子デバイスや光非線形素子へ応用する研究, 特に有機分子の光感応性を利用した太陽電池, 半導電性を利用した電界効果トランジスタなどを真空蒸着法により作成し高機能化を追求する研究に従事。現在, 愛知工業大学電気工学科教授。工学博士。

大 橋 朝 夫

(正員) 1938 年 12 月 1 日生。1970 年 3 月名古屋大学大学院工学研究科博士課程後期課程了。同年名古屋大学工学部助手。薄膜表面とバルクの化学構造と電子構造の解析に関する研究, 電気絶縁材料, 特に絶縁性液体の絶縁破壊現象と電気伝導機構の研究, 個体, 粉体, 液体の静電気帯電機構の解明と帯電防止に関する研究, 光非線形有機薄膜の作成と特性評価に関する研究に従事。現在, 愛知工業大学電気工学科教授。

工学博士。

落合 鎮 康

(正員) 1944年1月1日生。1966年3月愛知工業大学大学電気工学科卒業。同年愛知工業大学電気工学科助手。1990年10月～3年9月まで米国・クラークソン大学研究員。酸化物高温超伝導体の伝導機構の解明、非線形光学材料の作成とその応用に関する研究に従事。現在、愛知工業大学電気工学科教授。工学博士。

水谷 照 吉

(正員) 1941年5月9日生。1969年3月名古屋大学大学院工学研究科博士課程(電子工学専攻)修了。同年名古屋大学工学部助手, 1987年7月同教授。1973年7月～49年12月カナダ・ラバル大学研究員。主に、誘電・絶縁材料, 半導体材料, 薄膜デバイス, 有機エレクトロニクスに関する研究に従事。現在, 名古屋大学大学院工学研究科電気工学専攻教授。工学博士。