Nano Vanadyl-phthalocyanine Crystals Fabricated on KBr Substrate

Suguru Mototani Student Member

Shizuyasu Ochiai Member

Yoshiyuki Uchida Member

Asao Ohashi Member

Kenzo Kojima Member

Teruyoshi Mizutani Member

Keywords : Epitaxy, Vanadyl-phthalocyanine (VOPc), Nano crystal, Morphology, Molecular orientation, Molecular beam epitaxy method

1. Introduction

Devices using organic semiconductors and nonlinear optical materials have potential applications such as flexible displays, identification tags, electronic paper, large-area sensors, optical switches and optical IC. Many papers have been published on organic thin films of organic semiconductors and non-linear optics materials. Vanadyl-phthalocyanine (VOPc) film deposited on KBr (100) substrate shows a unidirectional molecular orientation with a square commensurate lattice and it has large nonlinear optical susceptibility. On the other hand, vanadylphthalocyanine, an organic semiconductor, is applicable as an active layer of the organic field effect transistor (OFET). However, the electrical/optical properties and optimum preparatory conditions of nano-VOPc crystals are not well understood. We investigated the relationship between the preparatory conditions and the morphology of nano-VOPc crystal formable on KBr substrate and obtained oriented nano-VOPc crystals, which were improved through annealing. Such nano-crystals are expected to be applied in organic electronic/optical devices.

2. Experiments

Nano-VOPc crystals were prepared on KBr (100) substrate using molecular beam epitaxy (MBE) equipment. The surface morphology of nano-VOPc fabricated on KBr substrate was observed by AFM. The morphology and orientation of nano-VOPc crystals were identified with Vis/UV spectra and X-ray diffraction.

3. Results and Discussion

Figure 1 shows an AFM image of the surface of the VOPc thin film with an evaporation time of 7 min. and annealing at 150 °C for 180 min. Many square-shaped nano-VOPc crystals can be seen in the AFM image of Figure 1. The AFM image of the sample before annealing shows many grains form a size smaller than that before annealing and the surface of grains lack the smoothness. In addition, their grains have molecular clusters. After annealing, the size of nano-crystals is larger than that before annealing and the number of small nano-crystals markedly decreases with the annealing. Furthermore, the surface of the nano-crystals is smoother than that before annealing, which indicates that during annealing, small grains merge with one another through thermal diffusion and many clusters existing around the grain adhere to the grain by thermal annealing.

In annealing treatment at 150 °C for 360 min, the grain size

grew larger than that after the thermal annealing at 150 °C for 180 min., and the contact between grains caused distortion inside the grain. In the sample prepared with an evaporation time of 15 min., grains having a unidirectional orientation can be seen in the AFM image. This indicates that during the evaporation time, VOPc molecules adhering on KBr (100) substrate move to epitaxial sites on the substrate and then, form a commensurate square lattice of 3×3 R45°. After that, VOPc molecules arriving on the substrate are deposited with epitaxial growth. This also means that grains formed with the evaporation time of 15 min. on the substrate are in a unidirectional orientation. Annealed at 150 °C for 180 min., the grain is a size larger and adheres in clusters more than before annealing. In addition, the grains form in a unidirectional orientation. These findings indicate that the formation of clusters with the thermal diffusion of VOPc molecules adhering on the substrate and the cluster and grain are absorbed and merged, moreover, grains on the substrate are absorbed and merged. Also, the evaporation and annealing time are closely related to the unidirectional orientation of grains on the substrate. In annealing treatment at 150 °C for 360 min., the contact between grains occur the distortion inside the grain.

Fig. 1. AFM image of the surface of the VOPc thin film after the thermal annealing at 150 °C for 180 min

臭化カリウム基板上に作成されたバナジルフタロシアニンナノ結晶

学生員 元谷 卓* 正 員 落合 鎮康*
 正 員 内田 悦行* 正 員 大橋 朝夫*
 正 員 小嶋 憲三* 正 員 水谷 照吉*

Nano Vanadyl-phthalocyanine Crystals Fabricated on KBr Substrate

Suguru Mototani*, Student Member, Shizuyasu Ochiai*, Member, Yoshiyuki Uchida*, Member, Asao Ohashi*, Member,
 Kenzo Kojima*, Member, Teruyoshi Mizutani*, Member

Vanadyl-phthalocyanine (VOPc) thin film deposited on a KBr substrate by the molecular beam epitaxy (MBE) method consists of nano-VOPc crystals grown with epitaxy. The nano-VOPc crystal becomes a commensurate square shape by the annealing treatment at 150°C. Moreover, the size of the nano-crystal is controllable by changing the conditions of the MBE deposition and the thermal treatment. The growth processes of nano-crystals on KBr substrate are clarified experimentally and they are closely related to a strong interaction between VOPc molecule and KBr substrate. Their mechanisms can be explained in terms of the surface diffusion of the VOPc molecules on KBr substrate.

キーワード：エピタキシ，バナジルフタロシアニン(VOPc)，結晶形態，分子配向，ナノ結晶，分子線エピタキシ(MBE)法

Keywords : epitaxy, vanadyl-phthalocyanine (VOPc), morphology, molecular orientation, nano crystal, molecular beam epitaxy method

1. はじめに

無機半導体であるシリコンをベースとするマイクロエレクトロニクス集積化技術の微細加工に限界が見え始めていることから、有機材料の持つ特徴を十分に活用した有機電子・光デバイスの開発が脚光を浴びている。そのため、非線形光学特性や電気特性を自由に制御できる有機機能材料の作成技術およびその素子化技術の確立が重要である⁽¹⁾。

近年、無機材料に比し大きな非線形光学感受率を示す有機非線形光学材料が注目されている。例えば、KBr(100)基板上に堆積されたバナジルフタロシアニン(VOPc)薄膜が一軸配向し、エピタキシャル成長すること⁽³⁾⁽⁶⁾⁽⁷⁾、大きな非線形光学感受率 $\chi^{(3)}$ を持つことが知られている⁽²⁾⁽⁴⁾。他方、VOPc は半導体の性質を有することから、有機電界効果トランジスタの活性層への採用も検討されている。これらのことから、今後、VOPc 薄膜は有機電子・光デバイス用材料として重要な役割を果たすものと考えられている。

本研究では、有機ナノ電子・光デバイスの作成を目指し、良質なナノ VOPc 結晶の作成条件とその機構について検討した。KBr 基板上にナノ VOPc 結晶(100×100nm²程度)が得

られることを見だし、その成長過程や熱処理効果の詳細を実験的に明らかにし、その成長機構について考察した。この有機ナノ VOPc 結晶がナノサイズ電界効果トランジスタ、IC、光論理素子、光スイッチング素子、光メモリ、光 IC の作成に適用すること可能であることから、有機ナノテクノロジーの大きな進展が期待される。

2. 実験方法

分子線エピタキシ(MBE)装置(島津製作所製 SLC-29 型)により、真空度 10⁻⁷ Pa 台で、バナジルフタロシアニン(VOPc)を臭化カリウム(KBr)基板上に堆積させた。図 1 に VOPc の分子構造を示す。VOPc 分子はピラミッド 5 配位構造を有し、分子の長径が 1.4nm、高さが 0.2nm である。大気中で VOPc を 0.1 g 計量し、蒸着前に真空中で 300°C、120min. 予備加熱した。次に、蒸着前に大気中で 10×10×0.5mm³ に劈開した KBr 基板を真空中 300 °C、60 min. 予備加熱した。VOPc 薄膜の蒸着後、真空中で熱処理を施した。各試料の蒸着条件

図 1 VOPc の分子構造

Fig. 1. Molecular structure of VOPc molecule.

* 愛知工業大学
 〒470-0392 愛知県豊田市八草町八千草 1247
 Aichi Inst. of Tech., Yakusa-cho, Toyota 470-0392, JAPAN

Table 1. Preparatory conditions of VOPc thin films on KBr substrate with an evaporation time of 5 minutes and no annealing in Sample 1, annealing for 180 minutes in Sample 2 and annealing for 360 minutes in Sample 3.

Sample No.	1	2	3
Substrate	KBr (100)		
Vacuum (Pa)	10^{-7}		
Evaporating temp. ($^{\circ}\text{C}$)	300		
Evaporating time (min.)	7		
Preheating temp. of substrate ($^{\circ}\text{C}$)	300		
Substrate temp. ($^{\circ}\text{C}$)	150		
Annealing time (min.)	0	180	360
Annealing temp. ($^{\circ}\text{C}$)	150		
Thickness (nm)	9	13	12

Table 2. Preparatory conditions of VOPc thin film on KBr substrate with an evaporation time of 15 minutes and no annealing in Sample 1, annealing for 180 minutes in Sample 2 and annealing for 360 minutes in Sample 3.

Sample No.	4	5	6
Substrate	KBr (100)		
Vacuum (Pa)	10^{-7}		
Evaporating temp. ($^{\circ}\text{C}$)	300		
Evaporating time (min.)	15		
Preheating temp. of substrate ($^{\circ}\text{C}$)	300		
Substrate temp. ($^{\circ}\text{C}$)	150		
Annealing time (min.)	0	180	360
Annealing temp. ($^{\circ}\text{C}$)	150		
Thickness (nm)	15	20	24

及び膜厚を表 1, 2 に示す。作成した VOPc 薄膜の表面形態を原子間力顕微鏡(AFM) (OLYMPUS 製 NV2000 型)により評価した。パルクの形態評価を可視・紫外 (Vis/UV) 分光光度計 (島津製作所製 UV-2450 型), 基板上的 VOPc 分子の配向, 配列評価を X 線回折装置(XRD 島津製作所製 XD-D1)により行った。

3. 実験結果及び検討

〈3・1〉 Vis/UV スペクトル 図 2 に試料 1~3 の吸収スペクトルを示す。各試料とも 780nm 付近の吸収ピークと 810nm 付近にショルダーが見られる。このことは擬似エピタキシとエピタキシで堆積された膜であることを示唆する⁽⁵⁾。180min の熱処理を施した試料 2 では, 780nm に吸収のピークを持つ擬似エピタキシ成分に比し, 810nm にショルダーを有するエピタキシ成分が増大することが分かる。これは, VOPc 膜の擬似エピタキシ層の歪みが緩和され, エピタキシ層へ転移することを示唆する。一方, 熱処理を 360min 施した試料 3 では 780nm の吸収ピークが増大し, 810nm のショルダーが小さくなる。このことは, 熱処理に

図 2 KBr 基板上に作成された試料 1~3 の Vis/UV スペクトル

Fig. 2. Vis/UV spectra of Samples 1 to 3 prepared on KBr substrate.

図 3 熱処理時間に対する 810nm と 780nm の吸光度比
Fig. 3. Absorbance ratio at 810 and 780nm vs. annealing time.

より膜内部の歪みが増大した可能性を示唆する。これらの根拠は設案等により報告された歪の除去が擬似エピタキシャル成長からエピタキシャル成長の転移に関係することに依拠している⁽⁸⁾。

図 3 に 780nm と 810nm の吸光度比の熱処理時間依存性を示す。熱処理により膜歪みが一旦緩和されるが, さらなる熱処理により, 歪みが増大することが分かる。

図 4 に試料 4~6 の KBr 基板上に堆積された VOPc 薄膜の吸収スペクトルを示す。各試料とも図 2 と同様なスペクトルパターンを示すことから, 図 2 の試料と同様な堆積膜であることが理解される⁽⁵⁾。また, 熱処理時間の増加と共に擬似エピタキシが増大することが分かる。これは熱処理により膜内部の歪みが増大した可能性が考えられる⁽⁸⁾。

図 5 は, 780nm と 810nm の吸光度比がアニール時間の増大により低下することを示している。これは試料 1~3 に比し, VOPc 堆積時間が長いこと, 言い換えれば, 膜厚が厚いことに関係する。

〈3・2〉 XRD プロフィール 図 6 に試料 1~6 の XRD プロフィールを示す。試料 1~6 では, 回折ピークが 2θ :

図4 KBr 基板上に作成された試料4～6の Vis/UV スペクトル

Fig. 4. Vis/UV spectra of Samples 4 to 6 prepared on KBr substrate.

図5 熱処理時間に対する 810nm と 780nm の吸光度比

Fig. 5. Absorbance ratio at 810 and 780nm vs. annealing time.

図6 KBr 基板上に作成された試料1～6の XRD プロフィール

Fig. 6. XRD profiles of Samples 1 to 6 prepared on KBr substrate.

27.0° (面間隔 0.33nm) に存在することから、VOPc 分子が KBr 基板上に平行配向していることが示唆される。

〈3・3〉 AFM 観察 有機分子線蒸着に基づく、基板上の島状結晶成長モデルが次のように、提案されている。蒸着源から飛来した蒸着分子が基板表面に一部吸着し、吸着分子の表面拡散に伴い次第に結晶核が形成され、結晶核の成長により、グレインが成長する。その後、グレイン間の吸収、合併により、島状結晶 (ナノ結晶) が成長する。それに続き、島状結晶へのグレインの吸収、合併、飛来分子の拡散、吸着に基づき、大形結晶が成長する⁽⁹⁾。これを基に、図7～10の AFM 像を検討する。図7に試料1の AFM 像を示す。試料1では、蒸着時間が7 min.と短く、基板上の飛来分子が少なく、十分な表面拡散が行われていないため、多くのグレイン或いは凝集体が確認される。また、僅かな配向性を持ちながら、KBr 基板表面にグレインが成長していることが分かる。

図8に試料2の AFM 像を示す。180 min.の熱処理を施すことにより、離散的にナノ結晶が観察される。蒸着時間が短い為にナノ結晶が小さく、また数が少ないことが分かる。さらに、ナノ結晶の大きさにバラつきがあることが分かる。しかし、ナノ結晶上に残留するグレイン或いは凝集体の数が少なく平滑なナノ結晶が観察される。これは、グレイン間の吸収、合併と VOPc 分子の表面拡散に原因する。

図9に図8の拡大図を示す。図8の AFM 像を拡大すると離散的にナノ結晶が存在すること、配向の若干の乱れが明確に観察される。作成されたナノ結晶のサイズにバラつきがあるが、最大 500nm×500nm ナノ結晶が見られ、表面が平滑であることが分かる。

図10に試料3の AFM 像を示す。360 min.の熱処理により

図7 as deposited 試料1の AFM 像倍率 1000×1000nm²

Fig. 7. AFM image of Sample 1 as deposited. Magnification: 10000nm×10000nm²

図 8 180 分間熱処理した試料 2 の AFM 像倍率
1000×1000nm²

Fig. 8. AFM image of Sample 2 annealed for 180 minutes.
Magnification: 10000×10000nm²

図 10 360 分間熱処理した試料 3 の AFM 像倍率
10000×10000nm²

Fig. 10. AFM image of Sample 3 annealed for 360 minutes.
Magnification: 10000×10000nm²

図 9 180 分間熱処理した試料 2 の AFM 像倍率
5000×5000nm²

Fig. 9. AFM image of Sample 2 annealed for 180 minutes.
Magnification: 5000×5000nm

図 11 as deposited 試料 4 の AFM 像倍率
5000×5000nm²

Fig. 11. AFM image of Sample 4 as deposited.
Magnification: 5000nm×5000nm²

表面の平滑なナノ結晶が高密度に形成されることが分かる。試料 3 は試料 2 の倍の熱処理時間のため、試料 2 に比し、ナノ結晶の発生が高密度化することが分かる。そのため、所々で結晶間が接触し、結晶内部の歪みの原因になる。これは熱処理中のグレインの吸収、合併と密接に関係する。また、ナノ結晶の長方形の各辺が丸みを帯びていることが分かる。これは、ナノ結晶を形成する分子の脱離に関係することが示唆される。図 11 に試料 4 の AFM 像を示す。試料 1 に比べ、蒸着時間を 2 倍長くすることで、試料 1 では見られなかった島状結晶が観察される。また、グレインが一軸配向していることが分かる。図 11 では、図 7 に比し、

蒸着時間が 2 倍であるため、基板と VOPc 分子の相互作用の大きいエピタキシャルサイトに飛来した VOPc 分子が配向、配列し、島状結晶が成長し、エピタキシャル成長すること、そして KBr 基板上で一軸配向することが考えられる。

図 12 に試料 5 の AFM 像を示す。ナノ結晶が形成される中間状態が観察される。180 min.の熱処理により、一軸配向を持つナノ結晶が多数観察される。試料 2 では、ナノ結晶が離散的に形成され、サイズにバラつきが見られたが、試料 5 では、KBr 基板表面に全体的に均一なナノ結晶の形成

図 12 180 分間熱処理した試料 5 の AFM 像倍率
10000×10000nm²

Fig. 12. AFM image of Sample 5 annealed for 180 minutes.
Magnification: 10000×10000nm²

図 13 180 分間熱処理した試料 5 の AFM 像倍率
5000×5000nm²

Fig. 13. AFM image of Sample 5 annealed for 180 minutes.
Magnification: 5000×5000nm²

が確認される。アニールに伴い、島状結晶サイズが大きくなる。これは、アニールにより、グレインが吸収、合併を繰り返して、島状結晶サイズが増大することを示唆する。

図 13 に図 12 の拡大 AFM 像を示す。図より、熱処理により KBr 基板上的 VOPc 分子及び分子凝集体（クラスター）が表面拡散、凝集再結晶し、ナノ結晶が成長することが分かる。また、ナノ結晶が一軸配向し、正形状結晶を形成することから、KBr(100)基板上に 3×3R45° の正形状格子で堆積していることが分かる

図 14 に試料 6 の AFM 像を示す。360 min. の熱処理により、

図 14 360 分間熱処理した試料 6 の AFM 像倍率
10000×10000nm²

Fig. 14. AFM image of Sample 6 annealed for 360 minutes.
Magnification: 10000×10000nm²

図 15 360 分間熱処理した試料 6 の AFM 像倍率
5000×5000nm²

Fig. 15. AFM image of Sample 6 annealed for 360 minutes.
Magnification: 5000×5000nm²

ナノ結晶が試料 5 より平滑かつ、大形化し、分子凝集体（クラスター）が観察されない。これは熱処理により VOPc 分子の拡散、クラスター合併により、ナノ結晶が形成されることを示唆する。図 15 に図 14 の拡大図を示す。ナノ結晶の密度が高く、結晶間が接触し、ナノ結晶中に歪みが発生する原因になっていると考えられる。このため、擬似エピタキシ成分が熱処理時間と共に増大した可能性が高い。これは、先の Vis/UV スペクトルの結果を支持する。

4. まとめ

本論文を要約すると、以下の通りである。

KBr 基板上に堆積された VOPc 超薄膜の AFM 像から、KBr

基板では、VOPc 分子と基板との強い相互作用により、エピタキシャル島状結晶（ナノ結晶）が成長する。アニール処理により、ナノ結晶サイズが増大し、ナノ結晶が擬似からエピタキシャル結晶に転移する。長時間アニールでは、ナノ結晶サイズの増大に伴い、ナノ結晶間が接触し、ナノ結晶内部の歪の原因になる。

蒸着時間 7 min., 熱処理なしでは、VOPc 分子の表面拡散、グレインの吸収、合併が不十分な為、KBr 基板上に均一なナノ結晶が形成しない。熱処理では、ナノ結晶が成長するが飛来分子の量が少ないため、その密度が低いことが観測される。また、熱処理時間の増大により、グレインの吸収、合併が促進され、ナノ結晶のサイズが増大し、結晶間で接触が発生するため、結晶内部の歪の原因になる。

蒸着時間 15 min., 熱処理なしでは、多数のナノ結晶が形成し、一軸配向する。これらは長時間蒸着に基づく、VOPc 分子のエピタキシャルサイトへの移動、吸着し、基板上に正方平方格子 ($3 \times 3 R45^\circ$) を形成し、エピタキシャル成長することを示唆する。180min.熱処理では、熱拡散、クラスターのグレインへの吸収、グレインの吸収、合併により、ナノ結晶サイズが大形、均一化し、一軸配向するが長時間蒸着により、ナノ結晶付近に多数のクラスターが存在し、クラスターがナノ結晶の歪の原因である可能性が高い。360min.熱処理では、クラスターが消失し、ナノ結晶表面が平滑化され、ナノ結晶サイズが増大するがナノ結晶間で接触を生ずる。これらは長時間蒸着に基づく、VOPc 分子の熱拡散、クラスターのグレインへの吸収、グレインの吸収、合併に原因し、ナノ結晶間の接触が結晶内部の歪の原因になることを示唆する。

謝 辞

本研究は、文部科学省私学助成学術フロンティア事業「21世紀を支えるための材料の開発—環境、エネルギー、情報に資する材料開発のための基礎研究—」（平成 14～18 年度）の研究の一環として行われたものである。

（平成 18 年 3 月 14 日受付，平成 18 年 8 月 4 日再受付）

文 献

- (1) S. Mototani, S. Ochiai, S. Goro, Y. Uchida, A. Ohashi, K. Kojima, and T. Mizutani : "Growing Process of Vanadylphthalocyanine thin film deposited on Two Types of Substrate", *J. Vac. Soc. Jpn.*, Vol.49, No.6, pp.46-48 (2006) (in Japanese)
元谷 卓・落合鎮康・澤 五郎・内田悦行・大橋朝夫・小嶋憲三・水谷照吉:「バナジルフタロシアニン薄膜の初期成長過程に及ぼす基板の効果」, 真空, **49**, 6, pp.46-48 (2006)
- (2) Q. Jiang, G. Sawa, Y. Uchida, K. Kojima, A. Ohashi, S. Ochiai, and T. Mizutani : "Film Thickness Dependence of Nonlinear Optical Intensity and Morphology of Vanadyl-Phthalocyanine Thin Film Deposited on KCl (100) Substrate", *J. Vac. Soc. Jpn.*, Vol.46, No.3, pp.150-152 (2003) (in Japanese)
蔣 琴・澤 五郎・内田悦行・小嶋憲三・大橋朝夫・落合鎮康・水谷照吉:「塩化カリウム(100)基板上に作製されたバナジルフタロシアニン薄膜の形態と非線形光学強度の膜厚依存性」, 真空, **43**, 3, pp.150-152 (2003)

- (3) H. Hoshi and Y. Maruyama : "Epitaxial growth of chloroaluminum and vanadyl phthalocyanine film on alkali halide single crystals by the molecular-beam-epitaxy technique", *J. Appl. Phys.*, Vol.69, No.5, pp.3046-3052 (1991)
- (4) S. Fang, H. Tada, and S. Mashiko : "Enhancement of the third-order nonlinear optical susceptibility in epitaxial vanadyl-phthalocyanine films grows on KBr", *Appl. Phys. Lett.*, Vol.69, No.6, pp.767-769 (1996)
- (5) 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, No.11A, pp.L1555-L1558 (1994)
- (6) H. Yanagi, T. Mikami, H. Tada, T. Toshifumi, and S. Mashiko : "Molecular stacking in epitaxial crystal of oxometal phthalocyanines", *J. Appl. Phys.*, Vol.81, No.11, pp.7306-7312 (1997)
- (7) H. Tada and S. Mashiko : "Computer Simulation for Molecular Orientation of Vanadyl Phthalocyanine in Epitaxial Form", *Jpn. J. Appl. Phys.*, Vol.34, part 1, No.7B, pp.3889-3897 (1995)
- (8) T. Shidara, Y. Jin, Y. Uchida, K. Kojima, A. Ohashi, S. Ochiai, and T. Mizutani : "Nonlinear Optical Properties and Organic Gas Effects of VOPc Thick Films Prepared on KBr Substrate", *IEEE Trans. EIS*, Vol.123, No.10, pp.1706-1713 (2003-10) (in Japanese)
設楽俊孝・金 永龍・内田悦行・小嶋憲三・大橋朝夫・落合鎮康・水谷照吉:「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」, 電学論 C, **123**, 10, pp.1706-1713 (2003-10)
- (9) K. Yase : "Ultra-thin Films Prepared by Organic Molecular Beam Deposition Techniques, Journal of the National Institute of Materials and Chemical Research", Vol.2, No.2, Chapter 2, p.243 (1994) (in Japanese)
八瀬清志:「有機分子線蒸着等による超薄膜に関する調査研究」, 第 2 巻, 第 2 号, 2 章, p.243 (1994)

元 谷 卓

（学生員） 1982 年 3 月 11 日生。2004 年 3 月愛知工業大学卒業。現在、愛知工業大学大学院工学研究科電気電子工学専攻、在学中。非線形光学材料の作成とその応用に関する研究に従事。

落 合 鎮 康

（正員） 1944 年 1 月 1 日生。1966 年 3 月愛知工業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。酸化物高温超電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、愛知工業大学電気学科教授。工学博士

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、同大学電気学科教授。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に従事。現在、愛知工業大学電気学科教授。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満了。同年 4 月より名古屋大学工学部電気学科助手、講師、助教授を経て 1987 年 7 月同教授、2005 年 3 月同定年退職。同年 4 月より名古屋大学名誉教授、愛知工業大学客員教授、現在に至る。工学博士。1997 年電気学会業績賞受賞。主として誘電・絶縁材料、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。IEEE、応用物理学会、高分子学会、放電学会、CIGRE 会員。