スピロピラン LB 膜の構造と光・電気特性

正員 加藤 景三 (新潟大)
 非会員 鈴木 勝 (新潟大)
 正員 若松 孝 (茨城高専)
 非会員 齊木 仁 (新潟大)
 正員 金子 双男 (新潟大)
 正員 小林 敏志 (新潟大)

Structure and Optical and Electrical Properties in Spiropyran LB Films

Keizo Kato, Member, Masaru Suzuki, Non-member (Niigata University), Takashi Wakamatsu, Member (Ibaraki National College of Technology), Hitoshi Saiki, Non-member, Futao Kaneko, Member, Satoshi Kobayashi, Member (Niigata University)

Optical and electrical properties for LB films of Spiropyran (SP) dyes (SP 98 and SP 1822) and their structure are investigated. SP dyes change from SP to photomerocyanine (PMC) forms as a result of UV irradiation. The UV-irradiated SP dyes change from PMC to SP forms again by visible irradiation or heat-treatment. Polarized reflection spectra of SP Langmuir films and absorption spectra for the SP LB films are measured. The structure is investigated from their results and the surface pressure-area isotherms. Thermally stimulated current (TSC) measurements are used to examine the electrical properties of the SP LB films. The TSC for the SP films is found to be due to the dipolar depolarization. The TSC of the SP 98 LB films strongly depends on their structure, and exhibits reversible changes caused by the isomerization. The TSC for the SP1822 LB films, however, does not change clearly by the isomerization. It is estimated that the TSC due to the dipolar depolarization depends on how the molecules are packed in the LB films, and that the microscopic behavior of the molecule may be influenced by its surrounding space.

キーワード：スピロピラン, LB 膜, 異性化, 熱刺激電流 (TSC)

1. ま え が き

最近, ラングミュアプロジェクト (LB) 膜を用いた有機薄膜電気電子材料の研究が広範囲に行われている⁽¹⁾。また, 有機分子そのものの機能を用いて分子レベルで素子を作り組み立てる分子素子といった概念も提唱されるようになってきた⁽²⁾。LB 法によれば, 数十 Å オーダの単分子有機膜を基板上に堆積でき, その累積膜である LB 膜を容易に得ることができる。それゆえ, 有機分子そのものの機能を利用したデバイス, すなわち分子デバイスを構築するための有力な手段の一つとして, またマイクロエレクトロニクスへの応用から LB 法が注目されている。このような新しいデバイスの構築には, 有機分子そのものの機能はもちろん大切であるが, それら分子の集合体の構造や機能, また分子を設計どおり秩序正しく配置する技術も極めて重要となる。有機超薄膜内での分子の構造と機能の関係を明ら

かにし, 更に構造制御の方法を確立することは, 新機能・高機能な超薄膜分子デバイスの開発に役立つと考える。

本論文では, 光記録材料として注目されているスピロピラン (SP) 色素分子に対して LB 膜を作製し, その構造および光学的・電気的特性を調べている。SP はフォトクロミズムを示す有機色素で, LB 法により作製された SP 薄膜のフォトクロミック特性について既に調べられている⁽³⁾。そして, 光応用を目的とした光学的特性の研究がさかんに行われており⁽⁴⁾⁽⁵⁾, 光スイッチや多重記録光メモリーへの応用実験⁽⁶⁾⁽⁷⁾も試みられている。しかし, SP 薄膜の電気的特性に関してはほとんど報告例がない。そこで, 本論文では, 光異性化に伴う LB 膜の構造変化に起因する電気的特性の変化を熱刺激電流 (TSC)⁽⁸⁾を用いて調べたので, 光学的特性の測定結果とともに報告する。この結果は著者らの提案した有機超薄膜デバイス⁽⁹⁾に応用可能と考える。

2. 実験方法

〈2・1〉 試料の作製 本研究で使した2種類のSP分子SP 98およびSP 1822(日本感光色素製)の構造を図1に示す。SPはフォトクロミズムを示す有機色素で、紫外線(UV)を照射することで異性化し、SP型からフォトメロシアン(PMC)型に構造変化し、着色する。また、可視光あるいは熱を加えることでPMC型から元のSP型に戻る。この変化は、図に示したように可逆的である⁽⁴⁾⁽⁵⁾。本研究では、SPの着色、すなわちSP型からPMC型への異性化にはUV照射を行い、消色(PMC型からSP型への異性化)には熱処理を行っている。

SPのLB膜の作製には、膜の安定化のためにSPにアラキジン酸[CH₃(CH₂)₁₈COOH, C20]をSP:C20=1:2のモル比で混合しており、水面上への展開には3×10⁻³Mのクロロホルム溶液を用いた。水相は、4×10⁻⁴MのCdCl₂に5×10⁻⁵MのKHCO₃を加えてpH=6.0に調整し、水相の温度を約19°Cとした。LB膜の累積は、ガラス基板上に35 mN/mの表面圧で行った。電気的特性を測定するために使用した試料は、ガラス基板上にAlを蒸着し、その上に上記のようにLB膜を堆積し、更に上部電極としてAlを蒸着して作製した。試料の主電極の面積は0.13 cm²である。なお、LB膜の累積は、暗下およびUV照射下において行われた。また、作製された試料にUV照射された試料、UV照射後に熱処理された試料に対しても実験が行われた。UV照射は、フィルタにより単色化された高圧水銀灯の365 nm付近の輝線を室温で10分間照射することにより行った。熱処理は、試料を真空中で330 Kに10分間保つことにより行った。以下に示すLB膜の測定結果は、21層累積した試料に対するもので、LB膜の膜厚は約590 Åである。

(a)SP98

(b)SP1822

図1 スピロピラン(SP 98, SP 1822)の分子構造
Fig. 1. Chemical structures of SP 98 and SP 1822 molecules.

〈2・2〉 光学的特性の測定法 SPの光学的特性は、溶液およびLB膜の光吸収スペクトル、水面上のラングミュア(L)膜の偏光反射スペクトルの測定により調べられた。測定方法は、前報⁽¹⁰⁾とほぼ同様である。

〈2・3〉 電気的特性の測定法 SP LB膜の電気的特性はTSC測定⁽⁸⁾により調べられた。真空容器内に試料をセットし、室温でバイアス電圧V_bを2分間印加した。そして、液体窒素を用いて100 K程度に冷却した後、試料を短絡し、昇温時に試料に流れる電流、すなわちTSCを測定した。昇温速度は約0.25 K/sである。なお、本論文では、上部電極側に正電圧をバイアスしたときの脱分極電流の方向を正として示している。

3. 実験結果および検討

〈3・1〉 π -A特性 図2にSP:C20=1:2のモル比の混合物の π -A特性を示す。曲線a, bはSP 98, c, dはSP 1822を用いたときの結果であり、破線が暗下、実線がUV照射下での測定結果を示している。SP 1822に関してはUV照射の有無によって π -A特性にそれほど大きな違いがないのに対して、SP 98ではUV照射で大きな影響を受けている。C20の単分子占有面積を20 Å²として、それぞれの π -A曲線からSPの単分子占有面積A_{SP}を見積もりまとめると、表1のようになる。SP 1822のA_{SP}は、暗下およびUV照射下において、低圧時78~85 Å²、高圧時31~33 Å²程度であった。UV照射下のSP 98の場合も

図2 SPとC20の混合物の π -A特性
Fig. 2. Surface pressure-area isotherms for the mixtures of SP and C20.

表1 SPの単分子占有面積A_{SP}
Table 1. The area per SP molecule.

SP分子	A _{SP} (Å ²)			
	暗 中		UV照射下	
	低圧時	高圧時	低圧時	高圧時
SP 98	57	5~8	74	32
SP 1822	85	31	78~85	33

これと同程度の値である。また、SP 分子の発色団部分が水面上に水平に配向した場合の面積は、 $80 \text{ \AA}^2$ 程度と考えられている⁽⁵⁾。よって、これらの条件において SP 分子は低圧時には水面上に水平に配向し、表面圧を増すことによって SP 分子同士が傾いた（あるいは重なった）状態になっていると考えられる。ただし、暗中の SP 98 の A_{sp} は、低圧時 $57 \text{ \AA}^2$ 、高圧時 $5 \sim 8 \text{ \AA}^2$ であり、特に高圧時ではアルキル鎖の単分子占有面積よりも小さな値となっている。長鎖が 1 本の SP において、このような結果の報告はほかにもあり⁽¹¹⁾⁽¹²⁾、この条件で表面圧を加えると分子が単分子膜を形成していないことを示唆している。この場合、明確ではないが、分子の水面での安定性が悪く、分子が L 膜から弾き出されたり、微結晶化していることが考えられる。

〈3・2〉 光学的特性 図 3 に SP 溶液 ($6 \times 10^{-5} \text{ M}$ のクロロホルム溶液、光路長 1 cm) の吸収スペクトルを示す。UV 照射前には可視光領域に顕著なピークは観察されていないが、UV 照射後は SP 98、SP 1822 のいずれの溶液においても 582 nm 付近にピークが観察されている。このピークが PMC 型の SP 分子自身がつも吸収、すなわちモノマーによる吸収ピークと考えられる。

種々の表面圧に対する SP 98 L 膜の偏光反射スペクトルの測定結果を図 4(a), (b) に示す。上述のように、SP 98 は SP 型においては可視光領域に吸収をもたず、また通常、水面上で安定な L 膜を形成しないため⁽⁵⁾、測定は PMC 型について行った。すなわち、まず水面上の十分広い面積に SP 溶液を展開した後、UV 照射により分子を異性化させる。その後、UV 照射を止め、暗中で反射スペクトルの測定を行った。リファレンスとして清浄な水面の反射を用いているため、100% 以上の反射スペクトルが吸収スペクトルと同形のスペクトルとなっている。(a) 図の s 偏光の結果では、低圧時には 550~580 nm 付近に反射ピークをもつブロードな吸収帯が優勢であり、表面圧増加に

図 3 UV 照射による異性化後の SP 溶液の吸収スペクトル

Fig. 3. Absorption spectra of the aqueous solution of SP dyes irradiated by UV.

伴い 620 nm 付近に見られるピークが著しく成長している。このピークの強度は 550~580 nm の吸収の肩や紫外領域の吸収と比較して著しく大きい。このピークは、半値幅の狭い鋭いピークであることから、PMC 型 SP 分子の J 会合体によるものと考えられる。一方、(b) 図の p 偏光の結果においては、620 nm 付近の会合体の形成が若干低圧時より開始されているが、s 偏光の結果とはほぼ同様な結果となっている。s 偏光、p 偏光の結果から、J 会合体は水面上に完全に水平に配向しているのではなく、斜めに配向していることを示唆している。ここでは、SP 1822 の結果は示さなかったが、SP 1822 L 膜での会合体の形成の報告⁽¹³⁾ もあるが、著者らの結果では表面圧による反射スペクトルの形状の変化は観測されず、圧力により単に吸収強度が増加するだけであった。

図 5(a) に SP 98, (b) 図に SP 1822 LB 膜の着・消色後の吸収スペクトルを示す。暗中で累積した試料は透明であるが、どちらの LB 膜も図のように着色過程の UV 照射で 550~600 nm に吸収ピークが現れ、着色し紫色の膜と

(a) s 偏光

(b) p 偏光

図 4 表面圧による PMC 型 SP 98 L 膜の偏光反射スペクトルの変化

Fig. 4. Change of polarized reflection spectra of the SP 98 Langmuir films with PMC form for various surface pressures.

図5 異性化によるSP LB膜の吸収スペクトルの変化

Fig. 5. Change of absorption spectra of the SP LB films by isomerization.

なる。一方、消色過程の熱処理でピークは消え、ほぼ元の吸収スペクトルに戻る。この変化は可逆的である。

〈3・3〉 膜構造の考察 上述の π -A特性と光学的特性の結果から、膜構造について検討する。SP 1822 に関しては、暗中和 UV 照射下の場合で膜構造に大きな変化はないと考えられる。これに対し、SP 98 の場合、暗中和 UV 照射下において膜構造が大きく異なっている。暗中和においては、SP 98 分子は疎水性の問題などで安定な L 膜を形成することができず、高圧時には SP 98 分子が微結晶化している可能性がある。このことは暗状態の SP 98 LB 膜についてもいえ、C 20 の層構造の中に微結晶が点在している可能性が高い。一方、UV 照射においては、図 1 に示したように異性化によるピラン環の開裂によって SP 98 分子中に電離した部分が発生し、分子の安定性がいくらか増し、安定な L 膜が形成できるものと思われる。この状態の膜に表面圧を増すことにより、やがて分子どうしが重なり合って会合状態が形成されていくと考えられる⁽¹⁴⁾。この会合状態は LB 膜の吸収スペクトルでは観測

図6 SP L膜・LB膜構造の概略
Fig. 6. Model of the molecular arrangements in the SP Langmuir and LB films.

されないで、累積の過程において消失している。

このように、SP 分子の L 膜および LB 膜の構造は様々に変化しており、以上の考察から推察される SP L 膜・LB 膜構造の概略を図 6 に示す。なお、LB 膜の偏光吸収スペクトルの測定から、累積過程において、膜面内での異方性の発生は観測されなかった。また、LB 膜の構造について X 線回折測定からも検討した。その結果、暗中および UV 照射下で累積された SP 98, SP 1822 のいずれの膜でも周期的な回折ピークが観測され、膜厚方向の周期性が確認された。また、どの膜も回折ピークの観測される角度がほぼ一致しており、これより得られる 1 層分の膜厚は $28\text{\AA}$ となり、C 20 の分子長に一致していた。これより、C 20 分子により SP 分子が良好にパッキングされているといえる。しかし、この X 線回折の測定からは、推察された図 6 の構造を支持する明確な結果は得られていない。

図 6 は、SP 1822 LB 膜では暗中および UV 照射下の累積ではほとんど同様な構造をもち、分子が密にパッキングされていることを示している。これに対し、SP 98 LB 膜では、UV 照射下で累積された膜は SP 98 分子間の空間が多い。また暗中で累積された膜は、秩序的に累積されている C 20 分子の間に SP 98 分子が微結晶化しており、SP 1822 LB 膜よりも秩序性が劣っている。このように、長鎖が 1 本の SP 98 分子と、2 本の SP 1822 分子では、LB 膜のパッキング状態が異なることがわかる。また著者らの結果と同様に、長鎖の数が異なる SP 色素分子の LB 膜に対して、パッキング状態の違いの報告がなされている⁽¹⁴⁾。

〈3・4〉 電気的特性 図7に室温でバイアス電圧+2Vと-2Vを印加して、短絡回路で測定された三つの状態のSP 98 LB膜のTSCスペクトルの例を示す。TSCはすべて脱分極方向に観測されており、220 K以下では目立ったピークはなく、240 K以上のTSCがバイアス電圧に強く依存していた。同図の破線は暗中で作製された試料の結果、実線は同一の試料にUV照射した試料の結果、一点鎖線はUV照射後に熱処理した試料の結果である。なお、

図7 異性化による SP 98 LB 膜の TSC スペクトルの変化

Fig. 7. Change of TSC spectra for SP 98 LB films by isomerization.

図8 SP 98 LB 膜の TSC のバイアス電圧依存性
Fig. 8. The dependence of TSC at 270 K on the bias voltage V_b .

処理方法は〈2・1〉節で述べたとおりである。この結果より、TSC スペクトルは UV 照射を行うことで大きくなり、更に熱処理を行うことでまた小さくなり、ほぼ元の大きさに戻るといふ可逆的な変化を示している。この変化は、SP 分子の異性化に対応しており、SP 型では TSC は小さく、PMC 型で大きい様子を示している。

図8は270 Kにおける TSC の値をバイアス電圧に対してプロットした結果である。●印は暗中で作製された試料の結果、○印は同一の試料に UV 照射した試料の結果である。いずれの TSC の値もバイアス電圧に比例しており、双極子の脱分極電流と考えられる。また、短時間のバイアス時間で TSC が飽和することが確認されており、このことから双極子分極によるものと考えられる。

図9に UV 照射下で累積した SP 98 LB 膜の TSC スペクトルを示す。図7の暗中で累積した LB 膜のスペクトルとは異なり、図9の UV 照射は約 200 K 以上の温度範囲で電流値が著しく増大している。この値は、図7の暗中で

図9 UV 照射下で累積された SP 98 LB 膜の TSC スペクトル

Fig. 9. TSC spectra for SP 98 LB films deposited under UV irradiation.

図10 異性化および累積条件による SP LB 膜の TSC の変化

Fig. 10. Changes of TSC at 280 K in SP 98 and SP 1822 LB films, deposited in the dark and under UV irradiation, by the isomerization.

累積して UV 照射した試料のものより大きくなっている。また、この UV 照射下で累積された SP 98 LB 膜に UV 照射を行っても、TSC に変化は見られなかった。

SP 1822 LB 膜についても SP 98 LB 膜と同様な TSC 測定を行った結果、暗中で累積した試料では未処理の状態 SP 98 LB 膜よりも TSC は小さく、しかも SP 98 LB 膜とは異なり UV 照射による TSC の変化は観測されなかった。また、UV 照射しながら累積した LB 膜は、暗中で累積したものより TSC は大きくなるが、異性化による TSC の大きな変化は観測されなかった。

以上の TSC の 280 K における値の変化をまとめて図10に示す。同図の破線と実線はそれぞれ暗中および UV 照射下で作製された試料の結果である。この結果は、暗中で累積された SP 98 LB 膜は UV 照射による異性化で PMC 型に構造変化を起こし、分極量が増加することを示している。これは、図1に示したように UV 照射により SP 分子

のピラン環の開裂が起こり分子中に電荷を帯びた部分が発生し、この部分が主として分極量の増大に関与していることによると思われる。

これに対し、暗中で累積された SP 1822 LB 膜は、未処理の状態 SP 98 LB 膜よりも分極量が小さく、しかも異性化による分極量の増加が見られない。これは、LB 膜内での分子の占有面積も分極形成に強く依存し、SP 98 と SP 1822 分子の LB 膜中でのパッキングの状態に関係していると考えられる。明確ではないが、双極子分極を示す分子の微視的挙動は、その周囲の空間をある程度必要とするためと思われる。すなわち、〈3・3〉節で述べたように SP 1822 は 2 本の側鎖をもつために、非常に安定な LB 膜を形成し、パッキングの良い秩序性の優れた膜になっており、SP 98 よりも分極量が少なくなっているとみられる。

この SP 98 と SP 1822 の LB 膜のパッキングの違いは、図 6 から明らかである。暗中で累積された SP 98 LB 膜の場合、分子が微結晶化しており、この状態が膜厚方向の電界印加による分極を容易にさせているものと考えられる。これに対し、SP 1822 LB 膜は分子が非常に密になっており、膜厚方向の電界に対して分極しにくく、分極量が小さくなっていると思われる。そして、SP 1822 LB 膜ではその後の UV 照射で分子中に電荷を帯びた部分が発生したとしても、その部分が分極に寄与できないので、異性化による分極量の変化がなかったと思われる。また、UV 照射下で累積された SP 98 LB 膜は、分子の周囲の空間が大きく、しかも既に PMC 型に異性化しているため、暗中で累積されたものよりも分極量が大きくなったといえる。更に、UV 照射下で累積された LB 膜はその後の UV 照射により分極量がほとんど増加していない。これは、累積された LB 膜の分子が既に PMC 型に異性化しているためと考えられる。

4. ま と め

光異性化を示す SP (SP 98, SP 1822) LB 膜の構造と光学的・電気的特性について調べた。π-A 特性や光学特性の測定結果から、SP 98 と SP 1822 の膜構造について検討し、SP 1822 は SP 98 よりもパッキングの良い秩序性の優れた膜であることがわかった。また、暗中で累積された SP 98 LB 膜の双極子の脱分極による TSC は UV 照射により増大し、熱処理によりまた元に戻り、異性化に伴う可逆的な変化をすることがわかった。しかし、暗中で累積された SP 1822 LB 膜の TSC は、UV 照射によりほとんど変化しなかった。これは、膜構造、すなわち LB 膜内での SP 分子のパッキングの違いによるものと考えられ、双極子分極を示す分子の微視的挙動は、その周囲の空間をある程度必要とするためと思われる。なお、図 6 に本実験結果より推察される SP LB 膜の構造を示したが、現在、全反射減衰法により更に検討しており⁽¹⁵⁾、今後詳しく報告したいと考えている。

本論文で示したように、SP 98 LB 膜の構造を制御する

ことで、著者らが既に提案している超薄膜デバイス⁽⁹⁾への応用が可能と考える。

なお、本研究の一部は(財)中部電力基礎技術研究所の補助による。
(平成 5 年 9 月 27 日受付)

文 献

- (1) 例えば, *Thin Solid Films*, **210/211** (1992)
- (2) F. L. Carter, R. E. Siatkowski & H. Wohltjen (ed.): *Molecular Electronic Devices* (1988) North-Holland, Amsterdam
- (3) C. B. McArdle, H. Blair, A. Barraud & A. Ruau-del-Teixier: "Positive and Negative Photochromism in Thin Organic Langmuir-Blodgett Films", *Thin Solid Films*, **99**, 181 (1983)
- (4) E. E. Polymeropoulos & D. Möbius: "Photochromism in Monolayers", *Ber. Bunsenges. Phys. Chem.*, **83**, 1215 (1979)
- (5) E. Ando, J. Miyazaki & K. Morimoto: "J-Aggregation of Photochromic Spiropyran in Langmuir-Blodgett Films", *Thin Solid Films*, **133**, 21 (1985)
- (6) 荒川: 「フォトクロミック・メモリ材料」, 信学技報, OME 88-49, 49 (昭 63)
- (7) 橋田・稲垣・日比野・鈴木・岸本: 「スピロピラン会合体を用いた多重記録(1)波長多重記録」, 平 4 秋季応物予稿集, No. 3, 17 p-Z-12, 1027
- (8) 日野・金子: 「熱刺激電流を用いた絶縁材料の評価法」, 電学誌, **108**, 787 (昭 63)
- (9) 金子・新保・山下・加藤・加藤・小林・鈴木・小林: 「有機分子の微視的挙動を用いた超薄膜デバイス——メモリーおよびセンサの提案——」, 電学論 A, **113**, 762 (平 5-11)
- (10) 新保・金子・小林: 「シアニン色素吸着ホスファチジン酸 L 膜, LB 膜の分子凝集状態と光特性」, 同上 A, **113**, 224 (平 5)
- (11) D. A. Holden, H. Ringsdorf, V. Devlaue & G. Smets: "Photosensitive Monolayers. Studies of Surface-Active Spiroprans at the Air-Water Interface", *J. Phys. Chem.*, **88**, 716 (1984)
- (12) E. Ando, K. Moriyama, K. Arita & K. Morimoto: "Photochromic Behaviors of Long Alkyl Chain Spiroprans at the Air-Water Interface and in LB Films", *Langmuir*, **6**, 1451 (1990)
- (13) E. Ando, M. Suzuki, K. Moriyama & K. Morimoto: "Molecular Arrangements of Photochromic Spiroprans on a Subphase", *Thin Solid Films*, **178**, 103 (1989)
- (14) 池田・鈴置・水谷: 「スピロピラン L 膜, LB 膜の構造制御」, 信学技報, OME 92-51, 51 (平 5)
- (15) 若松・本多・齊木・加藤・金子・小林: 「銀薄膜上の LB 膜の全反射減衰法による測定」, 電気学会誘電・絶縁材料研資, DEI-93-126; OME 93-40, 7 (平 5)

加 藤 景 三 (正員) 1959 年 5 月 21 日生。1987 年 3 月東京工業大学大学院理工学研究科博士課程修了。同年 4 月新潟大学工学部助手, 1989 年 4 月同講師, 1991 年 4 月同助教授, 現在に至る。工学博士。電気電子材料に関する研究に従事。電子情報通信学会, 応用物理学会会員。

鈴 木 勝 (非会員) 1969 年 1 月 7 日生。1993 年 3 月新潟大学大学院工学研究科修士課程修了。同年 4 月日本モトローラ(株)入社, 現在に至る。応用物理学会会員。

若 松 孝

(正員) 1963年5月30日生。1987年3月新潟大学理学部物理学科卒業。1989年3月東北大学大学院工学研究科博士前期課程電子工学専攻修了。同年4月茨城工業高等専門学校電子情報工学科助手，現在に至る。応用物理学会会員。

金 子 双 男

(正員) 1950年4月1日生。1974年3月新潟大学大学院工学研究科修士課程修了。同年4月東京工業大学工学部助手。1981年4月新潟大学工学部助教授，1992年4月同教授，現在に至る。

この間，1986年3月～1987年1月MIT客員研究員。工学博士。電気電子材料，有機薄膜の研究に従事。1992年4月電気学会有機超薄膜の機能設計・制御調査専門委員会委員長。電子情報通信学会，応用物理学会会員。

齊 木 仁

(非会員) 1969年7月16日生。1993年3月新潟大学工学部電気電子工学科卒業。同年4月同大学大学院工学研究科修士課程入学，現在に至る。応用物理学会会員。

小 林 敏 志

(正員) 1943年3月2日生。1965年3月信州大学工学部通信工学科卒業。1970年3月東北大学大学院工学研究科博士課程修了。同年4月新潟大学工学部講師，1971年4月同助教授，1981年同教授，現在に至る。工学博士。化合物半導体，絶縁体などの電気電子材料の研究に従事。電子情報通信学会，応用物理学会会員。