ヘテロ LB 膜の作製とその電気特性

非会員 西 田 直 樹 (山 形 大)
 正 員 大 嶋 重 利 (山 形 大)
 非会員 奥 山 克 郎 (山 形 大)
 非会員 中 島 健 介 (東 北 大)
 正 員 山 下 努 (東 北 大)

Preparation, Characterization and Electric Properties of Hetero LB Films

Naoki Nishida, Non-member, Shigetoshi Ohshima, Member, Katsuro Okuyama, Non-member (Yamagata University), Kensuke Nakajima, Non-member, Tsutomu Yamashita, Member (Tohoku University)

The electric properties of hetero LB films consisting of Cd-Arachidate and C15TCNQ were studied. It was found from deposition ratio, capacitance and X-ray diffraction measurements that Cd-Arachidate LB films are Y-type structure. On the other hands, C15TCNQ LB films were clarified from deposition ratio to be Y-type or Z-type structure depending on the nature (hydrophilic or hydrophobic) of the substrate. However, Y-Z mixed structure were found to exist by X-ray analysis in the films estimated to be Y or Z-type from the deposition ratio. We measured the electrical resistance of Cd-Arachidate-C15TCNQ hetero LB films expecting the low electrical resistance at the hetero interface. However, the value of electrical resistance was almost as high as that of an insulator. We also found the electrical switching phenomenon for our LB films. The electrical resistance switches from higher resistance state (OFF state) to lower resistance state (ON state), when the voltage is applied to the normal or lateral direction of the film.

キーワード：ヘテロ LB 膜，超低抵抗，スイッチング

1. はじめに

一次元高温超電導体の可能性を指摘した Little のモデルが提案されて以来⁽¹⁾，電荷移動錯体の低次元構造有機物あるいはポリマは，その一次元材料の有力候補として期待され，多くの研究がなされてきた。電荷移動錯体の構築には異なった種類の有機分子を交互に層状に積み上げることが必要である。また，Little の超電導モデルを実現するためには，電子の移動する一次元線路のわきに分極を生じる分子が存在するような構造が必要である。有機分子はもともと化学構造的に非対称であり，この各有機分子の双極子モーメントをそろえることで大きな分極を得る可能性がある。従って，このような構造を作るには有機分子を規則的に，そして任意に配列させることが重要であり，ラングミュア・プロジェクト法(LB 法)はその作製に最も適した手法であると考えられる。

著者らは，この LB 法を用いヘテロ構造膜を作製しヘテロ膜界面における電気特性を検討している。これは分極率の異なる 2 種類の LB 膜を積層した構造である。異なる膜の分極の差によりヘテロ界面に電荷が誘導される。その界

面が分子レベルで規則的に配列した分子面で構造されていれば，界面内に周期的な井戸型ポテンシャルができるものと考えられる。これにより，ヘテロ界面内において低い電気抵抗が期待される。

最近，神奈川大学の日野らが，ヘテロ構造 LB 膜の界面において金属なみの超低抵抗を実現したと報告した⁽²⁾。この実験試料の形状は無極性 LB 膜と有極性 LB 膜のヘテロ膜を金属で挟む形になっている。彼らは，有極性 LB 膜の大きな分極によりヘテロ界面に井戸型ポテンシャルができ，そこが導電面となり超低抵抗が実現されていると主張している。また，室温における超電導の可能性をも議論している。しかし，この報告には再現性や測定試料の形態に問題があると指摘されている⁽³⁾。

著者らは，ヘテロ構造界面における電気伝導を調べるためにアラキシン酸 Cd-C15TCNQ ヘテロ構造 LB 膜を作製し，その構造や電気特性を検討した。本論文は，その結果を述べる。特に，LB 膜の電気的スイッチング特性を見いだしたのでその詳細を記述する。このスイッチング特性は試料に電圧を印加していくと，高抵抗状態から瞬間的な負性抵抗状態を経て低抵抗状態に変わるという性質である。

これは Potember �ら⁽⁴⁾により Cu-TCNQ において報告されており、錯体の形成によるものと議論されている。同様な現象でこの電流スイッチング特性が生じているかどうかを検討した。

2. 実験方法

〈2・1〉 **LB 膜作製装置** LB 膜作製装置は、図 1 で示されるような基板を垂直に上下して膜を累積する装置を用いた。トラフは 15 cm×20 cm のポリエチレン製である。単分子膜を圧縮するためのバリア (x 方向) と累積基板 (z 方向) はパソコンで制御されたステッピングモータにより移動する。水面上の表面圧力は、トラフ真上に配置した電子天秤からつるされたろ紙によりウィルヘルミー法で測定した。表面圧が一定値になるようにバリアを移動させ、基板を上下することにより LB 膜を形成する。

〈2・2〉 **成膜試料について** LB 膜原料はアラキシン酸 [$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{18}\text{COOH}$] と C 15 TCNQ ($\text{C}_{27}\text{H}_{34}\text{N}_4$; 日本感

光色素研究所製、入手したまま試料として用いる) を使用した。これらの有機分子は日野らによって超低抵抗と報告されているヘテロ LB 膜の構成分子である。また、アラキシン酸は無極性膜で C 15 TCNQ は有極性膜になるといわれているためである。それと同時に、アラキシン酸は容易にかつ再現性良く LB 膜が作製でき、TCNQ は機能性分子の役割が期待できるという理由にもよる。アラキシン酸は直鎖脂肪酸の一種でカルボキシル基に C 19 の炭化水素鎖が結合したものである。C 15 TCNQ は低次元有機電導体の分野でよく知られる TCNQ (tetracyanoquinodimethane) に C 15 の炭化水素鎖が結合したものである。これらの分子は両親媒性であり LB 膜化が可能である。図 2 にアラキシン酸と C 15 TCNQ の化学構造式を示す。

〈2・3〉 **累積基板** ヘテロ LB 膜を作製するには極めて平滑な基板を用いる必要があり、著者らは Si ウェーハを使用した。Si ウェーハは表面に数百 nm 厚の熱酸化 SiO_2 膜のあるものを用いた。電気特性を測定する場合に

図 1 LB 膜作製装置概略図

Fig. 1. Schematic illustration for preparation equipment of LB film

図 2 膜分子の化学構造図

Fig. 2. Chemical structure of molecules.

表 1 LB 膜累積の条件

Table 1. Conditions of LB films deposition.

	Arachidic Acid	C 15 TCNQ
Water Subphase	water containing 4×10^{-4} M CdCl_2 and 5×10^{-5} M KHCO_3	
Temperature	$24^\circ\text{C} \sim 27^\circ\text{C}$	
Spreading solution	5×10^{-3} M in Chloroform	1×10^{-3} M in Chloroform
Surface Pressure	40 mN/m	15 mN/m
Dipping Speed	5 mm/min

図 3 電気特性用素子形状図

Fig. 3. Schematic illustration of sample.

は、下部電極として SiO₂ 表面に Al を真空蒸着した。また比較のためスライドガラス板に Al を真空蒸着したものを使用した。累積する際の条件を表 1 にまとめた。

〈2・4〉電気特性用素子形状 用いた素子形状は 3 種類である。試料 1 は図 3 に示すような形状であり、日野らの行った実験試料の形状とほぼ同じである。Al-アラキシン酸(5 層)-C 15 TCNQ(5 層)-Au 構造を示すが、図のような端子配置で電気抵抗を測定した。試料 2 はアラキシン酸(5 層)-C 15 TCNQ(5 層)の LB 界面の測定をする目的で、図 3 に示すような形状にした。これは LB 膜表面にエキシマレーザで溝を入れ、そこに銀ペーストで端子を付けたものである。試料 3 は LB 膜の垂直方向の電気抵抗を測定する目的で作製したものである。図 3 に示すように上部電極(電極面積: 約 3.14 cm²)と下部電極を設け、それぞれに端子を付けて二端子法で測定した。

3. 実験結果

〈3・1〉作 製

(1) π -A 曲線 LB 膜累積のときの最適な表面圧を知るためにアラキシン酸 Cd と C 15 TCNQ の π -A 曲線を測定した。 π -A 曲線は横軸に 1 分子当たりの占有面積 A 、縦軸に表面圧 π と取る。水面上分子を圧縮するためのバリアの移動速度は 0.1 mm/s である。アラキシン酸 Cd の π -A 曲線の結果を図 4 に示す。1 分子占有面積 A が大きい、つまり水面上分子をまだ圧縮していないときで表面圧 π はほぼ 0 に近い。面積 A が 2.2 nm² 付近で表面圧が上昇し始める。そして 1 分子当たりの占有面積 $A = 2.0$ nm² になると表面圧 π が急激に増加している。水面上のアラキシン酸 Cd 分子はこの表面圧以上においてよく凝縮されていると判断できる。これによりアラキシン酸 Cd は $\pi = 30 \sim 40$ mN/m で累積するのがよいとみられる。C 15 TCNQ の場合は、図に示すように占有面積 $A =$

図 4 LB 膜試料の π -A 曲線
Fig. 4. π -A isotherm for the sample.

2.5~1.7 nm² で π がなだらかに増加している。単分子膜で累積するには固体膜領域であり、分子占有面積もアラキシン酸より広い $\pi = 15$ mN/m がよいと判断できる。

(2) 累積比 水面の単分子膜の基板への移し取りの割合を知るために、アラキシン酸 Cd と C 15 TCNQ の累積比を測定した。累積比は水面上単分子膜の固体基板への移し取りの割合を示す。著者らは累積比を次のように計算した。

$$\text{累積比} = \frac{\text{バリアの移動面積}}{\text{基板上の膜付着面積}}$$

累積比が 1 であれば完全に移し取られていることを、0 であれば移し取られていないことを意味する。0 と 1 の間の値では基板上に部分的に移し取られていることを意味する。累積比の結果からは分子の配向がある程度予想できる。基板の上昇下降ともに累積比が 1 であれば 2 分子が向かい合った Y 型と呼ばれる構造が予想される。基板の上昇時のみ累積比が 1 であればすべての分子が親水基を基板に向けた Z 型と呼ばれる構造が予想される。Y 型と Z 型の模式図を示す。Z 型膜は分子の分極の向きがそろい、

図 5 LB 膜累積タイプの模式図
Fig. 5. Model of deposition type.

図 6 LB 膜試料の累積化
Fig. 6. Deposition ratio for the sample.

膜全体では有極性膜になる。これに対して、Y 型膜は奇数層累積では 1 層分の分極が残るものの 2 分子ごとで分極を打ち消し合い、ある程度の累積膜では膜全体としてほぼ無極性膜といえる。アラキシン酸 Cd の場合は図 6 に示すように、基板の上昇、下降ともに累積比は約 1 を示し、Y 型膜として 1 層ずつ累積されたと判断できる。つまり、アラキシン酸 CdLB 膜はほぼ無極性膜といえる。これは基板の種類によらずほぼ同じ結果である。これに対して、C15 TCNQ は基板表面のぬれ性によって累積状態は大きく変わる。Si 熱酸化膜のような親水性基板では、図 6 に示すように基板の上昇時に累積比 1、下降時は 0 を示し Z 型となった。アラキシン酸 CdLB 膜をあらかじめ累積していた疎水性表面をもつ基板の場合は図 6 に示すように Y 型となった。

3・2> LB 膜の構造評価

(1) LB 膜の静電容量 LB 膜が 1 分子層ずつ積層されているかどうかを知るために、LB 膜の静電容量の層数依存性を調べた。静電容量は

$$C = \epsilon_0 \epsilon_r S / d$$

C: 静電容量, ϵ_0 : 真空の誘電率, ϵ_r : 比誘電率, S: 電極面積, d: 膜厚

で表され、静電容量の逆数と厚さ d は比例関係にある。LB 膜が 1 層ずつ積層されていれば d と 1/C は直線関係になるはずである。

アラキシン酸 CdLB 膜, C15 TCNQLB 膜の静電容量 C の逆数と層数 n の関係を図 7 に示す。その結果、両 LB 膜とも 1/C の値は LB 膜層数とほぼ比例している。また LB 膜層数 0 においても有限の 1/C をもつのは、下部電極上に形成された Al_2O_3 の静電容量によるものである。ちなみに、この値から計算される Al_2O_3 膜の厚さは約 4 nm と推定され、金属 Al 上の酸化 Al 膜の厚みとほぼ一致している。これより、LB 膜が 1 分子層ずつ累積されていることがわかる。また、C の値とアラキシン酸 1 分子長 2.8 nm, C15 TCNQ 1 分子長 2.3 nm を用いて両 LB 膜の比誘電率 ϵ_r を計算した。その結果アラキシン酸は $\epsilon_r = 2.62$, C15 TCNQ は $\epsilon_r = 3.71$ の値が得られた。アラキシン酸の ϵ_r 値は Polymeropoulos による報告値の約 2.5⁽⁶⁾ にほぼ近い値である。長鎖 TCNQ については日野らが、C12 TCNQ で 5.2⁽⁶⁾ という値を報告している。この値は C12 と C15 の分子長の差を考慮しても著者らの値より相当大きい。これに対して、岩本らの C12 TCNQ の 3.7⁽⁷⁾ という値は分子長差を考えて、著者らの値と比較的近い。

(2) X 線回折 累積された LB 膜の構造を知るために X 線回折を行った。図 8 に累積比では Y 型を示したアラキシン酸 CdLB 膜の X 線回折を示す。現れたピークはすべて (00L) 面からの反射である。これにより c 面間隔を計算すると約 5.6 nm となった。得られた LB 膜はアラキシン酸 Cd の 1 分子長が約 2.8 nm であるので、アラキシン酸 2 分子による Y 型膜構造であると判断できる。従って、この LB 膜は無極性膜となる。C15 TCNQLB 膜の場合

図 7 LB 膜のキャパシタンスの層数依存性
Fig. 7. Capacitance of the sample depending on the number of layers.

図 8 アラキシン酸カドミウム LB 膜の X 線回折図

Fig. 8. X-ray diffraction patterns of the Cd-Arachidate.

図 9 C15 TCNQLB 膜の X 線回折図

Fig. 9. X-ray diffraction patterns of the C15 TCNQ.

は、アラキシン酸 Cd に比べ、図 9 に示すように回折強度がかなり小さい。試料は累積比で Y 型膜と判断された LB 膜 (アラキシン酸 Cd 膜上に累積した場合) と Z 型膜と判断された LB 膜 (SiO_2 上に累積した場合) である。どちらの試料もほぼ同様の角度にピークが現れた。これは累積比の結果が異なっても、得られた LB 膜の構造は同一であることを意味している。このピークが (00L) 面からの反射と考えると、c 面間隔がやや誤差があるが約 3.9 nm と計算される。しかし約 2.6 nm の周期も見られ、ア

図 10 試料 1 の電気抵抗の温度依存性
Fig. 10. Temperature dependence of resistance for the sample 1.

ラキン酸 Cd ほどはっきりした結果ではない。この結果は C 15 TCNQ 分子が傾いて積層された構造か、あるいは Y, Z 混在膜であることを示していると考えられる。

〈3・3〉 LB 膜の電気特性

(1) 電気抵抗の温度依存性 試料 1 の Al-アラキシン酸-TCNQ-Au のヘテロ LB 膜の電気抵抗の温度依存性を測定した。日野らによると、上部 Au 膜はなるべく薄い (～数 nm) のが良いとされている。著者らは、Au 膜の厚さを 1.5～30 nm と変えて試料を作製した。図 10 は Au の膜厚が 5 nm と 20 nm の結果を示す。Au=5 nm の試料では温度を下げていっても試料の電気抵抗はほとんど変化がなかった。また、電気抵抗の値からも超低抵抗とはいえない結果であった。Au の膜厚を 20 nm とした試料は温度低下とともに電気抵抗は減少するという金属的挙動を示した。この結果より Au 膜厚がある程度厚いと、試料 1 の形状では Au 膜の電気抵抗を測定する可能性が高い。また Au 膜が薄くても図 10 に示すように Al-LB-Au と Al-Au に特性として差がないことから結局 LB 膜の伝導性を評価しているとはいいがたい。Au 膜の存在による実験結果のあいまいさを取り除く意味もあり試料 2 の測定を行った。しかし、室温から電気抵抗が高すぎて ($M\Omega$ 以上) 測定が困難となった。

(2) スイッチング特性 試料 2 の形状で基板に平行方向に電流-電圧特性を測定し、スイッチング特性を見いだした。図 11 に示すように、試料に電圧を印加していくと、初めはほとんど電流は流れない。しかし、ある電圧しきい値を超えると瞬間的に負性抵抗を示し電流が流れやすい状態に移る。前者の状態を OFF 状態、後者の状態を ON 状態という。ON 状態の抵抗と OFF 状態のそれとでは 3 桁違う。LB 膜面内に電流を流す条件では、電圧しきい値は試料によって異なり、約 100～150 V であった。また LB 膜に垂直方向に測定すると、図 12 に示すように

図 11 試料 2 のスイッチング特性
Fig. 11. Switching characteristics of sample 2.

図 12 試料 3 のスイッチング特性
Fig. 12. Switching characteristics of sample 3.

1～2 V であった。つまり測定方向によって電圧しきい値は 2 桁違った。しかしながら、この電圧値を電界強度値として表すと、基板に平行方向の電界強度しきい値は 10^2 V/cm 台、垂直方向は 10^5 V/cm 台になり、垂直方向の電界強度は 10^3 倍大きいことが明らかとなった。このスイッチング特性は OFF 状態から ON 状態に一度遷移すると、電圧を 0 V 付近まで下げても ON 状態のままであり、再び電圧を上げると ON 状態の電流-電圧特性を示す。また、試料と測定回路間を開放した後の特性は OFF 状態となり、1 度目とほぼ同じ電圧しきい値で再びスイッチングする。同じ試料における同様のスイッチング現象は何度も観測された。また再現性の高い垂直方向の電界強度しきい値は、絶縁破壊電圧とほぼ等しい値である。しかし、数度のスイッチング後も電圧しきい値に変化はほとんどなく、この特性は絶縁破壊とは考えにくい。だが、この点については今後検討が必要である。更に、この現象が LB 膜のどの部分で生じているかを調べるために、アラキシン酸 Cd、アラキシン酸 Cd-C 15 TCNQLB 膜などのスイッチング特性の有無を調べた。その結果、スイッチングはアラキシン酸 Cd、Al を取り除いた C 15 TCNQ 単独膜において観測された。しかし Cd を取り除いた、つまり下層水が超純水で作製した C 15 TCNQLB 膜では観測されなかった。従って TCNQ と Cd により、この現象が起こるものと考えられる。

4. 考 察

〈4・1〉 LB 膜の構造について 累積比、静電容量、XRD の結果より、著者らが作製したアラキシン酸 Cd、C 15

	基板表面	累積比	XRD
アラキシン酸 →	全ての基板	Y	Y
C15TCNQ ←	アラキシン酸 (疎水性)	Y	Y
	Si熱酸化膜 (親水性)	Z	Y

図 13 累積タイプのまとめ

Fig. 13. Deposition type for each experimental conditions.

TCNQLB 膜は単分子膜が 1 層ずつ積層されていると考えられる。しかし、アラキシン酸 Cd と C15 TCNQ では累積のされ方が異なっている。結果を図 13 にまとめた。

同図より、アラキシン酸 Cd は累積比、XRD とともに Y 型となり、基板の上昇下降で分子が向かい合って累積されている。C15 TCNQ の累積比が Z 型のときは基板上昇時に、下地が親水性のときはそのまま付着し、次の基板上昇時に分子の頭部と底部が接するように積まれる。しかし、その後膜内で部分的に分子が 180 度反転するか、または数層分 Z 累積した後の上の層からは分子が反転して付着されるものと考え、Y-Z 混在という X 線回折の結果を説明できる。累積比が Y 型の場合も基本的には Y 型累積を行った後、膜内で部分的な分子の反転が起き、結果的に Y-Z 混在膜になると考えられる。

〈4・2〉 電気特性について Al-アラキシン酸-C15 TCNQ-Au の形状試料は超低抵抗と報告されている試料の形状とほぼ同じである。しかし著者らの試料では、今のところ超低抵抗は実現していない。日野らによると、超低抵抗になる試料形状は無極性膜 (Y 型膜) と有極性膜 (Z 型膜) のヘテロ構造であり、これによってヘテロ界面に井戸型ポテンシャルが形成され、超低抵抗になるといわれている。著者らは、同じ垂直 LB 法で C15 TCNQ の LB 膜を作製したが、完全な Z 型膜 (有極性膜) はできずに Y 型膜 (無極性膜) あるいは Y, Z 混合膜ができている。この違いが、著者らの試料で超低抵抗にはならない理由ではないかと考えられるが、今後更に検討する必要がある。また、試料 1 の形状では、図 10 に見られるように、Au 膜の存在により実際の LB 膜の電気抵抗の測定に不確定性が生じるので、他の形状での超低抵抗膜の実現が必要であろう。

LB 膜の電気的スイッチング現象がアラキシン酸-C15 TCNQLB 膜で観測された。この現象が現れるのは、Cd 溶液中で作製した C15 TCNQLB 膜だけであり、アラキシン酸 LB 膜、純水の下層液で作製した C15 TCNQLB 膜では見られなかった。有機薄膜のスイッチング現象は現在まで幾つか報告がある。また、スイッチングのメカニズムも幾つか提案されている。例えば次のようなものがある。

- (1) 錯体の相変化
- (2) 分子内共役結合の構造変化⁽⁸⁾

(3) 分子配列の変化⁽⁹⁾

錯体の相変化の例としては Potember �らによる報告がある。これは Cu-TCNQ 錯体では、電界によってイオン性高抵抗状態 (OFF 状態) (Cu^+/TCNQ) から低抵抗状態 (ON 状態) である中性 (TCNQ^0) を部分的に含んだ状態 (混合原子価状態) に移ることによりスイッチング現象が現れるものと解釈されている。I-V 曲線の形や二価金属が必要であることなど、共通点が多い。著者らの試料も、Cd と TCNQ によってこのような状態の変化が起きている可能性がある。一方、次のような機構も考えられる。C15 TCNQ 分子が電界により配列変化が生じ、その結果スイッチング現象が生じる可能性である。この場合は LB 膜の膜質が特性に寄与すると考えられる。下層液に Cd を入れることは LB 膜の膜質向上につながり、電気的特性に影響を与える。Cd のない LB 膜はスイッチングが起きないが、これは Cd がいない LB 膜では結晶性が悪いことに起因しているのだろう。スイッチングの機構に関しては今後検討していくつもりである。

5. ま と め

著者らは、アラキシン酸-C15 TCNQ ヘテロ LB 膜を作製し、低い電気抵抗の実現を目指した。累積比、静電容量の結果よりヘテロ膜を構成する両 LB 膜は 1 分子層ずつ規則的に積層されることが明らかとなった。しかし、C15 TCNQLB 膜は完全な Z 型膜とはならなかった。これが原因の一つなのか、ヘテロ膜の電気抵抗は今のところ絶縁体的である。その理由の一つとして C15 TCNQ の膜質が考えられ、より完全な Z 型膜を作製する必要がある。現在、著者らは有極性膜のできる条件を追求中である。

次に、この実験の途上で LB 膜の電気的スイッチング特性を見いだした。この特性の原因は TCNQ と Cd の錯体形成とその相変化の可能性が考えられる。今後は、このスイッチング機構を更に明らかにしていくことが必要である。

本研究の LB 膜作製に関しては山形大学工学部高分子材料工学科大学院生 鈴木厚志氏の助言により行われたものであり、ここで謹んで感謝の意を表します。なお、本研究の一部は文部省科学研究費 (一般研究 C) の助成により行われた。

(平成 5 年 7 月 19 日受付, 同 5 年 9 月 29 日再受付)

文 献

- (1) W. A. Little: *Phys. Rev. A*, **134**, 1416 (1964)
- (2) T. Hino: *Jpn. J. Appl. Phys.*, **29**, 486 (1990)
- (3) H. ZHOU: *ibid.*, **31**, 1463 (1992)
- (4) R. S. Potember, et al.: *Appl. Phys. Lett.*, **34**, 405 (1979)
- (5) E. E. Polymeropoulos: *J. Appl. Phys.*, **48**, 2404 (1977)
- (6) 日野・権・串田: 「LB ヘテロ膜におけるポテンシャル井戸の発生」, 電学論 A, **110**, 630 (平 2-9)
- (7) M. Iwamoto, et al.: *Jpn. J. Appl. Phys.*, **27**, 1224 (1988)
- (8) K. Sakai, et al.: *Appl. Phys. Lett.*, **53**, 1274 (1988)
- (9) Y. Machida, et al.: *Jpn. J. Appl. Phys.*, **28**, 297 (1989)

西 田 直 樹 (非会員) 1969 年 3 月 9 日生。1992 年山形大学工学部電気工学科卒業。現在、同大学大学院工学研究科修士課程 (電子工学専攻) 在学中。専門は LB 膜の作製とその電気特性に関する研究。応用物理学会会員。

中 島 健 介 (非会員) 1979 年日本大学理工学部電気工学科卒業。長岡技術科学大学教務職員、助手を経て、1991 年東北大学・電気通信研究所助手、現在、同助教授。工学博士。高温超電導材料および機能性有機薄膜の研究に従事。

大 嶋 重 利 (正員) 1949 年 6 月 13 日生。1978 年東北大学大学院工学研究科博士課程修了。同大学助手、講師、助教授を経て、現在、山形大学教授。主として、超電導物性、超電導エレクトロニクス、薄膜物性工学の研究に従事。工学博士。低温工学協会、応用物理学会、電子情報通信学会、金属学会、応用磁気学会会員。

山 下 努 (正員) 1969 年東北大学大学院博士課程修了。同大学電気通信研究所助手、助教授、長岡技術科学大学教授を経て、現在、東北大学・電気通信研究所教授。工学博士。超電導材料およびジョセフソンデバイスの研究に従事。

奥 山 克 郎 (非会員) 1938 年 3 月 26 日生。1963 年東北大学工学部電子工学科卒業。同年 4 月松下電器(株)入社。1965 年 4 月より山形大学工学部電子工学科に勤務。現在、同工学部教授。工学博士。主として、半導体デバイス、有機薄膜、超電導体薄膜などの電子材料の研究に従事。応用物理学会、日本表面科学学会会員。