LB ヘテロ膜 MIM 構造の発生電圧と キャリアの拡散

正 員 日 野 太 郎 (神奈川大)

正 員 竹 内 茂 (神奈川大)

非会員 大 石 晃 (神奈川大)

Generated Voltage in MIM Structures of LB Heterofilm and Diffusion of Carriers

Taro Hino, Member, Shigeru Takeuchi, Member, Akira Ooishi, Non-member (Kanagawa University)

The MIM samples of heterofilm composed of arachidic acid LB film (C_{20} , nonpolar) and 2-pentadecyle-7, 7', 8, 8'-tetracyanoquinodimethane LB film (C_{15} ·TCNQ, polar)

$Al / C_{20}(6L) / C_{15}TCNQ(2L) / C_{20}(6L) / Al$

are prepared, and the voltage generated in the MIM samples is analyzed. Here, (6L) and (2L) indicate LB films of six and two monolayers. It is shown that the generation of voltage is due to diffusion of carriers in LB heterofilm as same in polyimide LB film of MIM structures. Furthermore, generated voltage depends on polarization of C_{15} ·TCNQ LB film, while the voltage generated in polyimide LB film in the MIM structures depends on the difference of work functions between Al and Au. The calculated values of generated voltage in LB heterofilms roughly coincide with the values of measurements.

キーワード：アラキジン酸 LB 膜, C_{15} ·TCNQ LB 膜, LB ヘテロ膜, 分極, 拡散

1. ま え が き

前の報告^{(1)~(3)}では、ポリイミド LB 膜を Al と Au の異種金属でサンドイッチした MIM 構造の素子に電圧が発生すること、およびこの電圧発生の原因が Al と Au の仕事関数の差と LB 膜内での電子性キャリアの拡散によるとのことを示した。更にその後の報告⁽⁴⁾⁽⁵⁾では、拡散定数を求めこれを用いて発生電圧やその温度特性を説明した。

上の素子ではポリイミド LB 膜はその構造上から無極性と考えられ、この LB 膜を同種類の金属 Al でサンドイッチした場合の素子には電圧が発生しない⁽⁶⁾。しかし有極性の LB 膜を同種類の金属でサンドイッチした MIM 素子には電圧が発生する⁽⁶⁾。電圧発生の一原因は一方では仕事関数差であり、他方では LB 膜の有極性にあると考えられ、これらは互いに異なっているが、電圧の発生にはいずれもキャリアの拡散が関与しているものと考えられる。本論文では、無極性 LB 膜と有極性 LB 膜とを重ねた LB ヘテロ膜の MIM 構造試料について電圧発生と LB ヘテロ膜中のキャリアの拡散を示す。しかし、LB ヘテロ膜の MIM にはポテンシャル井戸などの発生が考えられるため⁽¹⁰⁾、解析はポリイミド LB 膜の MIM の場合より複雑になると思われる。

2. 実験方法

〈2・1〉 試 料 無極性と考えられるアラキジン酸 LB 膜 (C_{20}) で C_{15} ·TCNQ の LB 膜 (TCNQ) を挟んだ形の LB ヘテロ膜を Al でサンドイッチした。

$Al / C_{20}(6L) / TCNQ(2L) / C_{20}(6L) / Al$

の構造の MIM 素子を試料とした。ここで (6L), (2L) は単分子膜 6 層, 2 層を意味する。LB 膜を構成する分子は非対称であるから双極子モーメントをもっているので、単分子膜は本来誘電分極を生じていて有極性である。アラキジン酸 LB 膜は Y 形であって相隣る単分子膜の中の分子が互いに反対方向を向いているので、単分子膜偶数層からなる LB 膜では分極が打消されて零となり無極性になる。TCNQ の LB 膜は Z 形であって単分子膜の中の分子が各層とも同じ方向を向いているので膜は分極していて有極性である。

図 1 に試料の構造を示した。顕微鏡スライドガラスを基板とし、その上に 5,000 Å ほどの厚さの Al 膜を蒸着してこれを下部電極とした。更にその上に LB ヘテロ膜を累積し最後に同じ程度の厚さの Al を蒸着して上部電極を形成した。LB ヘテロ膜は通常の LB 膜作製法⁽⁷⁾で累積された。また、下部 Al 電極の表面には 30 Å ほどの厚さの Al

図 1 試料の概略図

Fig. 1. Schematic diagram of the sample.

図 2 測定回路

Fig. 2. Circuit of measurements.

の自然酸化膜 Al_2O_3 が生じていて、LB ヘテロ膜に更にこれが重なって MIM の絶縁層を形成している。

〈2・2〉 測定方法 測定回路を図 2 に示す。測定は室温 ($22\sim 24^\circ\text{C}$) で行われた。 R は抵抗で、 10^8 , 10^9 , 10^{10} および $10^{11} \Omega$ などが使用された。 M は電子電圧計で内部抵抗が $5 \times 10^{14} \Omega$ 以上と大きく、実験結果の処理ではこの抵抗を無限大とみなし、回路に抵抗を挿入しない場合を $R = \infty$ として示した。また、 S は短絡スイッチである。

発生電圧の測定にあたっては、スイッチ S を閉じておいて $p-p'$ で試料を回路に接続し、スイッチ S を開くと同時に測定を開始した。試料の接続から S を開くまでの時間、つまり試料を短絡している時間は数秒間である。

3. 試料の定数と実験結果

〈3・1〉 LB 膜の厚さ アラキジン酸 LB 膜と TCNQ の LB 膜の単分子膜の厚さは各々 $28 \text{ \AA}$ である⁽¹⁾⁽⁸⁾。従って各 LB 膜の厚さは以下のようになり、更に Al_2O_3 膜の厚さを $30 \text{ \AA}$ とした⁽⁹⁾。

$$\left. \begin{array}{l} \text{アラキジン酸 LB 膜 (6L) の厚さ (d}_1\text{): } 28 \times 6 = 168 \text{ \AA} \\ \text{TCNQ の LB 膜 (2L) の厚さ (d}_2\text{): } 25 \times 2 = 50 \text{ \AA} \\ \text{Al}_2\text{O}_3 \text{ 膜の厚さ (d}_3\text{): } 30 \text{ \AA} \end{array} \right\} \dots\dots\dots (1)$$

よって、これらの和である絶縁膜の厚さ d は

$$d = 2d_1 + d_2 + d_3 = 416 \text{ \AA} \dots\dots\dots (2)$$

〈3・2〉 誘電率 アラキジン酸 LB 膜と TCNQ の LB 膜の比誘電率は $\epsilon_{r1} = 3.0$ と $\epsilon_{r2} = 4.5$ である⁽⁸⁾。従って、それらの誘電率 ϵ_1 , ϵ_2 は次のような値である。

$$\left. \begin{array}{l} \epsilon_1 = 2.66 \times 10^{-13} \text{ F/cm} \\ \epsilon_2 = 3.98 \times 10^{-13} \text{ F/cm} \end{array} \right\} \dots\dots\dots (3)$$

また Al_2O_3 の比誘電率を通常使用されている値である 8.0 を用いると、その誘電率 ϵ_3 は

$$\epsilon_3 = 7.08 \times 10^{-13} \text{ F/cm} \dots\dots\dots (4)$$

となる。よって、ヘテロ LB 膜 $\text{C}_{20}(6\text{L}) / \text{TCNQ}(2\text{L}) / \text{C}_{20}(6\text{L})$ 合成誘電率 ϵ は

$$\begin{aligned} \epsilon &= (2d_1 + d_2) [1 / \{(2d_1 / \epsilon_1) + (d_2 / \epsilon_2)\}] \\ &= 2.79 \times 10^{-13} \text{ F/cm} \dots\dots\dots (5) \end{aligned}$$

Al_2O_3 膜も合せた絶縁膜の合成誘電率 ϵ' は

$$\begin{aligned} \epsilon' &= d [1 / \{(2d_1 + d_2 / \epsilon) + (d_3 / \epsilon_3)\}] \\ &= 2.87 \times 10^{-13} \text{ F/cm} \dots\dots\dots (6) \end{aligned}$$

〈3・3〉 試料の静電容量 上に示した膜厚と誘電率を用いて試料の静電容量 C を計算すると下のような値が得られる。

$$C = 6.90 \times 10^{-8} \text{ F/cm} \dots\dots\dots (7)$$

上式の C の値は、試料の面積 0.2 cm^2 に対して、単位面積の値に換算してある。

LB ヘテロ膜 MIM の場合は、後に掲げる図 8 に被線で示すように深いポテンシャル井戸が発生し⁽¹⁰⁾、LB 膜の絶縁層の厚さや試料の静電容量も上の諸式に与えた値にならないと考えられる。静電容量の値は測定によって定められるが、絶縁層の厚さを決めることは困難である。従って、ここでの計算には (1)～(7) 式に与えた絶縁膜の厚さ、誘電率および静電容量の値を用いてポリイミド LB 膜 MIM 試料について行った解析^{(3)～(5)}と同様な計算をする。

〈3・4〉 発生電圧の時間特性 図 3 に $R = \infty$ にしたときの発生電圧の経時変化を示す。3～4 時間の後にほぼ一定の電圧 V_m

$$V_m \approx 480 \text{ mV} \dots\dots\dots (8)$$

になっている。ポリイミド LB 膜の MIM でも数時間後にほぼ一定の発生電圧を示したが^{(1)～(3)}、その値は $100\sim 200 \text{ mV}$ であって、本実験の LB ヘテロ膜試料の場合は上の値より相当に大きい。以前の著者らの報告⁽⁹⁾によれば、

$$\text{Al} / \text{TCNQ}(n\text{L}) / \text{C}_{20}(n\text{L}) / \text{Al}$$

の構造で、LB 膜の単分子層数 n の増加とともに発生電圧が大きくなり、 $n = 1\sim 4$ で $140\sim 400 \text{ mV}$ の電圧が得られている。

〈3・5〉 短絡によって電極に誘起される電荷 発生電圧が (8) 式の V_m になったとき、両 Al 電極を短絡することによって上部 Al 電極に誘起される電子の電荷 q_0 は次のようである。(7) 式と (8) 式の C と V_m の値を用いて $q_0 = CV_m = 3.31 \times 10^{-8} \text{ C/cm}^2 \dots\dots\dots (9)$

〈3・6〉 LB 膜内のキャリアの移動 初めに図 2 の測定回路のスイッチ S を開いて $R = \infty$ で発生電圧を測定

図 3 発生電圧の時間依存性
Fig. 3. Time dependence of generated voltage.

図 4 発生電圧の繰返し時間特性
Fig. 4. Time dependence of generated voltage measured repeatedly.

し、図 4 の p 点で示す値になった時 S を閉じて $R=10^9 \Omega$ を入れると電圧は減少していくが、 q 点で示す時点で再び S を開くと電圧は図示するように上昇を始める。そして、再度電圧が回復してほぼ p 点の電圧に等しい p' 点に達したとき、 S を閉じて抵抗 R を挿入すると電圧は降下して行くが、 q' 点にいたって再び S を開くと前と同様に電圧が上昇していく。このようなサイクルを 3 回繰返した結果を 1st, 2nd, 3rd-run として図示した。

1st-run において p 点までは上部 Al 電極の電圧が上昇しているが、外部に電流が流れていない ($R=\infty$) ので、正電荷が LB 膜を通して下部 Al 電極 → 上部 Al 電極の移動をしているか、負電荷が上部 Al 電極 → 下部 Al 電極の動きをしていることになる。

まず負電荷を考える。 $p \sim q$ 間では外部に抵抗 R を挿入したので、負電荷は R を通して下部 Al 電極から上部 Al 電極に向かうと考えられる⁽³⁾。つまり $p \sim q$ 間の電圧の減少は試料の放電によって負電荷が下部 Al 電極 → R → 上部 Al 電極のように流れるためと考えられる。

正電荷を考えた場合も電荷の移動方向が逆になるが現象は同じであると考えられる。

上に述べたように、図 4 で示した 3 回の繰返し測定の間中電荷は同じ方向に移動し、上部 Al → LB 膜 → 下部 Al → R → 上部 Al または上部 Al → R → 下部 Al → LB 膜 → 上部 Al のように循環しているものと考えられる。従

図 5 $\log(\text{発生電圧}) \sim \log(\text{時間})$ 特性
Fig. 5. Characteristics between $\log(\text{generated voltage})$ and $\log(\text{time})$.

って電荷は電子性キャリアである。ここで重要なことはキャリアの正負がいずれであっても試料の LB 膜中でキャリアが電界に逆らって移動していることである。つまり、電界から受ける力でキャリアが移動しているのではないかということである。以下キャリアを電子として考えるが、正孔であっても同様な記述が可能である。以上のことはポリイミド LB 膜の MIM でも全く同様であった⁽³⁾⁻⁽⁵⁾。

〈3・7〉 電子の拡散定数 $R=\infty$ で発生電圧を測定して図 3 に示すようにほぼ一定の電圧になった後、短絡スイッチ S を数秒間閉じてから約 100 秒間発生電圧を測定し、発生電圧の時間特性を両対数にプロットしたものが図 5 である。ここに示された二つの結果は別々の日に繰返して得られた測定結果であるが、これらはいずれも直線性を示していてその傾斜はほぼ $(1/2)$ であり、更に大きさもだいたい一致しているので再現性も良いと考えられる。また、この試料の測定中は温度がほとんど変化せず、試料はほぼ熱平衡状態にあると考えられる。前報⁽³⁾の結果によれば、上部 Al 電極にある電荷 q_0 の電子が LB 膜内を拡散して下部 Al 電極に向かって移動するとき、上部 Al 電極の電位 V が次式のように発生することが示された。

$$V = -(2q_0 D^{1/2} / \pi^{1/2} \epsilon) t^{1/2} \quad \dots\dots\dots (10)$$

ここで、 D : 拡散定数

上式より D は

$$D = \{\pi \epsilon^2 V^2 / 4(q_0)^2 t\} \quad \dots\dots\dots (11)$$

(5), (9) 式で示された試料の ϵ , q_0 の値を入れ、図 5 の直線上の 1 点における t と V の任意の一組の値、例えば m 点の

$$t = 10 \text{ s と } V = 20 \text{ mV} \quad \dots\dots\dots (12)$$

の値を用いると、拡散定数として次の値が得られる。

$$D = 2.28 \times 10^{-15} \text{ cm}^2/\text{s} \quad \dots\dots\dots (13)$$

ここで、合成誘電率として (5) 式の Al_2O_3 膜を含まないものを用いたのは、拡散定数を求める図 5 のデータは拡散初期のものであって、拡散電子が Al_2O_3 膜に達していないと考えられるからである。LB 膜内には電子トラップが

図 6 LB ヘテロ膜内の電荷分布
Fig. 6. Charge distribution in LB heterofilm.

あるので、拡散定数が小さくなると考えられる。

〈3・8〉 拡散電流 図 6 のように上部 Al 電極面に原点を置いて LB 膜に直角に x 軸をとって下部 Al 電極面を $x=d$ とする。また両電極間の LB 膜内の電子濃度を $p(x, t)$ とすると拡散電流 I_D は

$$I_D = D(dp/dx) \quad [\text{A/cm}^2] \quad (14)$$

ここで、 I_D は単位面積当たりの値である。前報⁽⁴⁾で述べたように、図 3 のような一定電圧の発生している状態では、 I_D はどこでも一定で、図に破線で示すように

$$(dp/dx) = \text{constant} = a \quad (a > 0) \quad (15)$$

また前報⁽¹⁴⁾に述べられたように、このような定常状態では電荷は大部分 LB 膜内にあって、電極にはほとんどないと考えられる。従って、

$$x=d \text{ において } p=0 \quad (16)$$

上式の境界条件を用いて (15) 式を解くと次の関係が得られる。

$$p = -a(d-x) \quad (17)$$

V_m なる発生電圧は p による電圧で打ち消されているから、

$$-V_m = -\int_0^d \{a(d-x)(d-x)/\epsilon'\} dx = -ad^3/3\epsilon' \quad (18)$$

よって、

$$a = (3\epsilon'/d^3) V_m \quad (19)$$

ただし、この場合は電荷が Al_2O_3 膜にも達しているの、(6) 式の ϵ' を用いた。既に示した

$$d = 416 \text{ \AA} \quad (2)$$

$$\epsilon' = 2.87 \times 10^{-13} \text{ F/cm} \quad (6)$$

$$V_m = 480 \text{ mV} \quad (8)$$

の値を (19) 式に入れると

$$a = 5.74 \times 10^3 \quad (20)$$

が得られる。ここで、(13)~(15) 式および (20) 式を用いると拡散電流 I_D が下のように定められる。

$$I_D = D(dp/dx) = D_a = 12.8 \times 10^{-12} \text{ A/cm}^2 \quad (21)$$

この拡散電流が V_m によって発生している逆方向の伝導電流とつり合って外部電流が零になっていると考えられる。

図 7 外部回路に低抵抗を挿入したときの電流の時間特性

Fig. 7. Time dependence of current through the lower resistance in the outer circuit of the sample.

〈3・9〉 拡散電流についての計算値と測定値の比較

前節に述べたように、 $R = \infty$ で発生電圧 V_m が得られたときは、(21) 式に示す拡散電流 I_D は V_m による逆方向に流れる伝導電流 I_c (ポリイミド MIM の場合はこの電流はトンネル電流であった⁽⁵⁾) とつり合って外部に流れる電流 I_s が零になっていると考えられる。すなわち、

$$\begin{aligned} I_D - I_c = I_s = 0 \\ \therefore I_D = I_c \end{aligned} \quad (22)$$

しかし、外部回路に抵抗を挿入してここに電流を流すと $I_s \neq 0$ となり

$$I_s = I_D - I_c \quad (23)$$

となる。しかし、この場合抵抗が小さいため発生電圧 V_s (抵抗にかかる電圧) が V_m に比べて小さいならば、 $I_D \gg I_c$ となり

$$I_s \doteq I_D \quad (24)$$

上式のように近似されて拡散電流 I_D を測定することができる。

図 7 は抵抗 $R = 10^9 \Omega$ を外部に挿入した場合の抵抗 R を流れる電流 I_s の時間特性である。数時間の後にはまだ多少減少を続けているがほぼ一定の電流 $I_s = 3.3 \times 10^{-13} \text{ A}$ となり、抵抗 R にかかる発生電圧 V_s は

$$V_s = 0.33 \text{ mV} \quad (25)$$

になっている。そして、この V_s の値は $V_m = 480 \text{ mV}$ より極めて小さい。よって、(24) 式の近似が成立し

$$I_D \doteq I_s = 5I_s' = 5V_s/R = 1.65 \times 10^{-12} \text{ A/cm}^2 \quad (26)$$

ただし、上式で $I_s = 5I_s'$ としたのは 0.2 cm^2 の面積の試料の電流値 I_s' を単位面積の値 I_s に換算したものである。一方、(21) 式の計算値は $12.8 \times 10^{-12} \text{ A/cm}^2$ であり、計算値は測定値の約 7.7 倍の値である。前にも述べたように、LB ヘテロ膜の MIM ではポテンシャル井戸が発生し、静電容量も絶縁層の厚さも累積 LB 膜の単分子膜の値から計算したものと異なってくると考えられるが、この差異を計算に入れなかったことが上述の計算値と測定値の差の一因でもあると思われる。

4. 検 討

〈4・1〉 拡散の機構 TCNQ の LB 膜は分極をしているので、試料 MIM の両 Al 電極を同電位 (短絡) にすると、図 8 のようなエネルギーバンド図になる。ここで $\pm p$ は TCNQ の LB 膜の分極電荷であり、この電荷によって、両 Al 電極には図示するような $\pm Q$ の電荷が誘起される。従って、両電極を開放すれば上部 Al 電極の電子電荷 $-Q$ が LB 膜内を拡散して下部 Al 電極のほうへ移動し、上部電極の電位は上昇する。

TCNQ の累積は微妙で、累積するときの温度、水槽の水の pH あるいは展開液であるクロロホルム中の TCNQ の濃度などの累積条件に影響されて、逆向に累積される場合もあるといわれる。図 8 の TCNQ の LB 膜の分極電荷 $\pm p$ は膜の累積の正逆によって正負の符号が変わり、それによって電極に誘起される電荷 $\pm Q$ の正負も変わる。このようになれば、電子は下部電極から上部電極に向かって拡散し、上部電極の電位は低下することになる。本研究に用いたものと同じ形の LB 膜からなるヘテロ膜 MIM 素子には正負両方の発生電圧がみられた。

TCNQ 分子の双極子モーメントの大きさは約 13 デバイであり⁽⁹⁾、この分子が LB 膜内で一方向に規則正しく整理していれば $\pm p$ は相当に大きくなる。簡単な電磁気学の計算によってわかるように、ポテンシャル井戸の深さ H は両側の Al のフェルミ準位よりはるかに深くないと考えられる⁽¹⁰⁾。

しかし、TCNQ の LB 膜はそれほど整然とは累積されてないであろうから、分極 $\pm p$ もある程度小さくなっているものと考えられる。このような分極の乱れも TCNQ の LB 膜の分極に正負が現れる原因と思われる。

〈4・2〉 発生電圧の大きさ 前報⁽¹⁾⁻⁽⁵⁾で述べたポリイミドの発生電圧は Al と Au の仕事関数の差に依存していて、電圧はこの差の電圧より大きくならないと考えられる。実際に温度が高くなれば拡散定数が大きくなり、発生電圧も増大するが、実験結果によれば、200°C 程度で Al と Au の仕事関数の差に当たる 1 V に近い 0.8 V くらいで飽和する発生電圧の温度特性⁽⁶⁾が測定されている。

図 8 試料のエネルギーバンド図
Fig. 8. Energy band diagram of the sample.

一方、本試料の場合は、もし電極を開放して電荷の誘起がなく伝導電流も流れなければ、分極電荷 $\pm p$ による TCNQ の LB 膜の両面に生じる電位差が発生電圧の限界になると考えられる。この限界電位差を概略計算すると以下ようになる。TCNQ の分子の定数は下のようである⁽⁸⁾⁽⁹⁾。

$$\left. \begin{array}{ll} \text{分子の長さ:} & 25 \text{ \AA} \\ \text{分子の占有面積:} & 40 \text{ \AA}^2 \\ \text{分子の双極子モーメント:} & 13 \text{ debye} \end{array} \right\} \dots\dots\dots (27)$$

これに (3) 式の ϵ_2 の値を使用すると単分子膜に生じる電位差 V'_0 は次のように計算される。分極電荷 p を単位面積当たりの値として

$$V'_0 = (p / \epsilon_2) d_2 = 2.7 \text{ V} \dots\dots\dots (28)$$

この V'_0 の電圧は 1 単分子層の値であり、本試料の TCNQ の LB 膜は 2 単分子膜であるから、その限界発生電圧 V_0 は

$$V_0 = (2.7) \times (2) = 5.4 \text{ V} \dots\dots\dots (29)$$

一般に n 層の TCNQ の LB 膜の場合は

$$V_0 = (2.7) \times (n) \text{ [V]} \dots\dots\dots (30)$$

実際には拡散電流と逆方向の伝導電流のために、発生電圧は上記の値より相当に小さくなるものと思われる。前に述べたように、ポリイミド LB 膜の MIM の場合は 200°C の高温では限界電圧に近い 0.8 V 程度の電圧を発生したが、常温では 0.1~0.2 V であった。本ヘテロ膜 MIM 試料では更に TCNQ の LB 膜累積の不規則性もあって、発生電圧はいつそう減少するものと考えられる。

5. む す び

本研究では無極性のアラキジン酸 LB 膜と有極性の TCNQ の LB 膜を重ねた LB ヘテロ膜の MIM 試料に発生する電圧を検討した。以前に発表したポリイミド LB 膜の MIM の発生電圧が電極である Al と Au 仕事関数の差にその一因があったのに対し、本試料では両方の電極に同種類の金属である Al を用いていて、TCNQ の LB 膜の分極が原因の一つとなっていると考えられる。そして、双方の試料とも電子性キャリアの LB 膜内への拡散が要因になっていると考えられる。

(平成 6 年 2 月 28 日受付, 同 6 年 5 月 25 日再受付)

文 献

- (1) 日野・鞠・竹内: 「LB 絶縁超薄膜を用いた MIM 構造の起電力発生」, 電学論 A, 114, 381 (平 6-5)
- (2) 日野: 「LB 膜 MIM 素子に発生する熱平衡電圧」, 同上 A, 114, 387 (平 6-5)
- (3) 日野: 「ポリイミド LB 膜 MIM 素子における LB 膜中へのキャリアの拡散」, 同上 A, 114, 392 (平 6-5)
- (4) 日野: 「拡散電流によりポリイミド LB 膜 MIM 構造の発生電圧解析」, 同上 投稿中
- (5) 日野: 「ポリイミド LB 膜 MIM の発生電圧の温度特性」, 同上 投稿中
- (6) 日野・串田・権: 「超薄膜 MIM 素子の発生電圧」, 同上 A, 109, 287 (昭 63-7)

-
- (7) 鈴木, 他: 「4Å厚ポリイミドLB超薄膜の作製とその累積膜の特性」, 同上A, 106, 435 (昭61-9)
- (8) 日野・権: 「LBヘテロ構造膜における内蔵電界の発生」, 同上A, 108, 66 (昭63-2)
- (9) 日野・権・姜: 「熱刺激によるLB膜の分極測定」, 同上A, 107, 407 (昭62-9)
- (10) T. Hino: "Potential Well Generated in Langmuir-Blodgett Heterohilm Consisting of Polar and Nonpolar Layers", *Japan. J. Appl. Phys.*, 30, L1048 (1991)

竹内 茂 (正員) 1955年5月9日生。1978年3月神奈川大学第二工学部電気工学科卒業。1977年6月同大学同学科教務技術職員として勤務, 現在に至る。

日野 太郎 (正員) 1927年5月31日生。1953年3月東北大学工学部電気工学科卒業。1960年3月東京工業大学大学院電気工学専攻博士課程修了。同大学工学部助手, 同助教授, 同教授を経て, 現在, 同大学名誉教授。神奈川大学工学部電気工学科教授。工学博士。誘電体, 電気絶縁体の研究に従事。応用物理学会, IEEE 会員。

大石 晃 (非会員) 1971年1月22日生。1994年3月神奈川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在学中。