



LB膜による電子素子の実現

— 岩本研究室～電子物理工学科 —



岩本 光正 助教授

本学の電子物理工学科では、半導体・磁性体・超伝導デバイスなど無機材料を扱う研究が多い。しかし、このたびうかがった岩本研究室では、有機材料、とりわけラングミュア・ブロッジェット膜という有機単分子膜を用い、無機材料と同様またはそれ以上の機能を持った電子素子を実現するために研究が行われている。これは、有機物自体をあまり扱わない電気系としては異色であるが、たいへん興味深い研究である。

今回は、電子物理工学科助教授の岩本光正先生に有機単分子膜を用いた電子素子の研究や、先生の研究に向かわれる姿勢などについてお話をうかがった。



分子レベルの電子素子を実現する

電気系の研究において用いられる材料といえば、そのほとんどが無機材料であった。なぜなら、多くの電子素子が無機材料で作られていたからである。現在、化学・材料・生物などの分野では有機材料による電子素子の研究が行われているが、それらはあくまで電気系でない人々による研究である。そのような状況のなか、岩本研究室では電気系の立場から有機デバイスの研究をしている。

では、どうして有機材料に注目されたのだろうか。その理由には半導体素子の技術の飽和があるという。現在主流を占めている半導体素子は、素子の同じ面積上にたくさんの部品を配すること、つまり、集積度を高めることで発展してきた。この微細加工とよばれる技術は、半導体素子の発展とともに進んできたが、現在以上の機能を求めるとなると限界がみえてくる。

そこで先生が注目したのが有機物とその単分子膜であるラングミュア・ブロッジェット膜（LB膜）のもつ性質だった。LB膜は界面化学の分野では比較的早くから研究されてきたもので、近年では

電気分野でも様々な利用が提案されている。

LB膜はLB法という方法で作られ、有機分子の希薄溶液を墨流しの要領で水面上に広げ、それを基盤上にうつしとったものをいう。特徴として、単分子膜であり厚さが数～数十Åとたいへん薄い、水面上に広げて作るので膜が平面になるなどといったことがあげられる。これらの性質をうまく利用することで、分子ひとつひとつを素子の構成単位としてはたらきを持たせることができないかというのだ。



分子の大きさというのは、周知の通り非常に小さい。これを素子の構成単位として利用できれば半導体を利用した素子よりさらに集積度の高い素子を作り出すことができる。すなわち分子レベルでの電子素子の実現できるのである。

岩本研ではLB膜のなかでも、ポリイミドという物質を使い研究を行っている(図1)。ポリイミドは、その絶縁性と耐熱性から電気電子材料として高い評価を得ており、様々な方面で利用されている絶縁材料である。

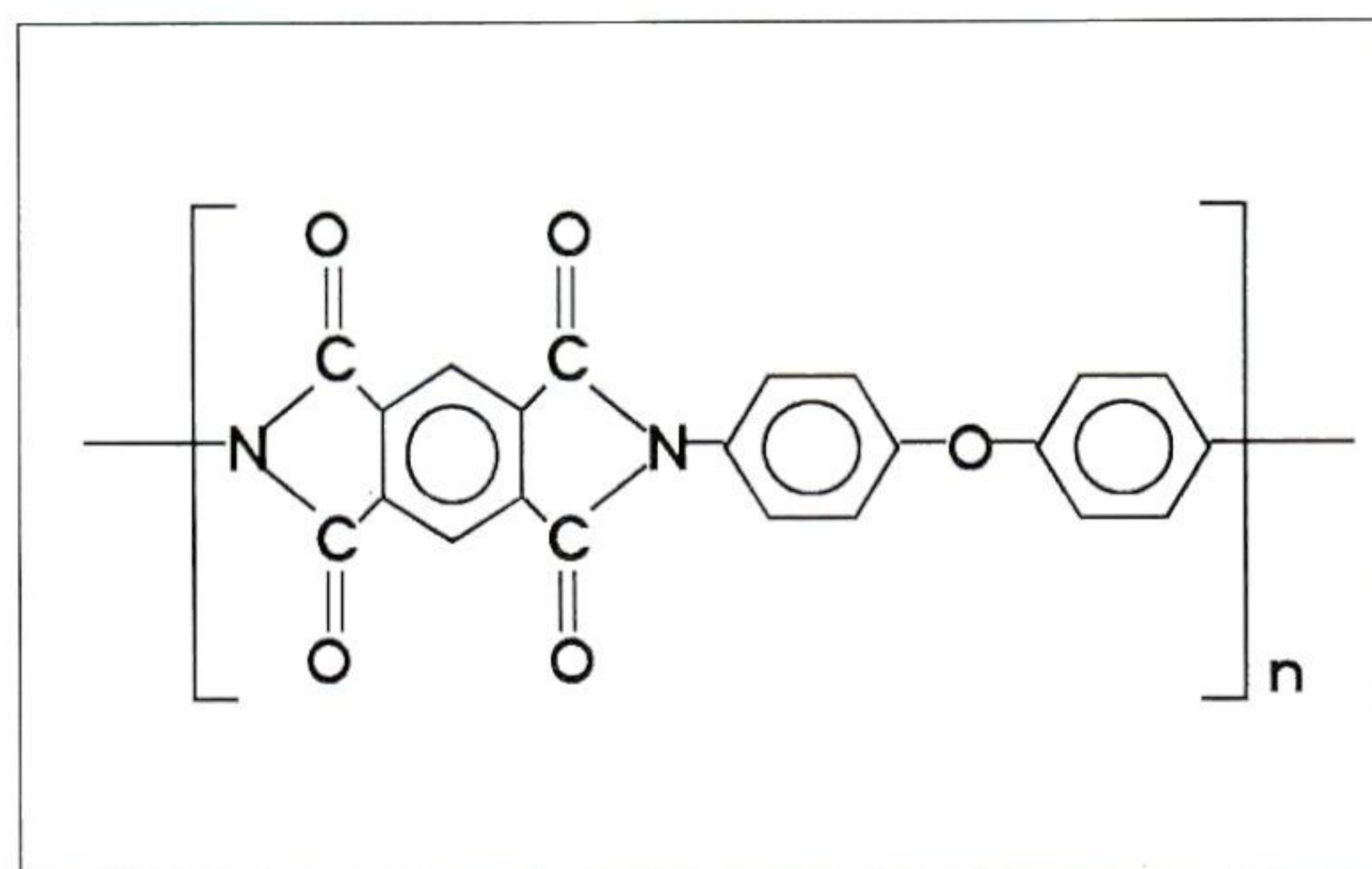


図1 ポリイミドの構造式

有機単分子膜の性質を素子に利用する

さて、半導体はその名の通り、導体ほどではないが電気伝導性を示す。しかし有機物はふつう絶縁体であるので、ほとんど電気伝導性を示さない。よって有機物は半導体のように電氣的な信号を送ることはできず、電気回路の一部として扱うことが難しい。そこで単分子膜としての有機物の性質を利用し、半導体素子と同じような電氣的な信号を送るような機構を作る必要がある。

有機単分子膜上の分子に外部から熱・光・電界などの刺激が与えられると、膜内の分子が構造や状態の変化をおこす。分子が構造や状態の変化を

おこすと、それにもなう電荷の移動などにより、変化しているときにだけ電流がおこる。このような電流は変位電流といって、電界が時間的に変化するとき生じるものである。この場合では、構造や状態の変化といった分子の動的挙動の過程で、電束の時間変化がおこり変位電流が流れるのである。この変位電流は導体内などで定常的に流れる伝導電流に比べて微弱ではあるが、光や電気などといった入力に対し、電氣的な出力が得られるという点で注目される。こうしてふつうは電気を通さない有機物を電子素子として利用していく。

変位電流を利用したメモリ素子の研究

岩本先生はこの有機単分子膜中を流れる変位電流を利用した電子素子の一つとしてメモリ素子进行研究されている。この素子は分子レベルでメモリを実現するため分子メモリとよばれている。この分子メモリの場合、単分子膜に光をあてることで変位電流を発生させ、記録の機能を持たせようとしている。

メモリは、ふつう0と1の2つの信号で記録をする。よって、分子メモリとして実現するためには、膜中の分子が異なる2つの状態を持ち、それを電氣的に出力できること、さらにその状態を何らかの入力があるまで保持し続けることが必要である。つまり、光が分子にあたる前後で分子が異なる状態を電氣的に示し、保持できるかどうかの問題となる。

アゾベンゼン誘導体を含む分子にある波長の光を照射すると、分子がシス-トランスの構造を変化

させることが知られている(図2)。この構造変化により分子内の電子が動的な変化をおこすので、この部分の電束が微視的に時間変化し変位電流が流れる。よって光を入力することで電氣的な出力を得られるようになり、電気回路の一部として扱うことができる。

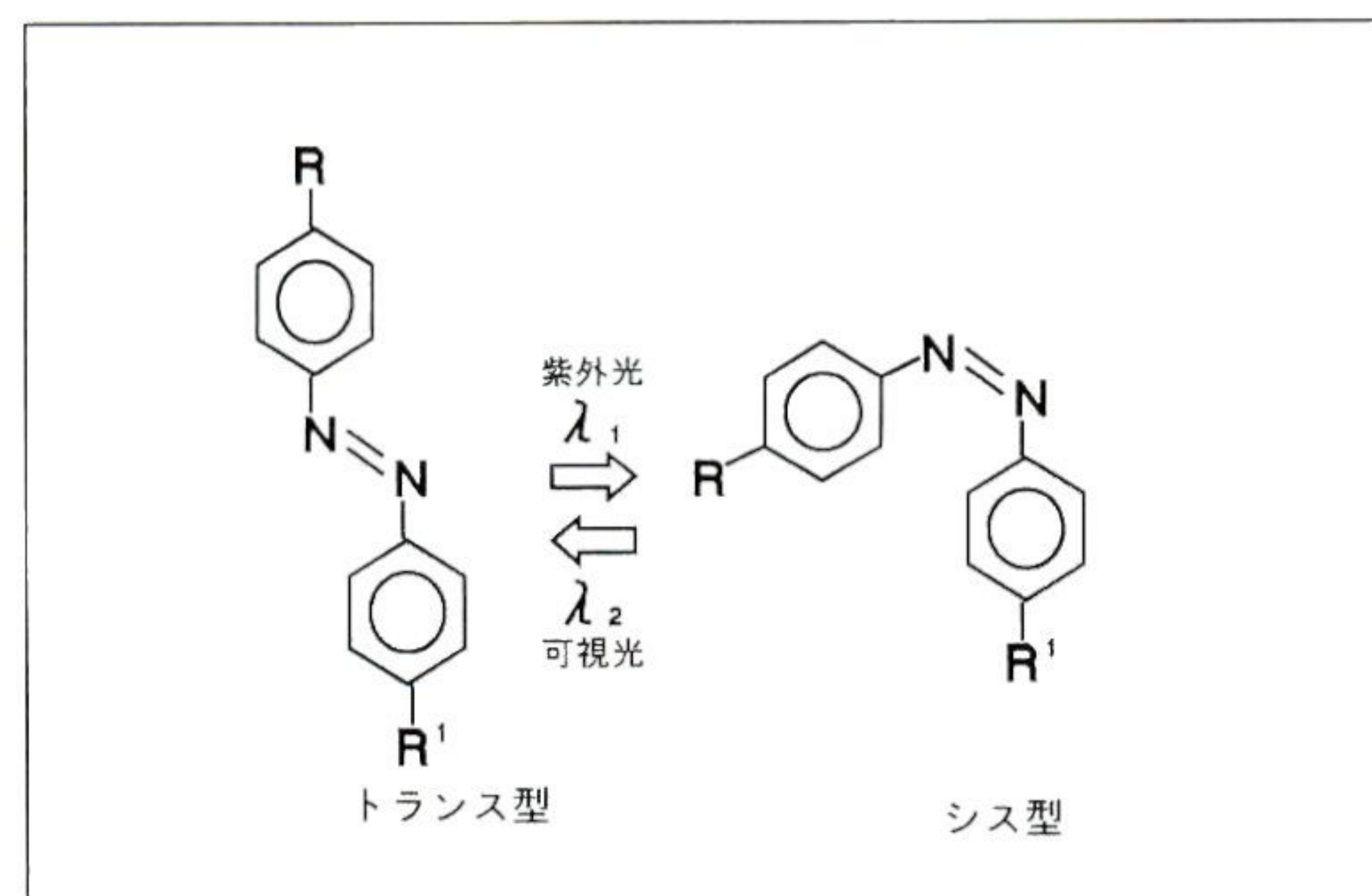


図2 アゾベンゼンの光異性化

実際に素子として利用するとき問題になるのが、どの波長の光をあてたときにどんな電気的な出力を得られるかということである。簡単にいうと図3のように電極と単分子膜からなる閉回路をつくり、回路中の単分子膜に様々な波長の光を照射すればよい。しかし岩本先生がこの研究をされたのは、まだ世界でもその結果が報告されていなかった頃であったので、効果的な測定装置から考え出さなければならなかった。そこで先生は図4のような水面上にLB膜をおく変位電流測定システムを開発した。実際に素子にする段階では金属などの固体基盤上にLB膜を移し取らなければならぬのだが、技術的な困難さを生じるので水面上でおこなっている。光-変位電流変換を確かめるだけの段階としてはそれでも十分なのである。

「あまり世界初、世界初と強調すると、かえって嘘っぽく聞こえてしまいそうだけどね」といわれていたが、先生はこの水面上での光-変位電流変換の応用を世界に先駆けて発表されており、この研究では世界の先端におられる。

図4のような測定装置のもとで水面上にアゾベンゼンを含む分子の単分子膜を展開し、光を照射したときの変位電流の測定をすると、図5のような変位電流波形が得られる。この分子膜では、波長380nm(λ_1)の紫外光を照射すると分子構造がトランス型からシス型に変化し、波長450nm(λ_2)の可視光を照射するとシス型からトランス型に可逆的に変化するということがわかった。図より、 λ_1 の照射により負の電流が、 λ_2 の照射により正の電流が流れることと、連続して同じ波長の光を照射

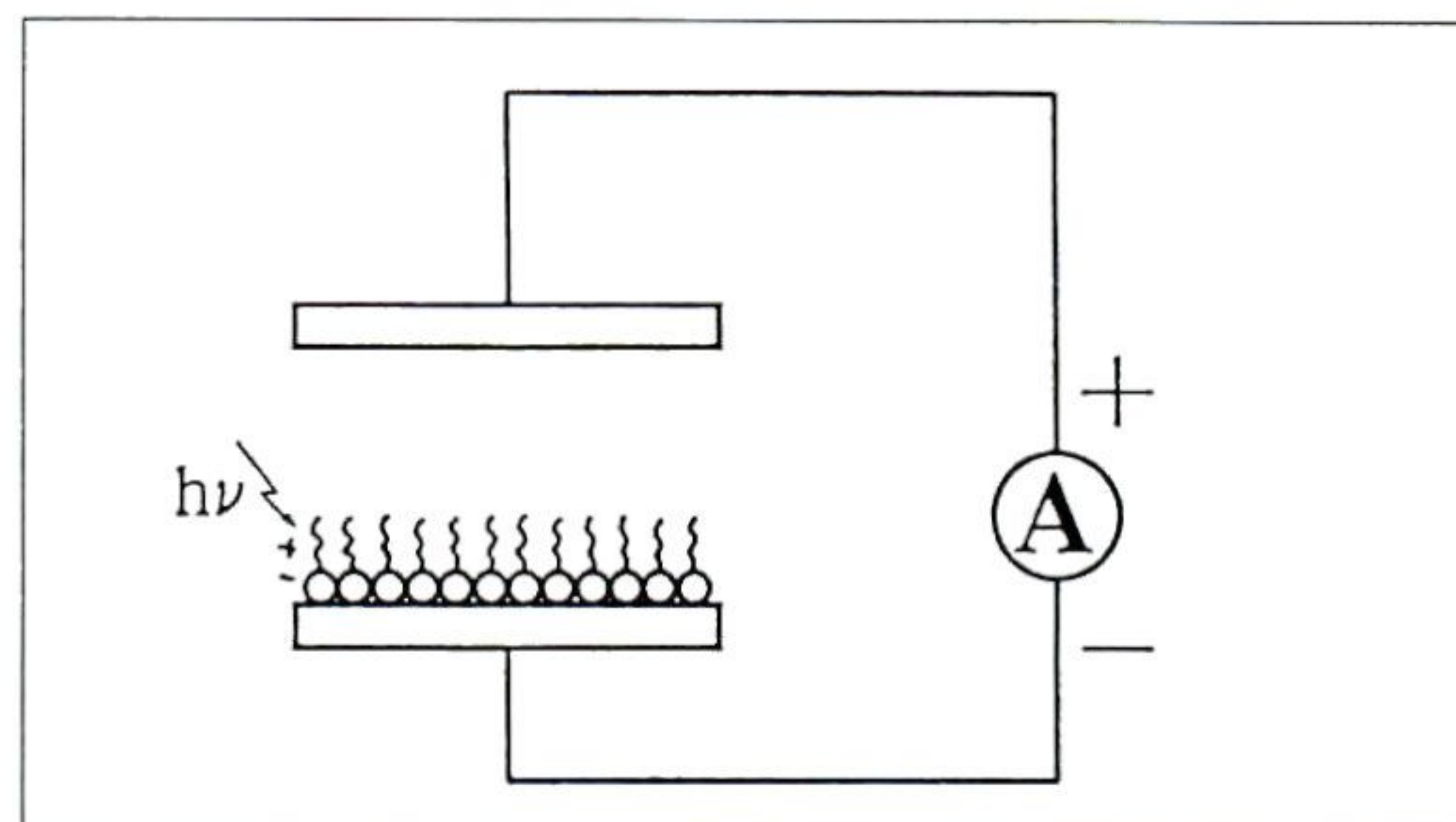


図3 変位電流の測定

しても変位電流は流れないことがわかる。これにより、2種類の入力に対して2つの異なる電気的応答が得られることがわかり、分子レベルでのメモリ素子を実現するにあたって有望な性質を見いだすことができる。

水面上での変位電流測定ができると今度は固体基盤上に単分子膜を移し取って水面上と同様に変位電流の測定を行ってみることになる。岩本研で、金/単分子膜/空気層(Air gap)/金という素子を作って光を外部入力して変位電流の測定を行ったところ、水面上の電流波形とほぼ同様のものを得られた。LB膜はたいへん膜厚が薄いため固体基盤上へ移し取る際に膜の欠損を生じやすいといった問題があるのだが、水面上と同じ測定結果を得られたことで実際の素子への応用が可能であることがわかる。

しかし、現在のところは、実際にメモリとして実現する段階ではないと先生はいう。現段階としては、まず有機単分子膜の電気的な性質を調べてどのように応用できるかを確かめていくことが第

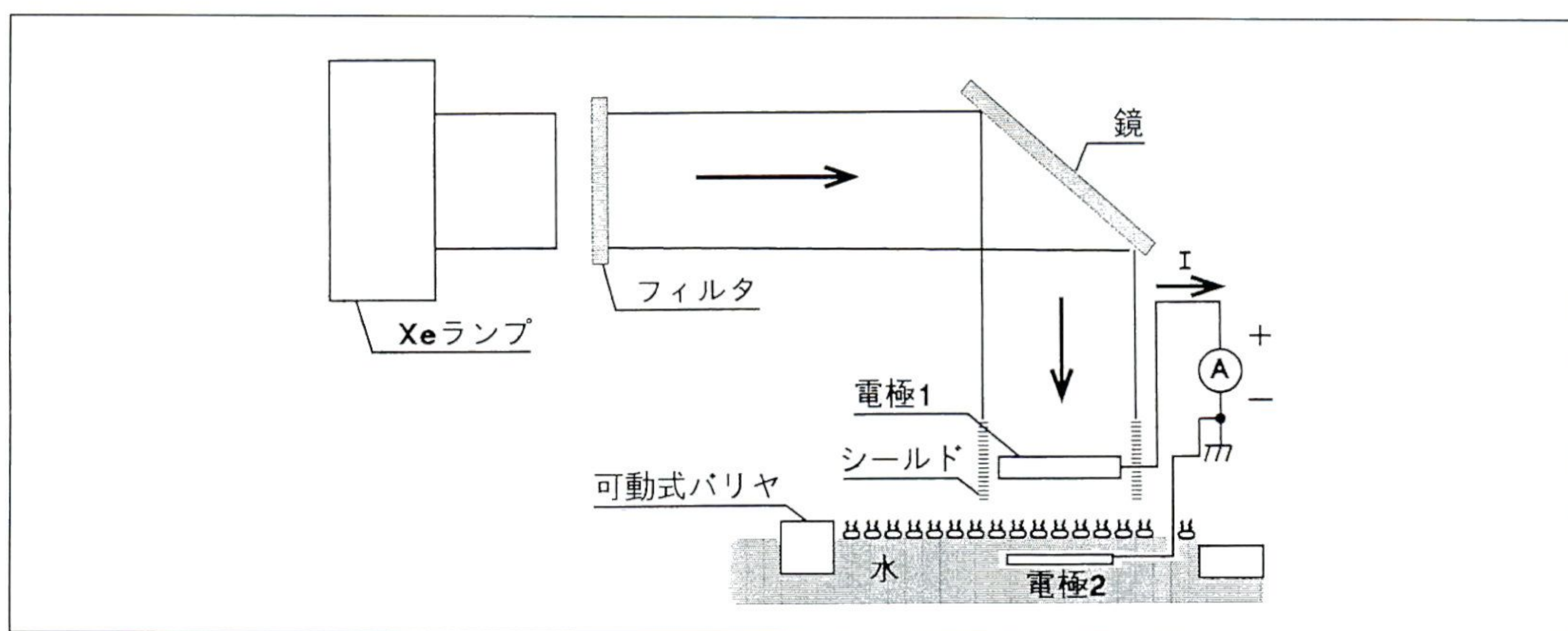


図4 水面上の変位電流測定装置

一であるそうだ。単分子膜自体については、界面化学の分野でずいぶん以前から研究が行われ、その性質が明らかになっている。そのため、エレクトロニクス分野で脚光を浴びたとたんにその性質を利用した様々な応用が提案されてきている。しかし、古いものを単純に見直すような見方をしてはいけないと先生は考えられている。現在、エレクトロニクス分野では、無機材料でできた半導体素子が非常に成熟してきているのだから、そうした技術や考え方をうまく利用しながら有機材料の研究を進めていくべきだということだそうだ。例えば、単分子膜を流れる変位電流の測定にしても、以前はこれほどの微弱な電流を検出できるだけの計測器がなかったという。半導体などの新しい技術が成熟してはじめて、変位電流という現象を実際にとらえることができ、またそのような現象をとらえられるようになったからこそ有機材料を用いた新たな素子の開発へのアプローチができる状況がうまれたのだろう。

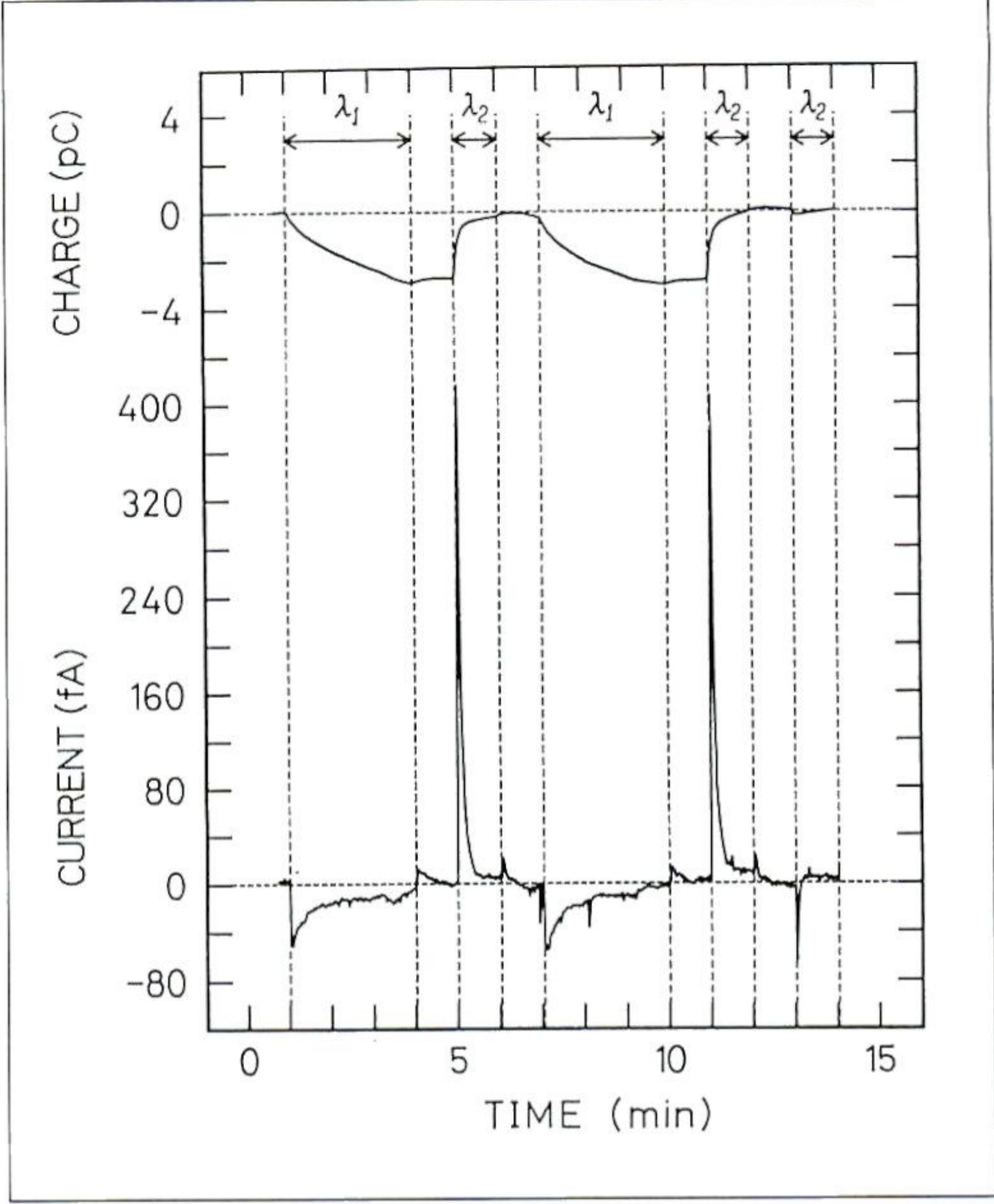


図5 水面上の変位電流

ひとつの新しい学問分野として

岩本先生にこれからどんな研究をなさっていきたいかをうかがった。

まず、先に述べた通り、有機単分子膜の分子レベルでの電気的な性質について調べていくことだという。そして最終的な目標は、そうした電気的な性質の研究をもとにメモリ素子やダイオードなどの電子素子を分子レベルで実現していくことなのだが、あまりものを作ることに固執したくないそうだ。「この研究室も大学の施設のひとつですから、やっぱり実際にものを作るということだけが必要なわけではなく、その研究分野の理論体系を確立させるということが必要になってくるわけです。まだ、分子一個の厚さしかないような薄い膜に変位電流が流れたときにどのようなことがおこるかといったことがわかっている人はいないんですよ。単純に厚い膜の延長ではないし。それ

だからこそやりたいんですよ。でも、理論だけできゅうくつに感じて困るから、学生に興味を持たせるためにも、ものを作るということも並行してやっているんです。理論体系を作ることか、ものを作ることの片一方だけやって、ひとつの学問が成り立つということはありませんからね。やっぱり両方やってはじめてひとつの学問といえるのでしょう」

先生は、工学系の人にはものを作ることに執着するという傾向があるが、理論体系を作るという視点にたってもっと広い目でみてほしいという。現在の研究を始めたのは、ものを作るだけでなく、理学系の人のようにものの性質を調べるほうにも興味を持って、色々な面白さを見いだせるからだという。先生の「人と同じことばかりやっていてもつまらないしね」という言葉が印象的だった。

今回の取材にあたって、不勉強な私達に高校物理の教科書まで用意して熱心に説明して下さった岩本先生と研究室のみなさんにはたいへん感謝いたします。

将来、先生の研究分野が一つの学問として大いに発展し、活発な研究が行われることを願いつつ、筆を置きたいと思います。

(杉本)