空気層を有する高分子フィルムと電極界面の残留電荷密度

正員 門脇一則 (愛媛大学)

非会員 西本 栄 (愛媛大学)

正員 木谷 勇 (愛媛大学)

Residual Charge Density on Polymer-film/electrode Contact with a Thin Air Layer
Kazunori Kadowaki, Member, Sakae Nishimoto, Non-member
and Isamu Kitani, Member (Ehime University)

We could observe the residual charges on polymer-film/electrode contact with a thin air layer directly by the use of pulsed electroacoustic method. The thin air layer has an important role as an acoustic shield of the pressure wave from the induced charges which are aligned closely to the residual charges. Heights of the detected signals were in good agreement with the residual voltages after removal of the upper brass electrode.

キーワード：残留電荷，電気二重層，界面，音響インピーダンス，高分子フィルム

1. まえがき

高分子のような絶縁体と電極との界面での電子現象は不純物準位や仕事関数などの様々な因子の影響を受け複雑である。試料から上部電極を除去して表面電位を測定すれば、短絡したにもかかわらず、かなり高い残留電位が観測される⁽¹⁾。このことは短絡時においても、界面での電荷移動が制限されていることを意味する。ただし残留電荷量がある値を越えると、電極除去時に剥離放電が起こり、電荷量を測定できなくなる⁽²⁾。最近、空間電荷の測定技術が発達し、多くの測定が試みられているが、短絡されたフィルム上の残留電荷と電極に誘導されるその影像電荷が密接して存在するいわゆる電気二重層を測定するには、高い空間分解能が要求される。Andersonらはレーザーパルス誘起法とデコンボリューション処理を用いて $2\mu\text{m}$ という空間分解能を実現し、電気二重層を観測している⁽³⁾⁽⁴⁾。またこの報告では、印加電圧が比較的低い領域では電気二重層の厚さが $2\mu\text{m}$ よりも遥かに小さいため、更なる信号補正を施している。今回、我々はパルス静電応力法(以下PEA法)を電極との界面に空気層を含む試料に適用した。空気層を含む試料に対しては、空気層で圧力波が音響インピーダンスの不整合により反射されるので、一般的にはPEA法は適用されない。しかし、逆に電気二重層の間に空気層があれば、上部電極の影像電荷による圧力波は空気層により遮断され、残留電荷からの圧力波のみを観測できることが期待できる。実験を行った結果、比較的精度良く残留電荷密度を計測できることがわかったのでここに報告する。

2. 実験方法

試料には厚さ $50\mu\text{m}$ のポリエチレンテレフタレート(ダイアホイルヘキスト(株): S100-50, 以下PET)を用い、その片面に銀蒸着を施し下部電極とした。下部電極面をPEA装

置のアルミ板上にシリコン油で貼り付け、フィルム上に真鍮の平板電極($\phi 8\text{mm}$, 最大表面荒さ約 $1\mu\text{m}$)を置いた。真鍮電極とフィルムの接触面には薄い空気層が形成されている。この真鍮電極試料と比較するため、厚さ 0.3mm の導電性ゴムシートを真鍮電極とフィルムの間に挟み込み、上から 1.5kg の荷重をかけることにより接触界面に空気層の無い試料を作り、これをゴム電極試料として実験を行った。試料に直流電圧を20秒間印加した後に短絡し、短絡開始から60秒後の空間電荷分布を測定した。信号検出時には30回の平均化処理を施した。さらにその後、上部電極を取り除きフィルム表面の残留電位を電位プローブ法で測定した。本実験に用いたPEA装置の空間分解能は $10\mu\text{m}$ である。

3. 実験結果および検討

図1は、真鍮電極試料の上部側に正の直流電圧を印加した後に、短絡した状態での検出波形を示したものである。印加電圧の上昇に伴い、上部電極側のフィルム表面に残留電荷に相当する正の信号が現れている。電極除去後の試料表面の残留電位を表面電位計を用いて測定したところ、剥離放電が生じない領域において、印加電圧と残留電位の関係は図1における印加電圧と検出信号との関係によく一致した。一方、図1を見る限り、下部の蒸着電極側で、信号を見ることはできない。実際には、印加電圧の大きい領域で、残留電荷と影像電荷に相当する微少な信号を確認することができたものの、その大きさは上部電極側の信号の $1/50$ 以下と小さかった。ゴム電極試料の場合、上部側(ゴム側)と下部側の両方において、信号は検出されなかった。しかしここで注目すべき点は、電極除去後の残留電位測定において、ゴム電極試料の電位は真鍮電極試料のそれよりむしろ高く、多くの電荷がフィルム表面に残留していることを確認できた事実である。このことは、ゴム電極とフィルムの界面に

図1 真鍮電極試料における短絡状態での圧力波信号
Fig. 1. Pressure wave signal from PET-brass contact with a thin air layer.

図2 フィルムと電極界面からの圧力波の伝搬モデル
(a) ゴム電極試料 (b) 真鍮電極試料
Fig. 2. Propagation model of the pressure wave from PET-electrode contact.
(a) Rubber electrode (b) Brass electrode

図3 真鍮電極試料の上部に蒸着を施した場合の圧力波信号
Fig. 3. Pressure wave signal of PET with a thin air layer on the upper evaporated electrode.

PEA装置の分解能では検出不可能な電気二重層が存在することを示している。それでは何故、真鍮電極では残留電荷による信号が検出され得るのかという疑問が生じる。図2は、各々の電極を用いた場合における電気二重層からの圧力波の伝搬の様子を描いたものである。ゴム電極試料の場合、フィルム表面の残留電荷と電極表面の影像電荷の両方から圧力波は伝搬する。電気二重層の幅は装置の分解能よりも小さいため、残留電荷と影像電荷の両方から圧力波の伝搬するゴム電極試料においては、その識別が十分にできない(図2(a))。一方、真鍮電極試料の場合もパルス電圧の印加によって残留電荷と影像電荷の双方から圧力波が生ずるのはゴム電極の時と同じである。しかしここでは接触界面の空気層が影像電荷からの圧力波を遮断するため、圧電素子に到達する圧力波は残留電荷成分のみとなる(図2(b))。しかもこの成分は、圧電素子の方向への進行波と、空気層とフィルム界面で一度反射してから圧電素子方向へと向かう反射波の合成波なので、その大きさは、合成されないときの2倍となる。以上の考え方の妥当性を確認するために、フィルム上部にも蒸着電極を施し、その上に真鍮電極をのせた場合の実験を行った。この場合、空気層は上部蒸着電極と真鍮電極の間に存在している。この状態で電圧を印加、短絡した時の空間電荷分布を図3に示す。電圧印加時(8kV)において上部電極側の信号の大きさは下部電極側の信号の約2倍である。この事実は上部蒸着面の充電電荷からの圧力波の進行成分に反射成分が重畳していることを示している。このときの反射は蒸着面と真鍮電極界面の空気層で起きている。ところが短絡時は、空気層があるにもかかわらず残留電荷の信号が検出されていない。その理由は、空気層が電気二重層の間に位置していないためである。つまりこの場合、PEA装置の圧電素子側から見た時、残留電荷と影像電荷の双方が空気層より手前に位置しているので、双方の信号を空気層が分離するという効果があらわれないからである。これらの結果は、空気層が電気二重層の間にある場合、図2のモデルに示されたような形で、残留電荷からのみの信号を検出していることを支持している。また我々は、圧力波を引き起こすために、繰り返し印加されるパルス電圧(400V, 幅5ns)が、表面電荷の残留状態を変えないことも確認している。今後はこの手法を用いて、接触界面の物理的条件が電荷の残留状態に与える影響を調べる予定である。

最後に実験装置の製作にあたり御助言を賜りました松江工業高等専門学校の福間真澄氏に謝意を表します。

(平成10年12月21日受付, 平成11年2月17日再受付)

文 献

- (1) I.Kitani, T.Hirano and K.Arii: Jpn. J. Appl. Phys., **24**, 8, 965-969 (1985)
- (2) I.Kitani, S.Nishimoto and K.Arii: IEEE. Trans. on Elect. Insul., **3**, 2, 197-200 (1996)
- (3) R. A. Anderson and S. R. Kurtz: J. Appl. Phys., **56**, 10, 2856-2863 (1984)
- (4) S. R. Kurtz and R. A. Anderson: J. Appl. Phys., **60**, 2, 681-687 (1986)