シリコン油中への電荷注入時にみられる 異常現象についての一考察

正 員 石 井 新之助 (一関高専)

正 員 土 田 縫 夫 (豊田工大)

正 員 大 橋 朝 夫 (愛知工大)

A Discussion about Anomalous Transient Currents Observed by Charge Injection in Silicone Oil

Shinnosuke Ishii, Member (Ichinoseki National College of Technology), Nuio Tsuchida,
Member (Toyota Technological Institute), Asao Ohashi, Member (Aichi Institute of Technol-
ogy)

キーワード：シリコン油，電荷注入，過渡電流，空間電荷効果，流動

シリコン油中へ薄膜エミッタ⁽¹⁾を用いて電子注入を行ったときの過渡電流波形を調べたところ，過渡電流値とキャリア走行時間において，空間電荷効果による理論値（規格化した過渡ピーク電流値，キャリア走行時間がそれぞれ2.2, 0.786である）⁽²⁾と大きく異なる値が得られた。これらの異常現象については既に報告した^{(3)~(5)}。この異常現象がどうして生じるのか明らかにすることは，キャリアの伝導機構を解明するうえで重要である。本論文では，この異常現象を引き起こすと考えられる種々の原因のなかで，液体の流動による可能性が否定される結果が得られたので，報告する。

液体中のイオンの移動によって流れの発生が予想される。その流れの生じやすさの目安はレイノルズ数で与えられる。レイノルズ数は流れの粘性力に対する慣性力の比として次式で与えられる。

$$Re = v \cdot h / \eta$$

ここに， v ：液体の速度(m/s)， h ：膜厚(m)，

η ：動粘性係数(m²/s)

図1の電流波形から10 cStのシリコン油では $v = 500 \times 10^{-2}$ m/s， $h = 50 \times 10^{-6}$ m， $\eta = 10 \times 10^{-6}$ m²/sとして $Re = 25$ となる。また，50 cStでは $v = 12 \times 10^{-3}$ m/s， $\eta = 50 \times 10^{-6}$ m²/sとして $Re = 1.2 \times 10^{-2}$ となる。乱流から層流へ移り変わる下限の値はシラーによって $Re_c = 2,320$ が与えられているが，実験値はそれよりもはるかに小さい値である。 Re は Re_c より

図1 パルス注入時の過渡電流波形
Fig.1. Transient currents of pulsed charge injections.

大きければさらさらとした速い流れになり，小さければ粘りのあるゆっくりとした流れとなることが知られている。本実験の場合 Re_c より二けた以上小さい値であるので，液体が非常にねばりのあるものであり，キャリアの加速を引き起こすことは到底考えられない。

図2は10 cStのシリコン油に対する電流値の温度特性を示している。50 cStシリコン油に対しても，10 cStと同様な温度特性を示すことがわかってい⁽⁵⁾。電流値は前報と同じく⁽³⁾，電流のピーク値 J_m を注入直後の初期値 J_0 で規格化して示している。温度が上昇して粘度が低下すると電流における異常現象が抑制されることがわかる。これは粘性の大きい試料ほど異常現象が顕著に現れる傾向と一致する(J_m/J_0)

図 2 規格化電流値の温度特性
Fig. 2. Temperature characteristics of normalized transient currents.

図 3 注入レベル大のときの過渡電流波形
Fig. 3. Transient currents in high injection levels.

が 50, 70, 100 cSt に対してそれぞれ 5.5, 13.0, 15.0 となる⁽⁴⁾。また、キャリアヤ走行時間における異常現象についても、ここでは示していないが、10 から 100 cSt のシリコン油に対して 0.786 以下の値が得られている。更に図 3 に示すように、注入レベルの増大によってキャリアヤ走行時間が早くなるのではなく、逆に遅くなる現象が存在する。これはキャリアヤ移動に伴って流速が発生し、キャリアヤの移動を早める (EHD 移動度) という従来の説と明らかに矛盾するものである。また、先頭のキャリアヤは後続のキャリアヤにより力を受け加速されるので、電流ピークが早く現れ減衰も早くなるという空間電荷効果による説明だけでは説明が困難な特異な現象である。

以上のことから、この異常現象について次のことが明らかになった。

- (1) 温度上昇によって規格化されたピーク電流値が抑制される。
- (2) 粘性がほぼ規格化されたピーク電流値が大

きくなる⁽⁴⁾。

(3) 流動が起きているかどうかの目安となるレイノルズ数が、10 cSt のシリコン油の場合 $Re=25$ で、50 cSt のシリコン油では $Re=1.2 \times 10^{-2}$ となり、シラーの値 $Re_c=2,320$ よりはるかに小さな値である。

これらの結論はすべて流動が起きている可能性を否定するものである。従って、この異常現象は流動以外の他の原因によるものである。著者らはチャージシートによる試料の加熱のモデルを考えており、これについては別の機会に報告する予定である。

(平成 3 年 7 月 29 日受付)

文 献

- (1) N. Tsuchida & S. Ishii: *IEEE Trans. Elect. Insulation*, **25**, No. 3 (1990)
- (2) A. Many & G. Rakavy: *Phys. Rev.*, **126**, 1980 (1962)
- (3) 石井・土田, 他: 電学論 A, **104**, 231 (昭 59-4)
- (4) 石井・土田, 他: 同上 A, **106**, 236 (昭 61-5)
- (5) S. Ishii, N. Tsuchida, et al.: *J. Electrostatics*, **24**, 79 (1989)

石 井 新之助 (正員)

昭和 22 年 11 月 17 日生。50 年 3 月岩手大学大学院修士課程修了。同年 4 月一関高専電気工学科助手、61 年 10 月同講師、平成 3 年 1 月同助教、現在に至る。主として、電気絶縁物性の研究に従事。静電気学会会員。

土 田 縫 夫 (正員)

昭和 19 年 6 月 29 日生。47 年 3 月名古屋大学大学院博士課程満了。名古屋大学助手を経て、現在豊田工業大学制御情報工学科助教授。工学博士。液体誘電体物性、ロボット用アクチュエータおよびセンサの研究に従事。46 年電気学会論文賞受賞。電子情報通信学会会員。

大 橋 朝 夫 (正員)

昭和 13 年 12 月 1 日生。45 年 3 月名古屋大学大学院博士課程満了。同大学工学部助教授を経て、現在愛知工業大学教授。工学博士。主として、液体誘電体の電気物性の研究に従事。静電気学会会員。