シクロヘキサン中へのホール注入時に見られる電流急増現象

正 員 石井新之助*   正 員 土田 縫夫**
 正 員 大橋 朝夫***   正 員 長尾 雅行****
 正 員 小崎 正光*****

The Current Increase Phenomena Observed by Hole Injection in Cyclohexane

Shinnosuke Ishii*, Member, Nuio Tsuchida**, Member, Asao Ohashi***, Member,
 Masayuki Nagao****, Member, Masamitsu Kosaki*****, Member

This paper present some experimental results observed by pulse hole injection with thin film emitter. The transient current decrease exponentially to constant current and step functional increase at 12 μ s occurs with single or several burst pulses, during pulse hole injection (20 μ s duration). After 20 μ s duration, the transient ionic peak current occurs. The breakdown phenomena concern with the burst pulse.

キーワード：ホール，破壊前駆電流

Keywords：hole, prebreakdown current

1. まえがき

液体誘電体は，絶縁性としての機能の他に冷却媒体としての優れた特性から，電力機器にとって欠くことのできない重要なものである。この誘電体も絶縁性を失う直前には，大きな破壊前駆電流が流れる。これらの現象を観察するには大きな困難を伴い，現象解明が遅れている。著者らは，キャリア注入素子として薄膜エミッタを用いた，破壊前の電流急増現象を観察することに成功し，すでにその一部について報告している⁽¹⁾。本論文では，時間分解能を更に高めて観察した結果，明らかになった実験事実について報告する。

2. 実験方法と結果

測定回路（図1）については，前報⁽¹⁾と全く同じであり，ホール注入素子として薄膜エミッタ（Al・Al₂O₃・SiO・Au）を用いている。また，破壊前電流急増現象を観察するために，キャリア注入素子は，トンネル形にこだわらずショットキー形のものも用いている。実験に用いたシクロヘキサンは，関東化学(株)製の特級試薬品を蒸留装置（アオバ理研製）を用いて脱ガス，蒸留し使用している。キャリア注入量はパルス発生器（ヒューレット・パッカード製214B）により制御した。キャリア駆動には直列接続した積層乾電池を用い，ギャップ長dは40 μ m一定である。ホール注入により流れる電流は，10 k Ω の検出抵抗の電圧変化をデジタル・オシロスコープ（Tektronix 製，TDS 3052B，500MHz，5GS/s）で観察することにより得られる。まず，薄膜エミッタにより注入されるキャリア種について考える。この素子を用いることにより，素子と液体界面で電子のやりとりが可能である。ベース・エミッタ間に負の電圧を印加することにより，素子のAu表面からホット・エレクトロンを液体中へ注入することができる。一方，正の電圧を印加することにより，液体分子から電子を引き抜く（ホール注入）ことが可能である。Au電極と液体分子界面における電子のやりとりに関する詳しい情報は，今後の検討課題として残されており，ここではこれ以上ふれない。

以下，ホール注入時の過渡電流波形を，2.1 ホール注入

* 一関工業高等専門学校

〒021-8511 一関市萩荘字高梨

Ichinoseki National College of Technology

Aza Takanashi, Hagishou, Ichinoseki 021-8511

** 豊田工業大学

〒468-8511 名古屋市天白区久方 2-12-1

Toyota Technological Institute

2-12-1, Hisakata, Tempaku-ku, Nagoya 468-8511

*** 愛知工業大学

〒470-0392 豊田市八草町八千草 1247

Aichi Institute of Technology

11247, Yachigusa, Yagusa-cho, Toyota 470-03

**** 豊橋技術科学大学

〒441-8580 豊橋市天伯町雲雀ヶ丘 1-1

Toyohashi University of Technology,

1-1, Hibarigaoka, Tempaku-cho, Toyohashi 441-8580

***** 岐阜工業高等専門学校

〒501-0495 本巣市上真桑 2236-2

2236-2, Kamimakuwa, Motosu 501-0495

図 1 測定回路

Fig. 1. Circuit diagram.

期間, および, 2.2 ホール注入停止後に分けて考察する。

〈2・1〉 ホール注入期間中の過渡電流波形 ベース・エミッタ間には, 時間幅 $20 \mu\text{s}$ の正極性パルス電圧 V_{eb} を印加した。図 2 は, この時の過渡電流波形 $i(t)$ である。従来の測定では, オシロスコープ (TDS 420, 150MHz , 100MS/s) の時間分解能が低いため, ホール注入期間中の現象解析は不十分であった。ホール注入直後から, 急激な電流減衰が発生する。隣接する液体分子から, 一定のホール (電子) 移動があるのならば, 減衰は生じないが, 移動過程でホール (電子) のトラップが発生していると思われる。トラップする物質としては, O_2 やその他の不純物が考えられ, この時のトラップによって, キャリアがイオン化する。これらの電流減衰は, いずれ平衡電流値に落ち着き, 次の段階へと現象が進展する。図 3 では $12 \mu\text{s}$ あたりから電流の上昇がみられ, この電流に単発性パルス大電流が重畳して観察される。この大電流パルスは, 単発で終わる場合や連続して発生する場合と, 様々な様相を呈する。しかも, パルス幅は数百 ns 以下の急峻なものである。電極間に高速のホール (電子) パスが出来ていると考えられる。大電流パルスが連続して発生する場合は, ホール注入停止後も大きな電流が流れ, 電極間の絶縁破壊が発生していると思われる波形も得られた。単発パルスの波高値は, 増幅器の飽和値を超えており, 注入電荷量も数 pC を超えている。最近の計測によると, この程度の電荷量でも液体の気化が起こり, ストリーマへと発展することが報告されている⁽²⁾が, 本実験の場合, その確証はまだ得られていない。また, 脱ガス, 蒸留の程度による電流減衰部の違いも, 今後詳細に検討する必要がある。

〈2・2〉 ホール注入停止後の過渡電流波形 ホール (電子) 注入停止直後, 電流値は急激に減衰し, その後徐々に電流値が増え, ピーク値を経て減衰し, 零に落ち着く。この領域の電流は, イオン性キャリア (O_2^- など) によるものと考えられる。今ピーク値を示す時間を, イオン性キャリアの走行時間として, 見かけの移動度を評価すると, $2.7 \times 10^{-4} \text{cm}^2\text{V}^{-1}\text{s}^{-1}$ となり, 従来報告されている値と一致する⁽³⁾。

図 2 ホール注入時の過渡電流波形

Fig. 2. Transient current waveform by hole injection.

図 3 図 2 の時間軸拡大図

Fig. 3. Enlarged time scale Waveform of Fig.2.

3. まとめ

薄膜エミッタを用い, ホール注入を行った。時間分解能を高めて, 注入期間中の電流急増現象を観測した結果, 明らかになった実験事実についてまとめると,

- (1) ホール注入直後, 電流の減衰がほぼ一定になった後, 電流の増加が見られ, さらに, 単発性のパルスが重畳する波形が得られた。
- (2) 単発性パルスは, パルス幅が数百 ns 以下の短いものであるが, 連続して発生することもある。
- (3) ホール注入停止後, 電流値は急激に減衰し, イオン性キャリアによる, ゆっくりした電流増加が観察される。
- (4) 絶縁破壊は, 急峻な突発パルスが大きく関わっていると考えられる。

(平成 16 年 8 月 25 日受付, 平成 16 年 10 月 18 日再受付)

文 献

- (1) S. Ishii, N. Tshuchida, A. Ohashi, M. Nagao, and M. Kosaki : "Avalanche Phenomena in Cyclohexane under Space Charge Enhanced Electric Field", Proc. of 13th ICDL, pp.26-29 (1999)
- (2) N. Bonifaci, A. Denat, and B. Malraison : "Transport phenomena in point-plane geometry in dense argon", *J. Electrostatics*, Vol.40&41, pp.91-96(1997)
- (3) P. Tewari and G. Freeman : "Dependence of Radiation-Induced Conductance of Liquid Hydrocarbons on Molecular Structure", *J. Chemical Phys.*, Vol.49, pp.4394-4399(1968)