The University of Osaka
Institutional Knowledge Archive

Title	低温液体中の電子
Author(s)	吉野, 勝美
Citation	大阪大学低温センターだより. 1977, 18, p. 11-13
Version Type	VoR
URL	https://hdl.handle.net/11094/9607
rights	
Note	

The University of Osaka Institutional Knowledge Archive : OUKA

https://ir.library.osaka-u.ac.jp/

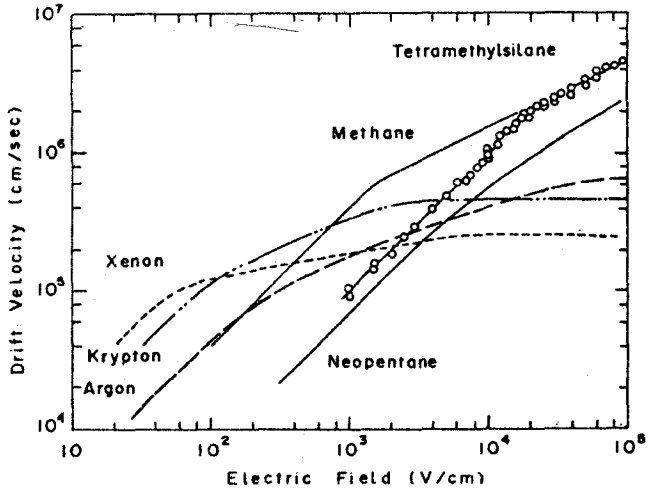
The University of Osaka

低温液体中の電子

工学部　吉　野　勝　美（吹田 4568）

液体中の電子の振る舞いは種々の方面から，即ち光化学，放射線化学反応の初期過程との関連から，高エネルギー粒子検知器への応用の可能性から，又電気絶縁材料に於ける高電界現象との関連から，更に特に量子液体等では純物理学的興味から，多大の関心が寄せられている。筆者はこれまで液体絶縁という観点から研究を行ってきており，ここでは低温液体，誘電性液体について特に高電界で電子のエネルギーが高くなっていく過程で現れる現象に話を限ってのべる。

一般に液体中の電子は図1に示すAr，Kr，Xe，分子の形が球形である CH_4，テトラメチルシラン（TeMe Si），ネオペンタンNP等のように非常に大きな移動度を有しfreeな状態にあるものと，例えば



図－1.　Ar；450 cm^2/V·sec (87°K)，Kr；1300 cm^2/V·sec (120°K)，Xe；2000 cm^2/V·sec (165°K)，CH_4；400 cm^2/V·sec (111°K)，NP；70 cm^2/V·sec (296°K)，TeMe Si；100 cm^2/V·sec (296°K)

液体Heのバルブ内の電子の如くlocaligeして小さな移動度を有するものがある。localized stateを示すものはHeのみならずNe，H_2，その他多くの非球形の分子形状をもつ炭化水素液体で見られる。しかし炭化水素液体では電子がlocalizeする機構は未だ良く理解されていない。この小さな移動度を示す液体中の電子のドリフト速度は図2に示すように低電界では電界に比例するが高電界ではsuper-linearの依存性を示す。一方大きな移動度を示す液体では図1のように電子のドリフト速度は高電界で飽和する。この飽和現象は半導体でよく知られているホットエレクトロン効果で説明される。図1のドリ

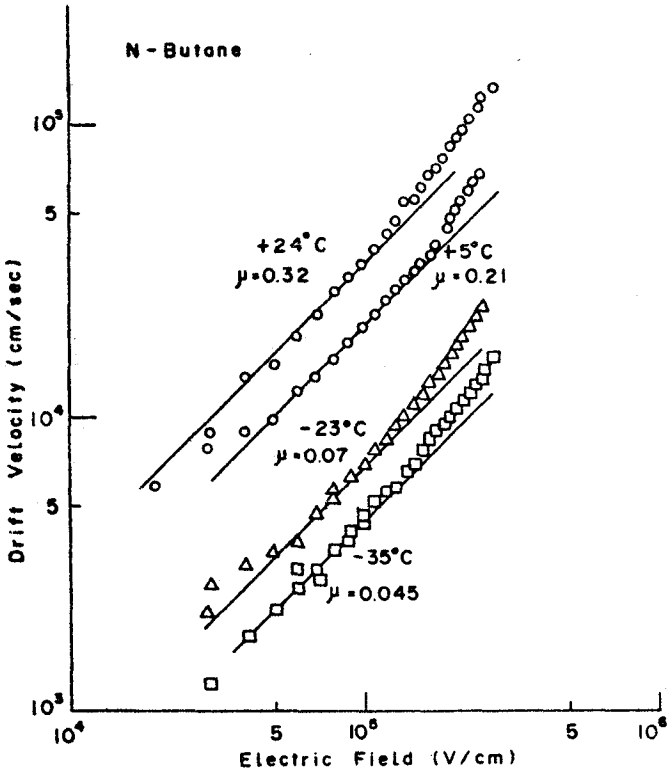


図 2.

フト速度の nonlinear が始る電界から電子と液体分子の衝突の energy loss factor が求まる。その結果液体Ar, Kr, Xe では elastic limit を $fo = \frac{2m}{M}$ (m：電子質量，M：原子或いは分子質量) とすると energy loss factor は夫々 Ar：1.37 fo, Kr：0.4 fo, Xe：0.2 fo，となって弾性衝突が主であり，一方 CH_4 (5.7 fo), NP (220 fo), TeMe Si (230 fo)，等では非弾性衝突が重要な役割りを演じていることがわかる。

液体 Ar に不純物として若干量の炭化水素を添加すると図3に示すようにドリフト速度は飽和からずれて上昇し始め新しい大きな速度で飽和する。これは新しく炭化水素により inelastic (分子の回転或いは振動を励起) な loss が導入されるため電子の温度が冷却されることで説明される。こ

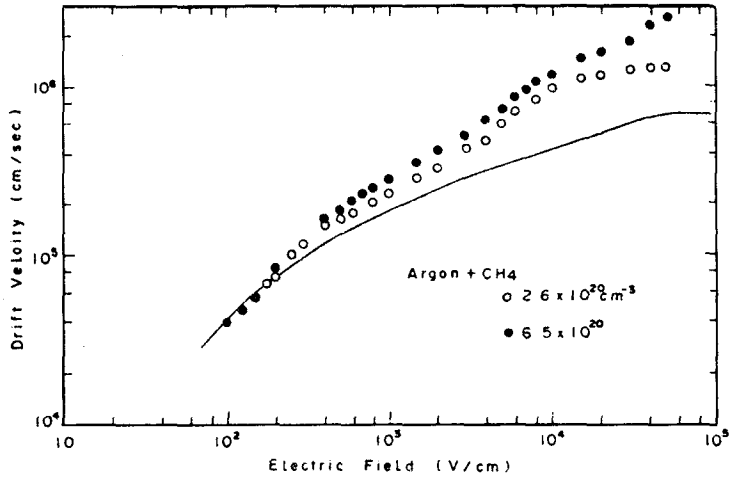


図 3.

の実験結果をホットエレクトロンの一般論Cohen-Leknerの理論をもとに解析を進めると不純物としての炭化水素分子と電子の衝突の energy loss factor の電子エネルギーに対する依存性が評価できる。この結果電子のエネルギーが分子の回転或いは振動を励起できるエネルギーに達すると inelastic energy loss が急激に大きくなることが明らかとなった。尚例えばここで求めた CH_4 の energy loss factor の電子エネルギーが液体 CH_4 の温度に対応するエネルギーのときの値は第1図から評価された energy loss factor と良く一致した。

ここで得た電子一炭化水素分子の衝突の energy loss のスペクトルを用いて計算を行うと，液体Kr，Xe に不純物として炭化水素を混じるとある電界Emで電子のドリフト速度は最大値Vm．を示す。更にEm，Vmは高濃度では不純物濃度の平方根に比例するという結果がえられた。即ち Em以上では電子のドリフト速度が negative な field dependence を示すことが期待された。実験を行うと予想通り例えば図4のように negative な field dependence が見い出された。尚この現象は inelastic energy loss は電子のエネルギー ε がある程度以上高くなると余り急激に大きくならずむしろ飽和の傾向を示すのに対し elastic loss ($\frac{2m}{M}\varepsilon$) は ε に比例して大きくなり，高電界で再び inelastic collision が余り有効でなくなるということに基づく。

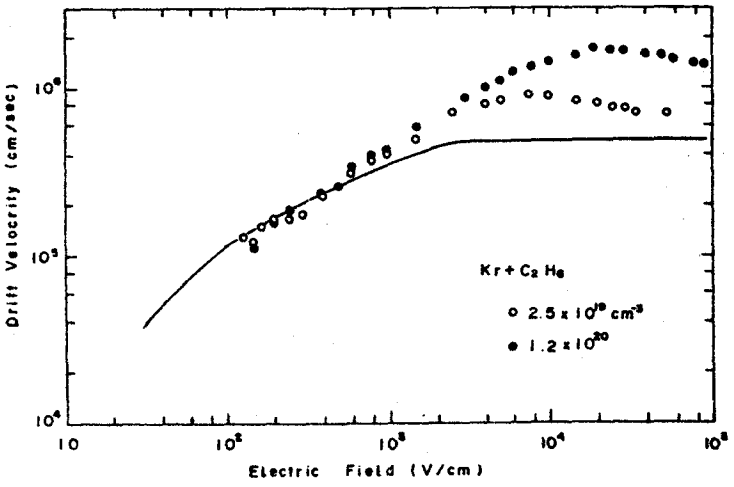


図 4.

更に電界を上昇して電子エネルギーが上っていけば衝突電離が始り電子増倍が起り絶縁破壊へとつながっていくと考えられる。電子が localize している場合は高電界では電子は localized state から free state へ移っていくと考えられる。例えば図2に示した superlinear の振る舞いはこれに関連しているとも言える。絶縁破壊近傍の高電界では電子はほぼ free な state にあると見て良かろう。超伝導送電の冷媒及び絶縁材料としての液体 He のバブル中の電子が絶縁破壊直前でどのような過程を経るかは興味深い。絶縁破壊およびその時間遅れ（ナノ秒領域）を測定すると電子が free な Ar，small polaron をなす N_2，更に液体He等では夫々全く異った振る舞いを示す。夫々絶縁破壊の機構が異っていることを示している。明らかに電子増倍を行っていると見られるのはこの中では液体 Ar のみであった。又液体 He では λ 点に於て急激な変化が見られなかった。これらに関する詳細はまた別の機会にのべる。

尚，上述のドリフト速度，移動度の測定は Linac を用いて得た2ナノ秒のパルス幅の brehmsstrahlung を使って time of flight 法で測定したものである。