KCl 透過形 2 次電子放出利得の改良

広島大学工学部 内 池 平 樹
 東北大学工学部 吉 田 重 知

多孔性 KCl 膜の中間に Al を真空蒸着する改良を行なったところ、放出比が大きくなる結果を得た。さらに、アルゴン雰囲気中で Al と KCl を同時に蒸着した試料では、これまでのうち最も良い放出特性を有することが認められた。また、self sustained emission が観察されたので、冷陰極 MgO と同じ観点からの研究の可能性が生じてきた。最後に、多孔性 KCl の放出機構をパイプ状 2 次電子増倍管と類似の機構で説明した。

1. ま え が き

透過形 2 次電子の放出現象を実際に利用する試みは、かなり以前からあったが¹⁾、放出比の大きな材料が開発されなかったことなどから、あまり大きな進歩がみられなかった。1955 年、Strenglass²⁾ が 2 次電子放出材料として KCl を用いた試みが、ある程度の成果をあげたことから、透過形 2 次電子を種々の電子装置に応用する機運が起った。それ以後、KCl などの放出比の大きな材料を真空蒸着する方向で研究が進められた。

しかし、真空蒸着した KCl などの材料では、放出比が比較的小さい ($\delta_{\max}=7\sim 8$) ということから、さらに大きな放出比を得るために、KCl をアルゴン雰囲気中で蒸着し、多孔性の試料を作る試みが Goetze³⁾ によって試みられた。その結果は予期されたように大きなものとなり ($\delta_{\max}=50$)、この応用として SEC ターゲット⁴⁾ が試作されている。またイメージインテンシファイヤ⁵⁾⁶⁾ も多くの研究者によって試作されている。

本研究では、Goetze らとは異なる独自の方法で KCl をアルゴン雰囲気中で蒸着した試料の製作を行ない、また、その放出特性の測定を行ってきたが、この種の試料が持ついくつかの欠点を改善し、その放出機構がどのようなものであるかを調べる目的で 1, 2 の実験を試みた。すなわち、多孔性 KCl の中間に Al を真空蒸着した試料については、放出比の増大、放出比の安定度にある程度の向上が認められた。さらに、アルゴン雰囲気中で Al と KCl を同時蒸着したところ、放出比に顕著な

増大があることが認められた。この結果、空気中に取り出した試料でも高利得が得られる製作方法が見出され、また self sustained emission の現象が観察され、この結果、冷陰極 MgO と同じ見地からの検討の可能性も生じてきたので報告する。

2. 試料の作成方法ならびに実験方法

2.1 試料の作成方法

14mmφ の Al のリングにコロジオン膜を張り、この上に Al を 200 Å 真空蒸着したものを下地として用いた。この下地材料の上にアルゴン雰囲気中で蒸着して試料を作成した。アルゴン雰囲気中 KCl 蒸着装置の概略を図 1 に示す。

多孔性 KCl の中間に Al を蒸着する場合には、多孔性 KCl を蒸着するために使用したアルゴンガスを一時排気し、試料を真空中で Al の蒸着源の下まで回転して真空蒸着を行ない、その後再びアルゴンガスを導入して KCl を蒸着することをくり返すという方法を採用した。

図 1 試料作成用蒸着装置

Sample producing vacuum deposition equipment

"Improvement of Transmission Secondary Electron Yield" by Heiju Uchiike (Department of Electronic Engineering, Hiroshima University, Hiroshima) and Shigetomo Yoshida (Department of Electronic Engineering, Tohoku University, Sendai)

図 2 Ar 雰囲気中同時蒸着 Al-KCl の蒸着方法

Methode of Al-KCl deposition simultaneously in an atmosphere of Argon.

最後に、アルゴン雰囲気中で KCl-Al 同時蒸着の場合には、図 2 に示したように、KCl の入ったバスケットヒーターの上に Al をつるしたコイルを配置し、アルゴン雰囲気中で両方のヒーターを同時に加熱して試料を作成した。本実験では、コロジオン膜をそのまま残して測定を行なった。

(1) 油拡散ポンプ排気中測定における放出比の減衰

本実験は、はじめ測定を能率的に行なう目的から、デマウントブルなものとし、油拡散ポンプによって排気し、 3×10^{-5} Torr の真空中で測定を行なった。しかし、測定中にかなりはげしい放出比の減衰が認められるようになった。この一例を図 3 に示した。この原因については、たとえば電子線照射による色中心の形成によるものとか、油拡散ポンプ油などが試料の表面に吸着し、これを電子線で衝撃するさいに生ずる油やけなどが考えられる。

(2) 封じ切り管球による測定

油やけによると思われる放出比の減衰を除くために、はじめ封じ切り管球を製作することを試みた。実験に使用した試料が薄膜であることから、破れやすい欠点を持っている。したがって図 4 に示すような構造の、試料の入っていない管球をはじめに作る。このさい、電極の高周波加熱処理、また電気炉によるガラスの熱処理を一度完了させておく。このような処理を行なったのち、適当

図 3 1 次電子照射による放出比の減衰

Decreasing yield curve bombarded 1. ry electron.

図 4 封じ切り管球の電極構造

Structure of chipped off tube electrode.

な部分からガラス管を割り試料を取り付けたのち、エポキシ系樹脂接着剤によって接着し、排気、高周波加熱処理を行なって封じ切り管球を製作した。この程度の真空加熱処理をほどこすことにより、封じ切りの後も長時間にわたって良好な真空状態を保つことができた。また測定結果は、放出比の減衰は認められなくなり、安定した測定が可能となった。

(3) イオンポンプ排気中測定

封じ切り管球の製作の歩留りはそれほど良くないことから、同様の効果を有すると考えられるイオンポンプ排気による測定を行なった。封じ切り管球に用いた電極をそのまま利用してベルジャーの中に取り付けて、イオンポンプにより排気し、測定を行なったところ、封じ切り管球と同じように、安定して放出比の減衰のない測定が可能となった。本研究では、これまで述べたいずれの測定方法でも、ベルジャー内で作成した試料を空気中に取り出し、測定装置に取り付けて測定を行なった。

2.2 2 次電子放出比

1 次電子電流 (I_p) を 2 次電子面に照射したとき放出される 2 次電子電流 (I_s) を測定し、これから、

$$\delta = \frac{I_s}{I_p}$$

を 2 次電子放出比 (δ) と定義する。

(a) 実際に精密な測定を行なうためには、1 次電子の反射、コレクタからの 2 次電子の補正なども考慮しなければならない。

(b) 試料が絶縁物で、 $\delta > 1$ の特性を持っている場合には、時間とともに放出面が正に帯電し、内部電界効果が現われてくる。したがって、内部電界の効果を含まない放出比を測定する場合には、適当な工夫 (パルス法、2 電子銃法等) が必要となる。

本実験では、放出比の大きな材料を開発することを目的としていることから、(a)、(b) に述べた方法を取らず、図 5 に示した最も基本的な方法で放出比を測定した。

図 5 放出比の基本測定
Standard method of yield measurement.

3. 実験結果

3.1 中間 Al 層のある多孔性 KCl

薄膜内の内部電界の放出比におよぼす影響を調べ、また放出比の大きな材料を得る目的から、はじめに多孔性

図 6(a) 放出比特性曲線に現われた中間 Al 層の効果
(油拡散ポンプ排気)

Effect of intermediate Al layer on yield characteristic curve.

図 6(b) コレクタ電圧特性曲線に現われた中間 Al 層の効果
(油拡散ポンプ排気)

Effect of intermediate Al layer on collector voltage characteristic curve.

KCl の中間に Al を真空蒸着することを試みた。この結果を図 6 (a), (b) に示す。図から中間に Al 層のある多孔性 KCl と多孔性 KCl のみの試料との間には、放出比またはコレクタ電圧依存性の上にかんがりの向上が認められる。さらに、中間に Al 層を入れると、放出比の大きな試料を得る例が多く、また 2 次電子放出の安定性も全般的にすぐれている。封じ切り管球の製作の歩留りは、前述したようにそれほど良くないが、その中で図 7、図 8 に示したものが放出比最大のものである。

3.2 コレクタ電圧の変化に対する放出比の応答

封じ切り管球を製作することにより、安定した測定が可能となった。その結果、コレクタ電圧の変化に対する放出比の応答を測定したところ、興味ある情報を得ることがわかった。

図 7 管球測定による放出比特性曲線

Yield characteristic curve measured with chipped off tube.

図 8 管球測定によるコレクタ電圧特性曲線

Collector voltage characteristic curve measured with chipped off tube.

動作状態にある2次電子放出面に、外部から変化が加えられた場合の放出比の応答には、次の2通りの場合が考えられる。

- (1) 1次電子電流の変化に対する放出比の応答
- (2) 1次電子電圧およびコレクタ電圧を変化させたときの放出比の応答

(1)の場合については多孔性 KCl の場合でも、従来の反射形の材料とほとんど変わらない早さで応答することがわかっている⁷⁾。後者の場合には1次電子電圧およびコレクタ電圧いずれも unit function 状に変化させたときの応答を観測した。その結果はいずれも比較的ゆっくり変化することがわかった。これらの観測のうち、表面電位についての重要な情報を得ることができと思われる、コレクタ電圧を変化させたときの放出比の応答について簡単に述べる。

すなわち、1次電子電圧を一定とし、コレクタ電圧を変化させるときの放出比の応答を観測するさい、

(a) コレクタ電圧を増加させる方向に変化させたときの放出比の応答の様子を観測し、この結果を図9に示した。この場合には放出面の電界が強くなるために、それだけ多く2次電子がコレクタに到達することが可能となる。その結果、放出面にはさらに多くの正電荷が残り、次第に表面電位が上昇する。この結果、表面電位の上昇にともなって放出比も上昇する。

(b) コレクタ電圧を減少する方向に変化させたときには、変化後のコレクタ電圧に対応する表面電位に平衡するまで放出比は減少し続ける。コレクタ電圧を下げる

さいに、その電圧により、すなわち、表面電位よりも高い電圧、低い電圧、等しい電圧により、放出比の変化の様子がそれぞれ異なり、図10に示したような挙動を示す。

はじめに、コレクタ電圧を表面電位より高いところへ下げるときには、図10(a)に示したように、放出面とコレクタ間の空間では順電界になっている。そのため、放出比は変化後のコレクタ電圧(V_c')に対応する表面電位に平衡するまでゆっくり減少する。次に、コレクタ電圧を表面電位よりも低いところへ下げるときには、図10(b)のポテンシャル図からわかるように、放出面とコレクタ間の空間では逆電界となる。このため、一度放出された2次電子はコレクタに到達することができず、再び放出面にもどる。その結果、表面電位は変化後のコレクタ電圧(V_c')より低くなるまで減少を続け、下がりすぎて放出面とコレクタ間が順電界になると、再び2次電子がコレクタに到達するようになる。したがって、表面電位は変化後のコレクタ電圧に対応したところに平衡し、放出比もこれにしたがった変化を示す。この様子を図10(b)に示した。コレクタ電圧(V_c)を表面電位に等しいところ下げたときには、放出面とコレクタ間の空間は等電位となるから、ゆっくりと変化後のコレクタ電圧に対応する表面電位まで下がる。このときの放出比の挙動を図10(c)に示した。

このコレクタ電圧の変化による放出比の応答を逆に利用して、表面電位を概略的に測定することを試みた。この方法によって得られた表面電位とコレクタ電圧との関係を図11に示した。この結果、表面電位はコレクタ電圧に比例して直線的に上昇するのではなく、飽和の傾向を持っていることがわかった。次に、同じ方法によって表面電位と放出比特性曲線との間の関係を調べた。この結果を図12に示した。これにより、表面電位は、放出比が最大値を越したところでも上昇していることがわかった。

3.3 アルゴン雰囲気中同時蒸着 Al-KCl の放出特性

中間 Al 層のある多孔性 KCl の基本特性を測定した結果は、前節に述べたように、放出比の増大、安定性の上にかかなりの向上があることが認められた。われわれはすでにこの種の多孔性2次電子放出材料の放出機構をパイプ状2次電子増倍管⁸⁾と同じ動作原理(以後 Capillary Tube Multiplier の頭文字を取り CTM モデルという)を用いて説明することを試みた⁹⁾。

この CTM モデルが多孔性 KCl の2次電子放出現象に適用されると考えると、その放出比はかなり大きな結果($10^2 \sim 10^3$)が得られることが期待される。しかし、これまでの実験では、そのように大きな放出比は得られて

図9 コレクタ電圧を102Vから468Vへ変化させたときの放出比の応答

Response on yield increasing from 102 V to 468 V at collector voltage.

図 10 表面電位測定例

Example of surface potential measurement.

図 11 コレクタ電圧と表面電位との関係

Relation between collector voltage and surface voltage.

いない。

この理由としては、CTM モデルがこの種の材料に適用できないのか、あるいは CTM モデルが適用されるために必要な内部電界の均一性が満足されていないかの 2

図 12 放出比特性曲線と表面電位の関係

Relation between yield characteristic curve and surface potential.

つであると考えられる。

このような理由から、内部電界をさらによくそろえる

図 13 Al-KCl アルゴン雰囲気中同時蒸着した試料の放出比特性曲線

Yield characteristic curve of Al-KCl deposited simultaneously in an atmosphere of Argon.

図 14 Al-KCl アルゴンガス雰囲気中同時蒸着した試料のコレクタ電圧特性曲線

Collector voltage characteristic curve of Al-KCl deposited simultaneously in an atmosphere of Argon.

ために、アルゴン雰囲気中で Al と KCl を同時に蒸着した放出材料の作成を試みた。この試料の作成方法は 2.1 節に述べた。

アルゴン雰囲気中で Al-KCl を同時蒸着した試料をイオンポンプ排気中で測定した結果を図 13 に示した。この試料は KCl 15mg をアルゴン気圧 2 Torr のところで Al と同時に蒸着したものである。同時蒸着した Al の量の調節は、Al のアルゴン雰囲気中での蒸着速度がきわめて遅いことから、ほとんど不可能に近く、出来上がった試料の色具合から判断せざるを得なかった。あまり多く Al を蒸着し、試料面が金属色を帯びてくると放出比はきわめて小さくなった ($\delta_m = 5.7$)。

この試料の放出特性において、コレクタ電圧が 200 V

図 15 中間 Al 層の多孔性 KCl の放出比特性曲線
Yield characteristic curve of spongy KCl with intermediate one Al layer.

図 16 charge up 特性 (試料 #20)
Charging up characteristic curve.

前後のところで、放出比に飽和が見られることが特徴的である。この様子を図 14 に示した。これは冷陰極 MgO において一般的に観察されている現象¹⁰⁾である。また、1次電子電圧がこのような低いところで使用しても、コレクタ電圧を上げるにしたがい放出比が大きくなることは、同時蒸着 Al-KCl 以外では見られなかったことである。また、放出比が 2×10^2 と著しく大きくなることも、これまで見られなかったことである。

イオンポンプ排気中で行なった測定と、封じ切り管球による測定の間に差異が存在するかどうかを確かめるため、中間 Al 層のある多孔性 KCl をイオンポンプ排気中で観測した。その結果を図 15 に示した。この結果は、特にイオンポンプ排気中測定と封じ切り管球との間に差異がないことを示している。

3.4 charge up 特性

同時蒸着 Al-KCl の試料についての charge up 特性は、これまで多孔性 KCl について測定した結果と比較して¹¹⁾、その形状に相異があることが図 16 の例からわ

図 17 SSE の測定例 (試料 #20)

Example of self sustained emission. (S. S. E)

かる。すなわち、図 9 は多孔性 KCl の charge up 特性であり、図 16 は同時蒸着 Al-KCl の charge up 特性である。前者は時間とともに $1 - \exp(-at)$ の形¹¹⁾で変化し、後者は時間とともに指数関数状に変化することを示している。この charge up 特性については次節で簡単に解析する。

3.5 Self-Sustained-Emission (SSE) 特性

同時蒸着 Al-KCl と多孔性 KCl、あるいは中間 Al 層のある多孔性 KCl の特性上の著しい差異のひとつに、SSE¹⁰⁾ 特性があげられる。すなわち、SSE はこれまでのところ、ここで示す同時蒸着 Al-KCl について観察されているだけである。この場合、コレクタ電圧の高いところで現われる SSE は、比較的短時間しか続かないが、適当なコレクタ電圧のところでは、20~30 min 続くものがある。この SSE の一例を図 17 に示した。この図で SSE は b~c の部分であり、a 点で 1 次電子を cut off している。

SSE の現われる原因について、冷陰極 MgO においては、光電子放出による positive feed back があげられる¹⁰⁾。しかし筆者らの場合は、まだその発光を観察するまでに至らなかった。

4. 実験結果の検討

4.1 charge up 特性の解析

同時蒸着 Al-KCl における charge up 特性が、これまでの多孔性の結果とその形状において異なっていることは前節において述べた。本節では、この相異の生ずる理由を説明することを試みる。

(1) 表面電位 (V_s) はこれまでの多孔性 KCl の場

図 18 charge up 特性より得られた時定数
Relaxation time obtained by charging up characteristic curve.

合同同じく、

$$V_s = V_{s0} \left\{ 1 - \exp\left(-\frac{t}{\tau}\right) \right\} \quad (1)$$

にしたがって上昇する。ここで V_{s0} は定常状態における表面電位、 τ は表面電位の上昇の時定数である。

(2) 放出比は、

$$\delta = \delta_0 \cdot \exp(V_s) = \delta_0 \cdot \exp\left[V_{s0} \left\{ 1 - \exp\left(-\frac{t}{\tau}\right) \right\}\right] \quad (2)$$

にしたがって変化すると仮定する。ただし δ_0 は $t=0$ のときの値である。(2)式が一定値に近づくのは、 $t=\infty$ のときであるが、時定数 τ が比較的短くて早く飽和することから、近似的に飽和したときに一定値に近づくと仮定した。この飽和するまでに要する時間を t_s とすると、

写真 1 アルゴン気圧 2mmHg で蒸着した Al の電子顕微鏡写真 (×6000)

Electron microscope photograph of Al deposited in an atmosphere of 2 Torr Argon.

(2) 式から δ_0 を消去して,

$$\ln \cdot \ln \frac{\delta_s}{\delta} = \ln A - \frac{t}{\tau} \quad (3)$$

のような関係式を得た. この(3)式にもとづいて charge up 特性を整理すると, 図 18 に示したように直線に乗る結果を得た. 時定数を求めると, 10^2 sec 程度であり, これまで多孔性 KCl について報告されている値¹¹⁾と変わらない. これらのことから, 同時蒸着 Al-KCl の放出比は, (2)式にしたがって時間とともに増加すると考えられる.

4.2 同時蒸着 Al-KCl の放出機構

アルゴン雰囲気中で蒸着した Al の放出特性におよぼす種々の影響をこれまで述べた. この影響の現われる理由を調べるひとつの方法として, アルゴン雰囲気中で蒸着した Al の電子顕微鏡観察を行なった. その結果を写真 1 に示した. この写真から Al は $500 \text{ \AA}$ 以下の直径の粒子であることがわかった. また, Al の蒸着用コイルから試料面までの距離の違いは, この Al の粒子の大きさにほとんど影響をおよぼしていない.

同時蒸着 Al-KCl は, この粒子状の Al が多孔性 KCl 内に適当に混在しているものと考えられる. これは KCl 粒子から成る細孔 (パイプ) の適当なところでリングの働きをしていると考えることができる.

電子顕微鏡写真より得られた多孔性 KCl の実際の粒子の大きさに基づいて, 多孔性 KCl の 2 次電子放出機構を, CTM モデルにより説明することを試みた.

パイプ状 2 次電子増倍管では, 一般的にパイプの両端に印加する電圧 (V_A) の高いところで計算がなされている. 多孔性 KCl ではそのような高い表面電位にならないことはすでにわかっている. したがって, ここでは実際に多孔性 KCl で起っていると考えられる値を用い, 次のような仮定に基づいて数値計算を行なった.

(1) 2 次電子が KCl の壁から壁へと飛行するさい, 20 eV のエネルギーを持った電子の放出比 δ^* を 2 とすると, 放出比と各段階での 1 次電子のエネルギー E_p との関係は,

$$\delta^* = \frac{1}{10} E_p$$

と表わされるものとする.

(2) パイプのパラメーター α を 11 とする.

(3) 2 次電子の初速度を 1 eV とする.

(4) 曲率を持ったパイプの場合の β を 7 とする. この場合はほぼ円周に相当している.

(5) (1)の条件において 20 eV のエネルギーを持った電子の放出比 δ^* を 1.4 に変えた場合, すなわち,

$$\delta^* = \frac{7}{100} E_p$$

図 19 CTM モデルによる計算例
Yield curve estimated using C. T. M. model.

とする. このような仮定に基づいてパイプ内部における放出比 δ' を求めると,

$$\delta^* = \frac{1}{10} E_p \text{ のとき}$$

$$\delta'_{\text{直線}} = \left(\frac{V_s^2}{4840} \right) \frac{484}{V_s}$$

$$\delta'_{\text{曲率}} = \left\{ \frac{1}{10} \left(\frac{36}{49} V_s^2 \right)^{1/3} \right\} \left(\frac{49}{36} V_s \right)^{1/3}$$

$$\delta^* = \frac{7}{100} E_p \text{ のとき}$$

$$\delta'_{\text{直線}} = \left(\frac{7 V_s^2}{48400} \right) \frac{484}{V_s}$$

$$\delta'_{\text{曲率}} = \left\{ \frac{7}{100} \left(\frac{36}{49} V_s^2 \right)^{1/3} \right\} \left(\frac{49}{36} V_s \right)^{1/3}$$

ここで水野, J. Adams らの導出した計算式を用いて計算を行なった¹²⁾. この計算の結果を図 19 に示した.

この場合の δ' は前述したように, 純粋にパイプ内部で起る 2 次電子増倍であって, 実際に測定される 2 次電子の値はこの δ' にパイプに照射された 1 次電子が最初に放出する 2 次電子の放出比 δ_0 を掛けたものとなる. すなわち,

$$\delta = \delta_0 \times \delta'$$

となり, この結果, 最終的な δ は図 19 に示した値より多少大きくなる.

計算結果の δ が実験結果の範囲内にあることから, 多孔性 KCl において, CTM モデルが適用可能なことが確かめられた.

5. む す び

多孔性 KCl の放出比を大きくすることを目的として、まず中間 Al 層のある多孔性 KCl の試料の作成を行った。この結果、目的はある程度達せられた。しかし、さらに放出比の大きな放出材料を得るためには、Al と KCl をアルゴン雰囲気中で同時に蒸着することを試みた。この結果、適当なコレクタ電圧のところで使用すると、空気中に取り出した試料でも放出比の大きな材料を得ることができた。

多孔性 KCl の放出機構については、パイプ状 2 次電子増倍管と類似のもの—CTM モデルであることを提案した。特に同時蒸着 Al-KCl の結果は、CTM モデルで説明できることを示した。また、同時蒸着 Al-KCl では、SSE も観察された。このことから、これまで透過形の多孔性 KCl は、多孔性 MgO 冷陰極とは、その増倍機構の点で本質的に異なるようなものとして研究されてきているが、今後は同じ観点から研究を進めることが可能となった。

本研究を進めるにあたって現われた種々の困難に対して、一方ならぬご助力をいただいた東北大学工学部 池田俊夫助教授に深謝する。また、実験を進めるにあたってお世話になった千葉技官、大内技官、国井技官に感謝する。(昭和 45 年 12 月 17 日受付, 昭和 46 年 6 月 12 日再受付)

〔参 考 文 献〕

- 1) L. J. Orvin: Brit. Patent, No. 445156 (May, 1934)
H. G. Lubszynski: Brit. Patent, No. 457493 (May, 1935)
J. D. McGee: Brit. Patent, No. 504927 (Oct. 1935)
- 2) E. J. Sternglass and M. M. Watchel: Phys. Rev., **99** (1955) 646
E. J. Sternglass: Rev. Sci. Instrum., **26** (1955) 1202
- 3) G. W. Goetze: Advances in Electronics and Electron Physics, **16**, Academic Press (1962) p. 127
- 4) G. W. Goetze and A. H. Boerio: Proc. IEEE, **52** (1964) 1007
- 5) W. L. Wilcock, D. L. Emberson and Weekley: IRE, NS-7, (1960) 126
- 6) 宮代, 長谷川: テレビ学会電子管研資, No. 247 (1965)

付・図 1 パイプ状 2 次電子増倍管の動作原理図
Operation mechanism of capillary tube multiplier.

- 7) G. W. Goetze, A. H. Boerio and M. Green: J. Appl. Phys., **35** (1964) 482
- 8) 吉田, 水野: 応用物理, **34**, 11 (1965)
- 9) 内池, 吉田: テレビ誌, **21** (1967) 336
- 10) H. Jacobs: Phys. Rev., **88** (1952) 492
- 11) 赤城: 東北大学, 電子工学修士学位論文
- 12) 直線形については 8), 曲率を持った形については, J. Adams and B. W. Manley: IEEE, NS, 88 (1966)

<付 録> パイプ状 2 次電子増倍管の動作原理

ガラス管の内壁に高抵抗の物質を蒸着し、その両端に電圧を加えることにより、ガラス管内には均一な電界が生ずる状態になっている。この状態において、パイプの一端から適当なエネルギーを持った電子を照射する。この電子はガラス管に当たって 2 次電子を発生させる。この放出した電子は、ガラス管の内部電界によりエネルギーを得て、再びガラス管内壁に衝突する。この様子を付・図 1 に示した。パラメーター α と V_A を適当に選べば、最終的にはかなり大きな電流利得が得られる。

多孔性 KCl の放出機構をこのパイプ状 2 次電子増倍管の動作原理によって説明することをわれわれはすでに提案している⁹⁾。ここで、両者の間の違いは、パイプ状 2 次電子増倍管では、パイプの両端に外部から電圧を与えて、パイプの内部の電界を作っているのに対して、多孔性 KCl では、2 次電子放出比が 1 より大きくなる結果、放出面が正に帯電するため、内部に電界が形成されることである。