

## ガス計数管における自己消滅ストリーマモードの基礎特性

亀谷, 均

九州大学大学院総合理工学研究科エネルギー変換工学専攻

井尻, 秀信

九州大学大学院総合理工学研究科エネルギー変換工学専攻

大垣, 英明

九州大学大学院総合理工学研究科エネルギー変換工学専攻

高橋, 祐邦

九州大学大学院総合理工学研究科エネルギー変換工学専攻

他

<https://doi.org/10.15017/17609>

---

出版情報 : 九州大学大学院総合理工学報告. 6 (2), pp.203-215, 1985-01-01. Interdisciplinary Graduate School of Engineering Sciences, Kyushu University

バージョン :

権利関係 :

## 総合論文

ガス計数管における自己消滅ストリーマ  
モードの基礎特性

亀谷 均・井尻秀信\*・大垣英明\*\*  
高橋祐邦\*\*・日隈精二\*\*・今別府 悟\*\*  
浦瀬賢治\*\*・藤田泰之\*\*・前迫浩範\*\*  
桑折範彦\*\*\*・的場 優\*

(昭和59年9月28日 受理)

Characteristics of the Self-Quenching Streamer  
Mode in a Gas Counter

Hitoshi KAMETANI, Hidenobu IJIRI, Hideaki OHGAKI,  
Yuhu TAKAHASHI, Seiji HIGUMA, Satoru IMABEPPU,  
Kenji URASE, Yasuyuki FUJITA, Hironori MAESAKO,  
Norihiro KOORI and Masaru MATOBA

An investigation on the self-quenching streamer mode using a small cylindrical gas counter has been carried out. The charge characteristics of the counter are presented, together with the influence of various parameters such as concentration of ethyl alcohol, anode diameters, incident X-rays energies and gas mixtures.

The results show that the occurrence of the double streamer is suppressed with an increasing in the concentration of ethyl alcohol and the self-quenching streamer mode can be observed clearly even in the case of using a thin anode wire, for example, 20  $\mu\text{m}$ . It is also found that the 50% transition avalanche size depends on the initial deposited charges. The mechanism of the occurrence of the self-quenching streamer is also discussed.

## 1. 序

放射線計測用のガス計数管は、1900年代初頭のガイガーカウンターの発見<sup>1)</sup>に始まり、1940年代の比例計数管の概念の確立を経て<sup>2),3)</sup>、放射線計測の基礎的手段として広く応用されてきた。また、開発の過程で、ガス計数管の動作モードは、ガス増幅をとまなわないう電離箱モードを加えて、1) 電離箱モード、2) 比例モード、3) ガイガーモードの3種のモードに整理され、その動作メカニズムの解明が様々な角度から行なわれてきた。

ところが、最近ガス計数管の心線付近に発生するス

トリーマに関係する動作モードがガス計数管における新しいモードとして議論されるようになってきた。平等ギャップ中に発生するストリーマ現象は、古くは1935年に H. Raether がウィルソン霧箱によって電子なだれが平等ギャップ途中でストリーマに移行する図形を得て初めて明らかにされた<sup>4)</sup>。さらに Meek<sup>5)</sup>、Loeb<sup>6)</sup> および Fletcher<sup>7)</sup> 等によってストリーマ発生に関する理論的な考察が行なわれた。

一方、ガス計数管におけるストリーマ現象の発生に関しては、1974年 S. Brehin 等<sup>8)</sup> が心線印加電圧が通常の比例モードより高い場合に、比例モードでもガイガーモードでもない新しい放電モードが現われることを見出ししてから研究されるようになってきた。彼らは、ガス計数管中でのこの新しい放電モードを pseudo-Geiger mode (疑似ガイガーモード) と呼び不感時間の測定および心線方向の写真撮影等を行な

エネルギー変換工学専攻博士課程

\* エネルギー変換工学専攻

\*\* エネルギー変換工学専攻修士課程

\*\*\* 工学部応用原子核工学科

い、不感時間が 330  $\mu\text{sec}$ 、心線方向の電子なだれのひろがりか 1 cm という結果を報告している。

その後、多くの研究者によってこの新しいモードの基礎的な研究がなされ、G. Battistoni 等<sup>10)</sup> はこの新しいモードを limited streamer mode (制限ストリーマモード) あるいは G. D. Alekseev 等<sup>11)</sup> は high-current mode (高電流モード) と呼んでいるが、これらの言葉は同一の現象を表わしているものと考えられる。最近ではこの比例モードでもガイガーモードでもない新しいモードは self-quenching streamer (SQS) mode<sup>12)</sup> と呼ばれることが多くなっていることから、ここでは自己消滅ストリーマモードと呼ぶことにする。

この自己消滅ストリーマモードは、

- 1) 比例領域から更に高い電圧を陽極心線に印加すると制限比例領域でこの領域より極めて大きなパルスが遷移をともなって観測される。
- 2) しかし、従来のガイガーモードのように電子なだれが心線方向に広がらない<sup>11)13)</sup>。
- 3) 不感時間が短い<sup>12)14)</sup>。

等の特徴をもつことから比例モードでもガイガーモードでもないとされている。

自己消滅ストリーマに関する研究は、ベースガスと消滅ガスの混合ガスに更に第 2 の消滅ガスを添加した混合ガスを用いる場合が多い。E. P. de Lima はこの第 2 の消滅ガスを photoionizing vapour と呼んでいるが、ここでは第 2 種消滅ガスと呼ぶことにする<sup>14)</sup>。通常ベースガスとしてはアルゴン等の希ガス、消滅ガスとしてはメタン、二酸化炭素等の多原子分子がおよび第 2 種消滅ガスとしてはエチルアルコール、メチラール、ベンゼン等が用いられている。消滅ガスと第 2 種消滅ガスの役割をはっきり区別することはできないが、消滅ガスには陰極からの 2 次電子発生の抑制の働きがあり、第 2 種消滅ガスには光子の吸収の働きがあるとされている。

第 2 種消滅ガスの効果については主に E. P. de Lima 等<sup>14)</sup> および Alekseev 等<sup>12)</sup> によって研究されている。Lima 等はアルゴン+イソブタン混合ガスに第 2 種消滅ガスとしてベンゼンおよびトリエチルアミンを混合し、第 2 種消滅ガスの出力パルスの形状、安定性および不感時間に及ぼす影響について調べている。その結果第 2 種消滅ガスが計数率プラトーに重要な影響を与えること等を示している。一方 Alekseev 等は

アルゴン+メタンガスにメチラールを添加してメチラールの含有量による電荷特性、計数率特性および不感時間への影響について調べた。その結果、比例モードでの出力信号の大きさは、メチラールの含有量によってほとんど変化しないが、自己消滅ストリーマモードのそれは大きく影響を受けることを示した。

自己消滅ストリーマが安定に動作するには、比較的大い陽極心線が必要であると言われ、ほとんど 50  $\mu\text{m}$  以上の陽極心線を使用して自己消滅ストリーマの研究が行なわれてきた。<sup>9)13)15)</sup> 自己消滅ストリーマの発生的心線径依存性に関する実験は、Atac 等が 50  $\mu\text{m}$  から 150  $\mu\text{m}$  の直径の陽極心線を用い、比例モードと自己消滅ストリーマモードの出力信号の大きさの変化を測定した例があるが<sup>13)</sup>、細い心線に関してはまったく報告されていない。

一方、ガス計数管中の混合ガスと相互作用させる線源は、<sup>55</sup>Fe からの 5.9 KeV の X 線が用いられる場合がほとんどであり、一部の実験に<sup>12)15)16)</sup>  $\beta$  線および  $\alpha$  線が用いられている。入射エネルギーの自己消滅ストリーマモードに及ぼす影響に関する系統的な実験例はまったくないが、Alekseev 等が <sup>55</sup>Fe からの 5.9 KeV X 線と <sup>90</sup>Sr からの  $\beta$  線を用いて比較実験を行なっている<sup>12)</sup>。その結果、混合ガス中での吸収エネルギーの差による比例モードからの自己消滅ストリーマモードへの遷移点におけるアバランシュサイズ (Avalanche size: 電子なだれの大きさを表わし、初期電離電荷数  $\times$  ガス増幅率で与えられる。) に変化はないとしている。

我々は自己消滅ストリーマモードの研究の目的を自己消滅ストリーマの発生メカニズムの解明とこのモードの位置検出計数管への応用<sup>17)18)</sup> においていることから、上述の実験を踏まえて、次の 4 点について系統的に自己消滅ストリーマに関する基礎データの収集を行なった。1) エチルアルコールおよびメチラール等の第 2 種消滅ガス含有量は、温度を制御しない限り周囲の温度変化によって変化する。従って、実際の装置に自己消滅ストリーマモードを利用することを想定すると、温度変化に伴う自己消滅ストリーマモードへの影響を知る必要がある。そこで、室温付近でエチルアルコールを添加し量を変化させた場合の自己消滅ストリーマへの応答について調べた。2) 自己消滅ストリーマを安定にさせるためには、陽極心線は比較的大いものが必要であると考えられ、通常この種の実験には 50

$\mu\text{m}$  から  $200 \mu\text{m}$  の心線が使われてきた。抵抗心線型ガス計数管で位置検出を行ない、良好な分解能を得るには陽極心線の抵抗値を大きくする必要がある。ところが自己消滅ストリーマが安定に働くとされている太い心線を用いたのでは、位置分解能が劣化することになるため、現在まで自己消滅ストリーマの発生が報告されていない細い心線によって、この自己消滅ストリーマの発生が実現するかどうかを調査した。3) 荷電粒子にたいする自己消滅ストリーマの発生メカニズムの研究は、初期電子密度の影響を調べる必要がある為、入射エネルギーを変え自己消滅ストリーマの発生状況を調べた。4) 従来計数管ガスとしてよく使用されるアルゴン+メタン混合ガスに対する自己消滅ストリーマモードに関する系統的な実験は行なわれていない。我々はこの混合ガスにエチルアルコールを添加し自己消滅ストリーマ発生状況について調べた。又、他の消滅ガス(二酸化炭素, プロパンおよびイソブタン)を使用した場合の例についても言及する。

2. 実験装置

本実験に使用した実験装置の構成を Fig. 1 に示す。装置は、ガス計数管、混合ガス供給装置、信号処理システムおよび軟X線発生装置から構成されている。必要な混合ガスを混合供給装置で作成しこれをガス計数管に供給する。又、軟X線発生装置で必要なエネルギーのX線を発生させガス計数管にX線を入射させる。ガス計数管から得られた信号は信号処理システムによって処理される。次に各部の説明を行なう。

2.1. ガス計数管

Fig. 2 に本実験に使用したガス計数管の構造図を示す。このガス計数管には高電圧を印加し易いように円筒型のカソード(真鍮製で内径  $12 \text{ mm}$ 、長さ  $100 \text{ mm}$ )を採用した。陽極心線は円筒型カソードの両端のテフロン製の円板の中心に固定されている。円筒型カソードの両端付近にはガスの導入口と排気口が備えてある。又カソードの中央部および端に直径  $2 \text{ mm}$  のX線入射用の窓を設けた。この窓にはアルミニウムを蒸着させた  $6 \mu\text{m}$  のマイラーを貼った。

陽極心線には実験の目的により、直径  $10 \mu\text{m}$ 、 $20 \mu\text{m}$ 、 $25 \mu\text{m}$ 、 $50 \mu\text{m}$ 、 $80 \mu\text{m}$ 、 $100 \mu\text{m}$ 、 $125 \mu\text{m}$ 、 $150 \mu\text{m}$  および  $200 \mu\text{m}$  の9種類の心線を用いた。 $80 \mu\text{m}$  および  $150 \mu\text{m}$  の陽極心線には、マンガン線を用いた。それ以外の直径のものにはステンレス鋼線を用いた。

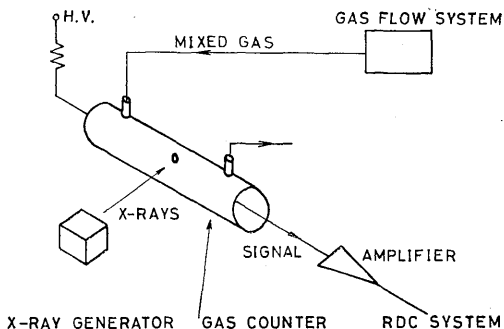


Fig. 1 Diagram of the experimental system.

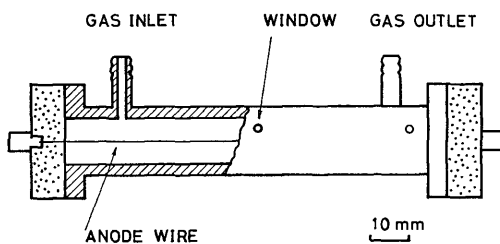


Fig. 2 Single wire gas-counter.

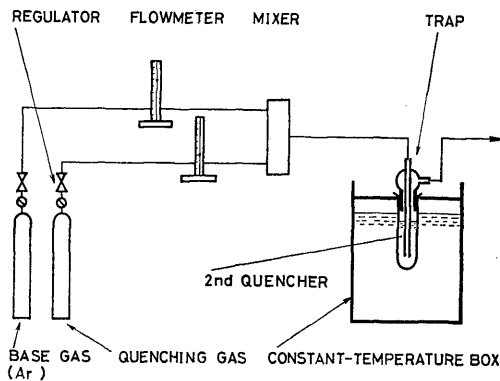


Fig. 3 Gas flow system used in the experiments.

2.2. 混合ガス供給装置

Fig. 3 に本実験に用いた混合ガス供給装置の模式図を示す。まずアルゴンガスと消滅ガスをそれぞれ調整器を通すことによって  $1.3 \text{ atm}$  に減圧し、体積流量計でガスの混合比を決め、混合器でアルゴンガスと消滅ガスの混合を行なった。この混合ガスは、恒温槽 ( $0^\circ\text{C}$  から  $50^\circ\text{C}$  までの恒温を得ることが可能) 中に入れたトラップ中を通過することによってトラップ

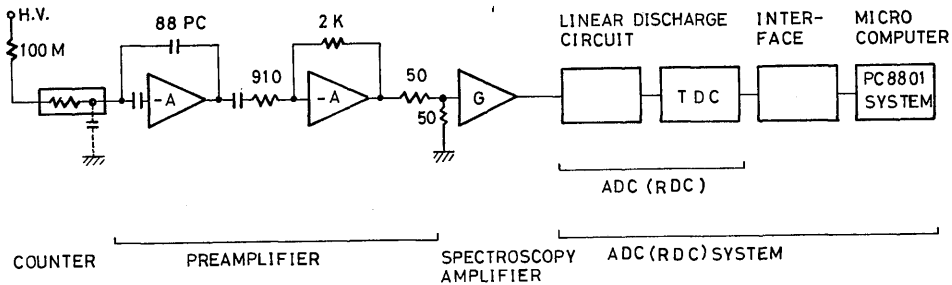


Fig. 4 Electronic circuit for the measurements.

の中の第2種消滅ガスと混合する。第2種消滅ガスの混合比は、恒温槽の温度を調整することで変化させている。

### 2.3. 信号処理システム

Fig. 4 に信号処理システムの構成を示す。陽極心線に高電圧を印加し、X線をガス計数管に入射させることによって陽極心線から信号が得られる訳であるが、この信号はまず電荷有感型プリアンプで増幅される。電荷信号は 88 pF のフィードバックコンデンサーと 100 MΩ の抵抗で積分し、70 μsec の時定数で微分した後に増幅している。プリアンプで増幅された信号はスペクトロスコピアンブ (CANBERRA 2010) で、1 μsec の整形時定数で整形、増幅した後当研究室で開発した RDC システム<sup>19)</sup> によって処理される。

### 2.4. 軟X線発生装置

ガス計数管の開発に際して、その動作メカニズムの解明および校正テストには適当な線源が必要となるが、従来この目的には主に <sup>55</sup>Fe からのX線が用いられてきた。それはX線によるテストで良好な結果が得られれば、軽荷電粒子の検出器として十分使用できるという経験があり、ガス計数管の動作メカニズムを知る上で極めて有用な線源であるからである。しかし、1) 強度が弱い、2) 付与エネルギーが単一である、といった問題点も合わせ持っている。

このような問題点を改善する目的で Fig. 5 に示す X線発生装置を開発した。<sup>20)21)</sup> この装置は陰極、第1陽極、第2陽極およびターゲットで構成されている。陰極には直径 7 μm の炭素ファイバーを数10本束ねたものを用い、第1陽極に 1 kV 前後の電圧を印加することで電子の強電界放出を計っている。第1陽極の前に更に第2陽極を配置することにより Butler 型の電子銃<sup>22)</sup> を形成し電子ビームの収束性を良くしている。ターゲットはビームラインに対して 45° 傾けて置き、

X線をビームラインに直角の方向からマイラー膜を通して取り出した。ターゲットの材料としては Al, Ti, Fe および Ni を用い、必要なエネルギーに応じてターゲット材料の選択を行なった。

真空は 600 l/sec の油拡散ポンプで引き、 $1 \times 10^{-6}$  Torr 付近の真空度でこの装置を運転した。通常、50 μA (ターゲット上で) の電子をターゲットに衝撃させてX線を発生させ、マイラー膜を通して真空中から空气中に導き、更にガス計数管にX線を入射させている。しかし、このX線には特性X線だけでなく連続X線も含まれる為、適当な空気層と 20 μm の厚さの Ti と 20 μm の Ni を吸収材として使用することにより準単色のX線を作り実験に用いた。

## 3. 実験結果と考察

### 3.1. 第2種消滅ガスの自己消滅ストリーマに与える影響

ガス計数管の陽極心線に直径 50 μm のステンレス鋼線を用い、入射X線のエネルギーを 4.5 keV に設定して、第2種消滅ガス (ここではエチルアルコールを採用した。) のストリーマ発生に与える影響について調べた。アルゴンおよびメタンガスの流量をそれぞれ 70 cc/min および 30 cc/min とし、アルゴンの混合ガスを作り、恒温槽の温度を 0°C, 5°C, 14°C および 29°C と変えることで、エチルアルコールの含有量を変化させた。その結果エチルアルコールの含有率はそれぞれ 1.7%, 2.4%, 4.0%, 5.6% および 9.2% となった。又、エチルアルコールを含まない場合についても比較の為に実験を行なった。

Fig. 6 は心線印加電圧の関数として表わしたアパラシュサイズを電荷量 (pC) で表わしたものでパラメータをエチルアルコール含有率にとっている。図中の矢印は 50% 遷移電圧  $V_{50}$  を表わす。ここで

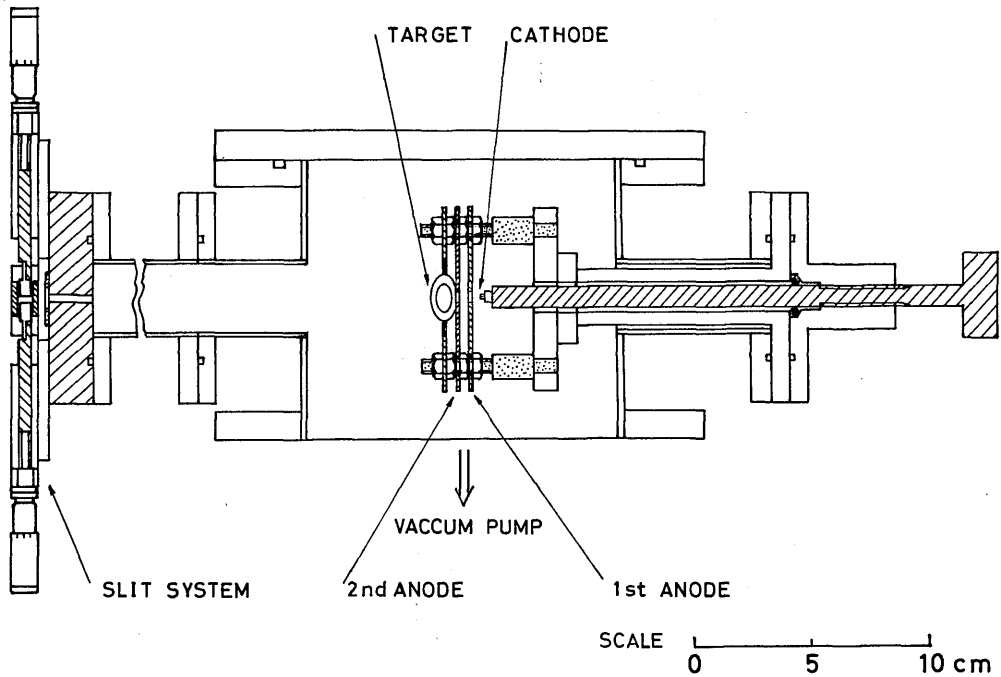


Fig. 5 Ultra soft X-ray generator.

Table 1. Avalanche size at the 50 %-transition voltage for different concentrations of ethyl alcohol.

Concentration of C <sub>2</sub> H <sub>5</sub> OH (%)	Temperature (°C)	50 %-Transition voltage V <sub>tr</sub> <sup>i</sup> (kV)	Avalanche size at V <sub>tr</sub> <sup>i</sup>		Q <sub>tr</sub> <sup>i</sup> /Q <sub>tr</sub> <sup>r</sup>
			Q <sub>tr</sub> <sup>r</sup> (pC)	Q <sub>tr</sub> <sup>i</sup> (pC)	
0	—	2.45	—	—	—
1.7	0	2.45	14.5	14.5	10
2.4	5	2.45	13	103	7.9
4.0	14	2.45	12	88	7.3
5.6	20	2.44	10.4	70	6.7
9.2	29	2.43	10	63	6.3

50% 遷移電圧とは、陽極心線から得られる全信号数に対して自己消滅ストリーマへ遷移する信号の数が半数になる時の印加電圧を言う。又このとき、比例モードにある信号と自己消滅ストリーマモードにある信号が共存している訳であるが、比例モードにある信号の大きさを  $Q_{tr}^i$  と表わし自己消滅ストリーマモードにある信号の大きさを  $Q_{tr}^r$  と表わすことにする。この図に特徴的なことは次の点である。1) 通常のプロポーション領域から更に電圧を印加するとアバランシュサイズが飽和傾向を示し始める点があるが、その点の印加電圧およびアバランシュサイズともにアルコール含有量が減少するにつれて大きくなる。2) アバランシュサイズ

はエチルアルコールの含有率の変化に対して比例領域ではエチルアルコール含有率の変化の影響が大きくなる。更に自己消滅ストリーマモードのアバランシュサイズはこの影響を更に強く受ける。

本実験を通して得られた50% 遷移点における電圧  $V_{tr}^i$  およびアバランシュサイズ  $Q_{tr}^r$ ,  $Q_{tr}^i$  等を Table 1 に表わし、これを更に Fig. 7 に表わした。Fig. 7 (a) は遷移電圧  $V_{tr}^i$  ( $V_{tr}^r$ ) のエチルアルコール依存性を示すもので、図中の白丸(○)は比例モードから自己消滅ストリーマモードへ遷移するものうちダブルストリーマへ遷移する信号の数が50%を含める点の電圧  $V_{tr}^r$  をエチルアルコールの含有率の関数とし

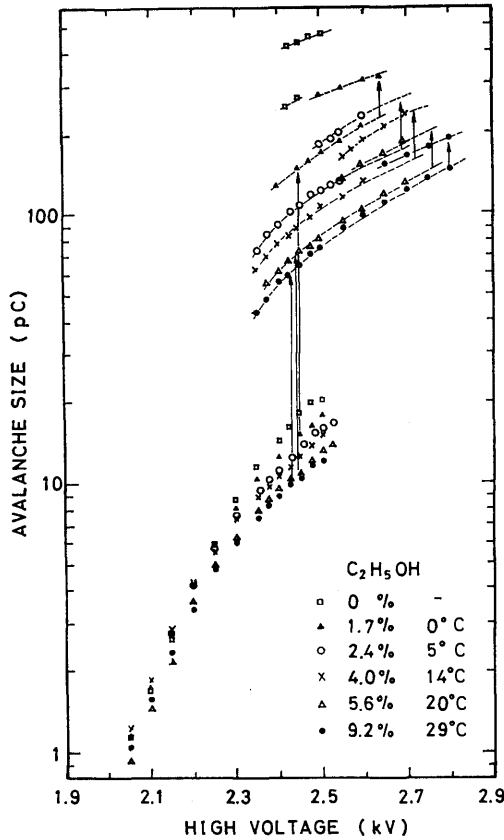


Fig. 6 Measured avalanche size as a function of the anode high voltage for different concentration of ethyl alcohol. The 50%-transitions for the X-rays occur at a position indicated by the arrow.

て表わしたものである。この図から次のことが読み取れる。1) エチルアルコールを含有しない場合は、 $V_{tr}^d$  と  $V_{tr}^s$  がほとんど一致する。つまり、比例モードから自己消滅ストリーマモードへ遷移するものとダブルストリーマへ遷移するものがほとんど同時に表われる。2) エチルアルコールの含有率が多くなるにつれて  $V_{tr}^d$  は、ほぼ一定に保たれるが  $V_{tr}^s$  はしだいに大きくなる。このことはエチルアルコールの含有率が增大することにより、ダブルストリーマの発生が抑制されることを意味している。Fig. 7 (b) は 50% 遷移点における比例モードおよび自己消滅ストリーマモードのアバランシュサイズの変化を示す。エチルアルコール含有率が 3% 付近まではアバランシュサイズの変化

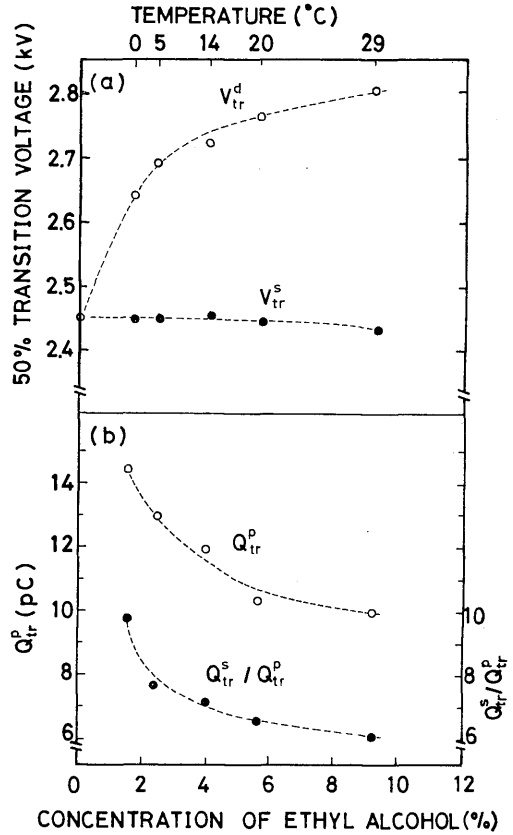


Fig. 7 50%-transition voltage  $V_{tr}^s$  and the avalanche size at  $V_{tr}^s$  as a function of the concentration of ethyl alcohol.

は急激であるがそれ以上エチルアルコールの含有率を増加してもアバランシュサイズの大きな変化はない。

これらの実験結果から第2種消滅ガス（エチルアルコール）の役割は次に述べることであると考えることができる。まず自己消滅ストリーマの発生メカニズムの定性的な解釈<sup>13)</sup>について説明する。通常の比例領域から更に心線印加電圧を上げてゆくと、電子なだれの生成がそれまでと異なる様相を呈して、アバランシュサイズの飽和現象が表われる。これは、陽極心線付近の電子に比べてドリフト速度の遅い陽イオンが電子なだれの後方にとり残されこの空間電荷によってその付近の電界が弱められ、実効的な心線印加電圧が下がる為と考えられる。このようにアバランシュサイズの飽和現象が表われると陽イオンと先行する電子なだれの間に電界の弱められた空間ができエネルギーの小さな

電子が存在するようになり、この電子と陽イオンの再結合が生ずるようになる。その結果再結合による光子が生成され、光子による電離がふたたび起る。電子などれの後方のイオン群の端に生じた光電離による電子は、イオン群に向かってドリフトし新しいなだれを形成する。この現象が連続的に発生することによりストリーマが陰極に向けて生長する。しかし陰極近くで電界が急激に弱まるためストリーマの生長が止まる。Fig. 6 および7から分かるようにエチルアルコールは、自己消滅ストリーマモードに大きな影響を与えている。このことから、上述した再結合による飛程の長い光子を吸収する働きをエチルアルコールが担っているものと考えられる。又、ダブルストリーマの発生を抑える働きを持っていることが分る。

3.2. 陽極心線径の自己消滅ストリーマ発生に与える影響

陽極心線径を変えて、自己消滅ストリーマの発生の変化について調べた。本実験に使用した混合ガスは68% Ar+26% CH<sub>4</sub>+6% C<sub>2</sub>H<sub>5</sub>OH で、入射X線のエネルギーは4.5 keVとした。又、陽極心線には直径10 μm, 20 μm, 25 μm, 50 μm, 80 μm, 100 μm, 125 μm, 150 μm および200 μm の9種類を用いた。

Fig. 8 に実験結果を示す。従来自己消滅ストリーマの発生は、比較的太い陽極心線に限られるとされてきたが、本実験では25 μm および20 μm の直径の陽極心線でもはっきり自己消滅ストリーマが起ることが観測された。Fig. 9 は50%遷移電圧付近でのアバランシュサイズの波高分布を示す。Fig. 8 あるいはFig. 9 から明らかなように、心線径が細くなるにつれて、比例モードと自己消滅ストリーマモードのアバランシュサイズの差が小さくなる傾向にある。その為25

μm 位の細い心線になると比例モードと自己消滅ストリーマモードのそれぞれの出力信号が重なり合うようになる。このような理由で、細い心線で自己消滅ストリーマモードの信号が見落されていた可能性もある。

陽極心線径が10 μm の場合、Fig. 8 および Fig. 9 から自己消滅ストリーマが発生したかどうか判断し難いところであるが、心線印加電圧が1.85 kV 付近からアバランシュサイズの曲線の傾向が異なってきたこと、又比例モードと自己消滅ストリーマモードのアバランシュサイズの差が他の心線径の場合の傾向から類推して非常に小さいと考えられること等から、この場合も自己消滅ストリーマモードが生じているものと考えられる。

Fig. 8 から50%遷移電圧  $V_{tr}^s$  およびその電圧におけるアバランシュサイズを読み取るとともに50%遷移電圧における各心線表面での電界の強さを計算しTable 2 にまとめた。更にこれらの結果をFig. 10 に表わした。この図から、陽極心線径と50%遷移電圧  $V_{tr}^s$  とはほぼ比例関係にあることおよび陽極心線径  $d$  と50%遷移電圧における  $Q_{tr}^s$  の間に  $Q_{tr}^s = ce^d$  なる関係があることが分かる。

Raether は一定の電荷量(電離指数約20)に達するとストリーマへの遷移が起るとしているが<sup>9)</sup>、非一様電界中では心線径が細くなると遷移が起る点での電荷  $Q_{tr}^s$  が急激に大きくなる。又、Meek は電子などれ頭部の正イオン雲の中に、気体中の光電離作用により発生した電子を引き入れるだけの空間電荷電界が発生すること、つまり正イオン空間電荷電界と外部電界とが等しくなることがストリーマへ遷移する条件であるとしている<sup>6)</sup>。しかし本実験では心線径が細くなると心線表面上の電界が大きくなる傾向にある。

Table 2. Avalanche size and the electric field at the 50%-transition voltage for different anode diameters.

Anode diameter (μm)	50% transition voltage $V_{tr}^s$ (kV)	Avalanche size at $V_{tr}^s$		$Q_{tr}^s/Q_{tr}^p$	Electric field on the anode wire at $V_{tr}^s$ $\times 10^5$ (V/cm)
		$Q_{tr}^p$ (pC)	$Q_{tr}^s$ (pC)		
10	—	—	—	—	—
20	—	—	—	—	—
25	2.22	—	59	3.0	2.88
50	2.46	19.5	72	6.4	1.79
80	2.68	11.2	102	10.7	1.34
100	2.79	9.5	100	11.2	1.17
125	2.97	8.9	115	13.9	1.04
150	3.14	8.3	130	16.3	0.954
200	3.37	8.0	155	22.1	0.823



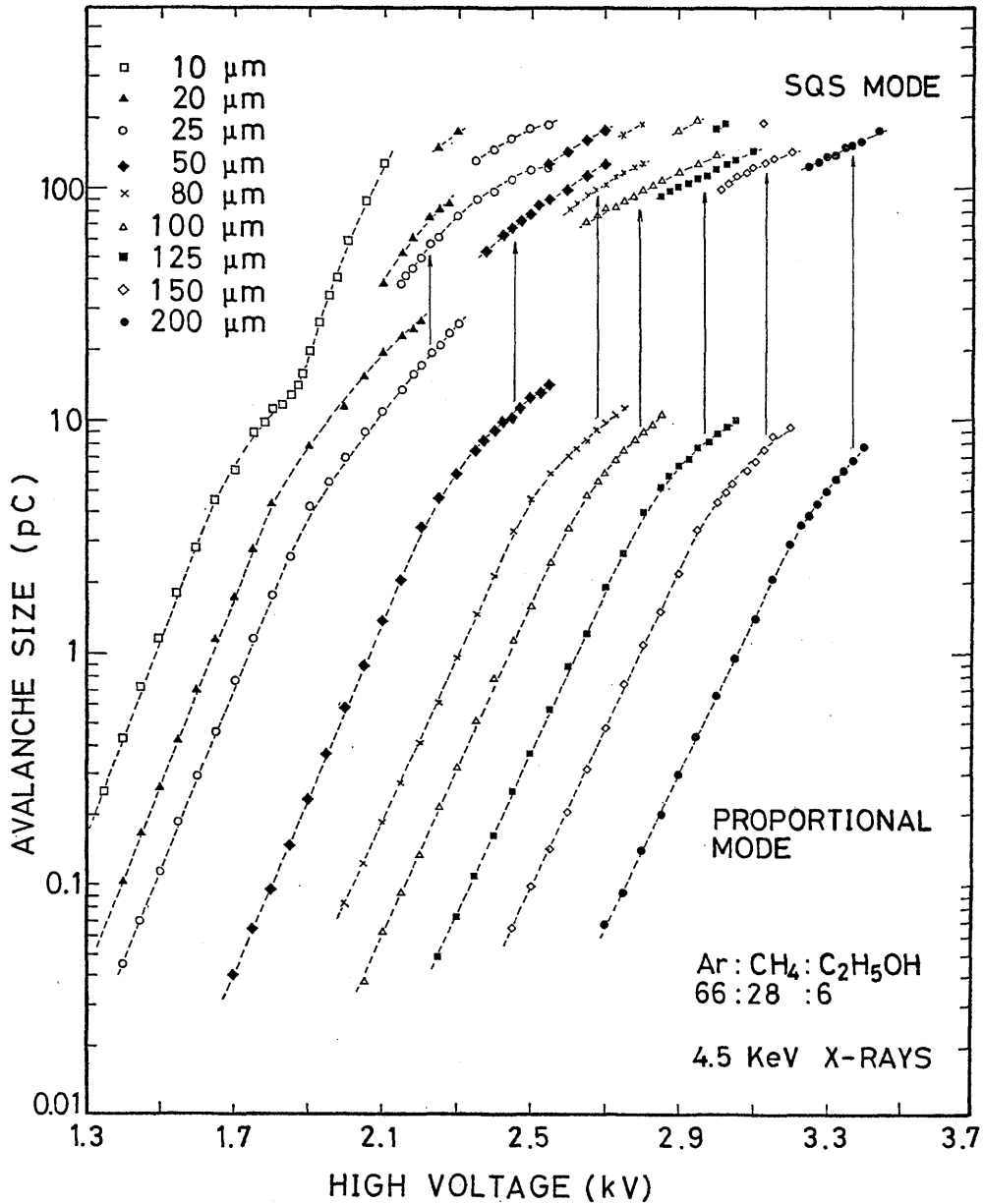


Fig. 8 Avalanche size for various anode diameters.

Raether および Meek の理論は、ほぼ正しいと考えられているが、我々の実験結果は細い心線径の場合に彼らの理論に当てはまらない。しかし、心線が細くなるにつれて電子なだれが心線に廻り込み易くなる<sup>23)</sup>ということを経験すれば、定性的には細い心線の場合の実験結果もほぼ彼らの理論で解釈できる。つまり、

心線が細くなるにつれて心線への電子なだれの廻り込みが大きくなり、心線印加電圧を上げることによって電荷がある値に達しても、陽イオンによる空間電荷電界がそれほど大きくなり、更に電圧を上げなければストリーマへの遷移が起らないものと解釈される。

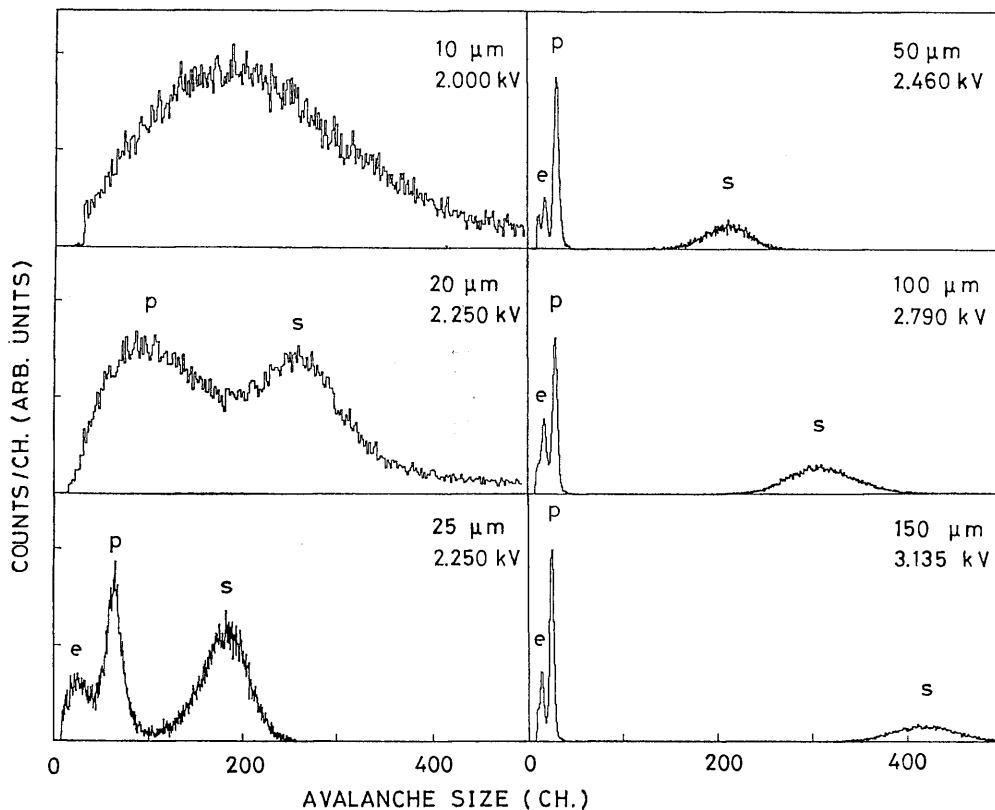


Fig. 9 Variation of the avalanche size for various anode diameters.

3.3. 入射エネルギーの自己消滅ストリーマ遷移に与える影響

直径 50 μm の陽極心線を用い、ガスの混合比を 66% Ar + 28% CH<sub>4</sub> + 6% C<sub>2</sub>H<sub>5</sub>OH とし、ガス計数管への入射エネルギーを 1.7 keV, 3.7 keV, 5.2 keV, 6.6 keV および 7.6 keV と変化させることによって、入射エネルギーがストリーマに与える影響について調べる実験を行なった。

その結果を Fig. 11 に示す。Alekseev 等<sup>12)</sup> は入射エネルギーが異なる場合でも同一の電荷量に達すると遷移が起るとしているが、我々の精密な実験から同一電荷量で 50% 遷移が起るものでないことが明らかになった。それと同時に、同一電圧で起らないことも分かった。Fig. 11 の実験結果を Table 3 に数値データとして表わし、これを Fig. 12 に示した。この図から 50% 遷移電圧における比例モードのアバランシェサイズ  $Q_{ir}^p$  が、我々の測定したエネルギー範囲で入射 X 線のエネルギーに比例することが分かる。

Table 3. Avalanche size at the 50% transition voltage for different X-ray energies

X-ray energy (keV)	50% transition voltage $V_{ir}^s$ (kV)	Avalanche size at $V_{ir}^s$		$Q_{ir}^p/Q_{ir}^s$
		$Q_{ir}^p$ (pC)	$Q_{ir}^s$ (pC)	
1.7	2.49	9.6	77	8.0
3.7	2.46	10.7	74	6.9
5.2	2.45	11.1	68	6.1
6.6	2.44	12.1	70	5.8
7.6	2.43	12.8	69	5.4

3.4. ガス混合比の自己消滅ストリーマ遷移に与える影響

Fig. 13 は陽極心線を 50 μm および X 線のエネルギーを 4.5 keV とし、消滅ガス (CH<sub>4</sub>) の量を変化させた場合のアバランシェサイズの電圧特性を示す。

Fig. 13 から 50% 遷移電圧におけるアバランシェサイズ等を読みとり Table 4 にまとめた。

メタン含有量が適度にある場合、混合比が異なっ

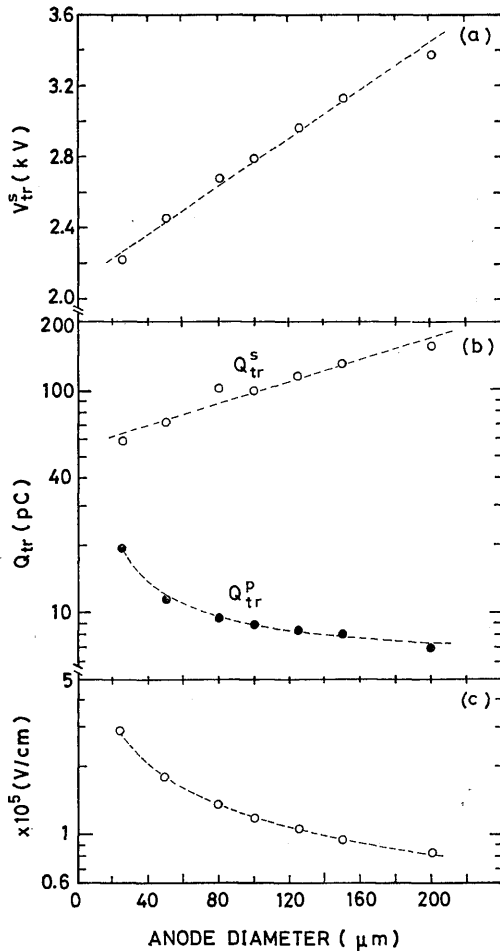


Fig. 10 50% transition voltage  $V_{tr}^s$ , the electric field and the avalanche size at  $V_{tr}^s$ , as a function of the anode diameter.

Table 4. Avalanche size at the 50% transition voltage for different gas mixtures.

Gas mixture Ar: CH <sub>4</sub> : C <sub>2</sub> H <sub>5</sub> OH	50%- transition voltage $V_{tr}^s$ (kV)	Avalanche size at $V_{tr}^s$		$Q_{tr}^p/Q_{tr}^s$
		$Q_{tr}^p$ (pC)	$Q_{tr}^s$ (pC)	
85 : 10 : 5	2.10	28	185	6.6
78 : 16 : 6	2.22	14	110	7.9
66 : 28 : 6	2.46	11.2	70	6.4
47 : 47 : 6	2.68	9.4	66	7.0
33 : 61 : 6	2.84	9.3	67	7.2
9 : 85 : 6	3.10	10.3	51	5.0

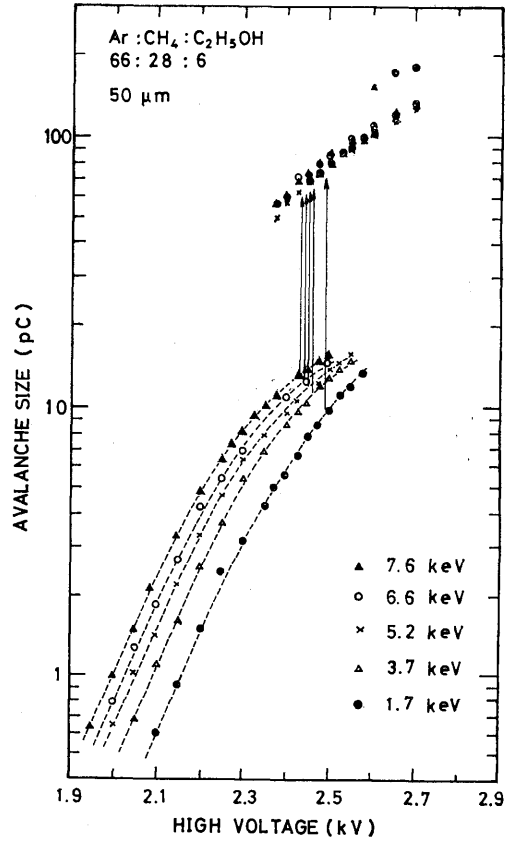


Fig. 11 Avalanche size for different incident X-ray energies.

も、50% 遷移電圧におけるアバランシュサイズに大きな変化は見られない。しかし消滅ガスを含まない混合ガスの場合には、印加電圧のわずかな増加によっても、アバランシュサイズの激しい変化が起り、自己消滅ストリーマ発生の有無は確認出来なかった。第2種消滅ガスの混合割合を変えても50%遷移電圧には、ほとんど変化を示さなかったが、消滅ガス(CH<sub>4</sub>)の量を変化させた場合には50%遷移電圧が大きく変化する。このことから消滅ガスと第2種消滅ガスとの間の働きに違いがあることが分かる。

Fig. 14 は消滅ガスにプロパン、イソブタンおよび二酸化炭素を使用した場合の実験結果を示す。又、Fig. 15 はアバランシュサイズの波高分布を示す。消滅ガスにプロパン、メタンおよび二酸化炭素を用いた混合ガスでは、比例モードおよび自己消滅ストリーマモードともに同じようにアバランシュサイズの変化を

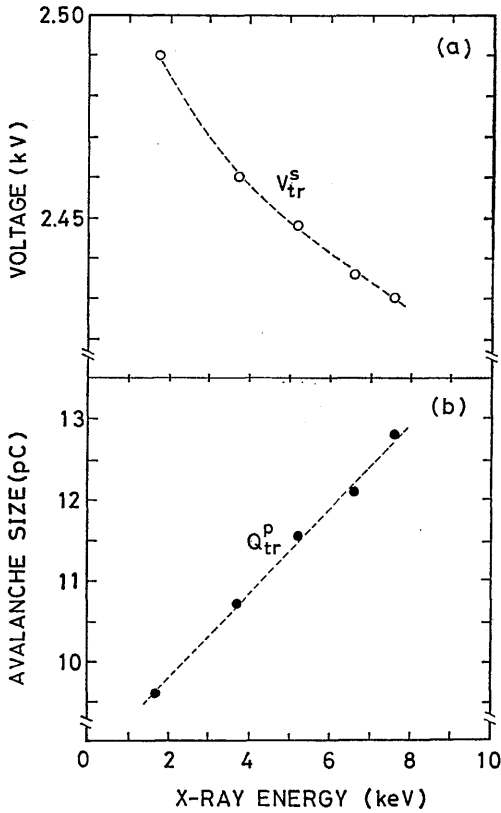


Fig. 12 50 %-transition voltage  $V_{tr}^s$  and the avalanche size at  $V_{tr}^s$  as a function of the incident X-ray energy.

示している。ところが、50%遷移電圧付近の電圧で得られたアバランシュサイズの波高分布は、消滅ガスの種類により異なる傾向を示している。消滅ガスにメタンを用いた場合には、比例モードのピークと自己消滅ストリーマモードのピークがはっきり分離しているが、プロパン、二酸化炭素およびイソブタンを消滅ガスに用いた場合も比例モードのピークのそれが自己消滅ストリーマモードのピークに連続的につながっていることが分かる。又、メタンを消滅ガスに用いた時が、50%遷移電圧における自己消滅ストリーマモードのアバランシュサイズが最も大きくなる。これらのことから、自己消滅ストリーマモードを用いた位置検出を考えると、消滅ガスにはメタンを選択するのが好ましいものと考えられる。

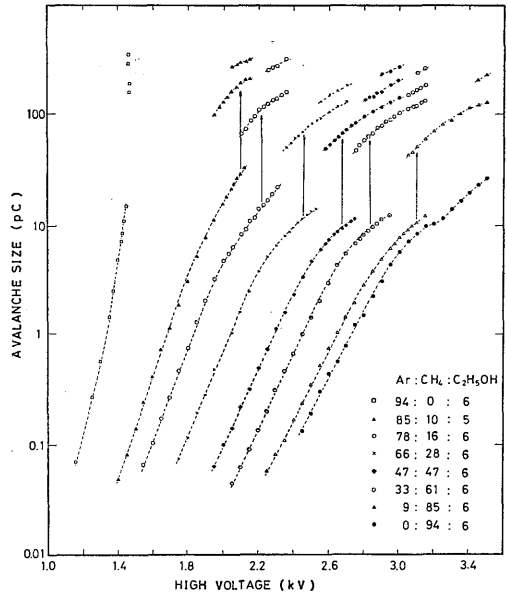


Fig. 13 Avalanche size for Ar+CH<sub>4</sub>+C<sub>2</sub>H<sub>5</sub>OH mixtures in different volume proportions.

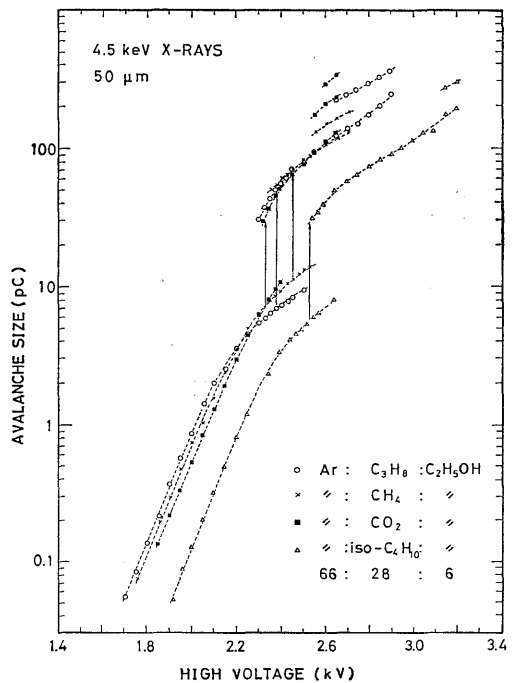


Fig. 14 Avalanche size for different gas mixtures.

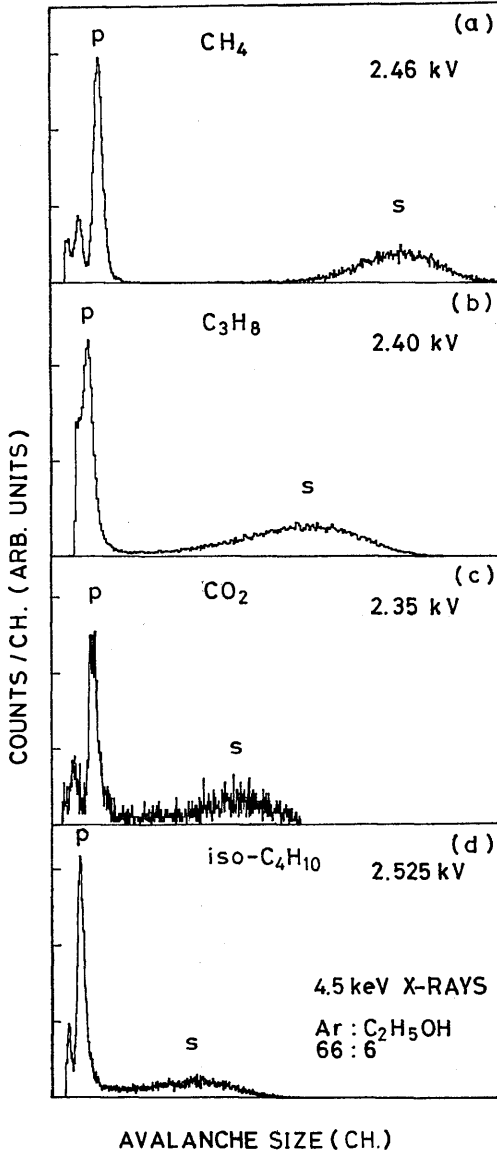


Fig. 15 Variation of the avalanche size for various quenching gases.

4. 結 論

単心線型ガス計数管における自己消滅ストリーマモードへの、第2種消滅ガス(エチルアルコール)、陽極心線径、入射エネルギーおよび混合比に対する影響に関する一連の実験を行ない次の結論を得た。

1) 第2種消滅ガス(エチルアルコール)は、比例モードよりも自己消滅ストリーマモードへ与える影響

が非常に大きく、自己消滅ストリーマを安定に発生させる。つまりエチルアルコールにはダブルストリーマの発生を抑える働きがあることが明らかになった。

2) 室温付近の温度で温度変化が生じてもストリーマ発生に与える影響はそれほど大きくない。従って自己消滅ストリーマを位置検出に利用する際、アルコールの温度コントロールの必要がなく使い易い。

3) 現在まで自己消滅ストリーマは比較的太い心線(50 μm以上)で発生するものと解釈されていたが、直径20 μmの陽極心線でも自己消滅ストリーマの発生が確認された。

4) 心線径が変化する場合、50%遷移電圧でのアバランシュサイズ  $Q_{tr}$  および心線表面での電界強度は一定にならないことが明らかとなった。

5) Alekseev等は、入射エネルギーが異なる場合でも同一電荷量に達するとストリーマへの遷移が起るとしたが、我々の実験から同一電荷で50%遷移が起らないことが分かった。又、自己消滅ストリーマのアバランシュサイズには、入射エネルギーの影響にほとんど受けないことが明らかとなった。

謝 辞

本実験を遂行するに当って助言及び御協力を頂いた工学部の隈部功教授及び柴武二氏に感謝いたします。

References

- 1) H. Geiger and W. Müller: Phys. Zt. 29 (1928) 839.
- 2) H. Geiger and O. Klemperer: Z. Phys. 49 (1928) 753.
- 3) M. E. Rose and S. A. Korff: Phys. Rev. 59 (1942) 850.
- 4) S. A. Korff: Electron and Nuclear Counters (Van Nostrand, 1955) p. 13.
- 5) Raether: Electron Avalanches and Breakdown in Gases (Butterworth, London, 1964)
- 6) J. M. Meek: Phys. Rev. 57 (1940) 722.
- 7) L. B. Loeb: Phys. Rev. 74 (1948) 210.
- 8) R. C. Fletcher: Phys. Rev. 76 (1949) 1501.
- 9) S. Brehin, A. Diamant Berger, G. Marel, G. Tarte, R. Turlay, G. Charpak and F. Sauli: Nucl. Instr. and Meth. 123 (1975) 225.
- 10) G. Battistoni, E. Iarocci, M. M. Massai, G. Nicoletti, Nucl. Instr. and Meth. 164

- (1979) 57.
- 11) G. D. Alekseev, D. M. Khazins and V. V. Kruglov : Lett. Nvov. Cim. 25 (1979) 157.
  - 12) G. D. Alekseev, N. A. Kali ina, V. V. Karpukhin, D. M. Khazins and V. V. Kruglov : Nucl. Instr. and Meth. 177 (1980) 385.
  - 13) M. Atac, A. V. Tollestrup and D. Potter : Nucl. Instr. and Meth. 200 (1982) 345.
  - 14) E. P. de Lima, M. Salets S. C. P. Leite, A.J.P.L. Policardo and M.A.F. Alves : IEEE Trans. Nucl. Sci. NS-30, No. 1 (1983) 90.
  - 15) T. Mulera, A. Del Guerra, V. Perez-Mendez, G. Schwartz : IEEE Trans. Nucl. Sci. NS-30, No. 1 (1983) 355.
  - 16) S. Margulies : IEEE Trans. Nucl. Sci. NS-31, No. 1 (1984) 141.
  - 17) M. Atac and F. Bedeschi : IEEE Trans. Nucl. Sci. NS-29, No. 1 (1982) 396.
  - 18) H. Kametani, T. Sakae, K. Komatsu, H. Ijiri and M. Matoba : Nucl. Instr. and Meth. 225 (1984) 113.
  - 19) M. Matoba, H. Kurokawa, T. Sakae, H. Ijiri, H. Kametani and K. Komatsu : Nucl. Instr. and Meth. 224 (1984) 173.
  - 20) A. W. Kofschoten, H. W. Vanderven and A. Buijs : Nucl. Instr. and Meth. 188 (1981) 477.
  - 21) H. Ijiri et al. : to be published.
  - 22) J. W. Butler : Digital Computer Techniques in Electron Microscopy 6th Int. Cong. Electron Microscopy (1966)
  - 23) H. Okuno, J. Fischer, V. Radeka and A. H. Walenta : IEEE Trans. Nucl. Sci. NS-26, No. 1 (1979) 160.
- ~~~~~