

ノート

# 非破壊検査装置のための放射線検出器の開発

小宮 一毅<sup>\*1)</sup> 藤原 康平<sup>\*1)</sup> 小林 丈士<sup>\*1)</sup>

## Development of radiation detectors for non-destructive test equipment

Kazuki Komiya<sup>\*1)</sup>, Kohei Fujiwara<sup>\*1)</sup>, Takeshi Kobayashi<sup>\*1)</sup>

キーワード : ガス電子増幅器, 放射線検出器

Keywords : Gas Electron Multiplier, Radiation detector

### 1. はじめに

ガス電子増幅器 (以下 GEM) は 1997 年に欧州原子核研究機構 (CERN) の F.Sauli によって開発されたマイクロパターンガス検出器の一つである<sup>(1)</sup>。現在はまだ素粒子物理実験などの検出器のみに使用されているが, X 線,  $\beta$  線や中性子線等を検出することが可能なため放射線を用いた非破壊検査装置等への応用が期待される。

図 1 に GEM の構造を示す。GEM は Cathode 電極, GEM 電極, Readout Pad からなる。GEM 内部は電離ガスとして希ガスが充填されている。荷電粒子が検出器を通過する際, 充填されている希ガスと衝突, 電離した電子をアバランシェ効果によって増幅し Readout Pad で電荷として検出する。

この中の GEM 電極は, 絶縁層にポリイミド (PI) や液晶ポリマー (LCP) といった有機材料が使われておりプリント基板のプロセスで生産が行われ, 安価に大型のものが生産されている。

しかし, 有機材料を絶縁層に用いた GEM は使用中に発生する放電で絶縁層内に炭化導電路を形成する場合があります。電極間が短絡する。このため, 耐久性に課題があった。

我々は以前, 絶縁材料の耐アーク放電特性を向上することで耐放電性を付与できると考え, テフロン (PTFE) を絶縁層に用いて実験をおこなった<sup>(2)</sup>。この PTFE-GEM は放電で故障することはなかった。しかし, テフロンの加工が難しいことや電極形成が難しいといった問題があった。

そこで, 低温焼結セラミックス (LTCC) と呼ばれるセラミックスを用いて GEM 電極を試作した。LTCC は, 焼結前ではやわらかく加工性に優れる。そのため抜き加工で孔を作ることができる。またセラミックのため耐アーク放電に優れる材料である。

### 2. 実験

#### 2.1 材料選定 放電による絶縁層の炭化導電路の形成

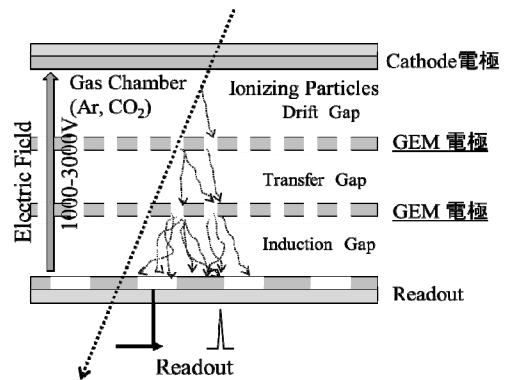


図 1. GEM の模式図

は耐アーク放電特性で評価が可能である。表 1 は, GEM によく用いられる材料と LTCC の耐アーク放電特性である。

LCP, PI と比べ LTCC は耐アーク放電特性に非常に優れる。これは, LTCC が無機材料であり, 炭素を含まないためである。また, LTCC は焼結前では柔軟性に富み, 抜き加工で孔をあけることが可能である。我々はこれらの長を考慮し, LTCC を絶縁層として用いることとした。

表 1. 各材料の耐アーク放電特性

	LTCC	LCP	PI
耐アーク放電特性 (秒)	>300	186	135
耐絶縁性 (kV/mm)	>16.7	37	230

#### 2.2 構造 図 2 に本研究で試作した LTCC-GEM 電極の構造を示す。

孔径とピッチは従来の GEM と同じ開口率とするため, 孔径 100  $\mu\text{m}$ , ピッチ 200  $\mu\text{m}$  とした。また, 絶縁材料の厚みは取り扱いやすさを考慮し, 厚み 100  $\mu\text{m}$  とした。

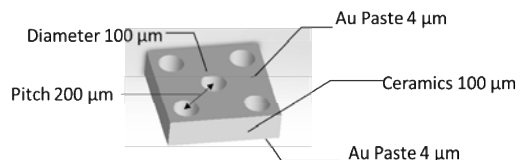


図 2. GEM 電極の模式図

### 3. 結果

**3.1 評価装置** 試作した電極について、増幅率、耐放電特性の評価を行った。評価装置を図3に示す。ガスはAr/CO<sub>2</sub>ガス（混合比70%/30%）を用いた。また、放射線源には<sup>55</sup>Fe標準放射線源を用いた。Cathode電極となるDrift planeとGEM間を5.5 mm、GEMとReadout Pad間を1 mmとした。Drift領域の電場E<sub>d</sub>は1.5 kVcm<sup>-1</sup>とした。測定はGEM電極間電圧ΔV<sub>GEM</sub>を変化させたときの放電回数と増幅率である。また、比較として市販されているLCP-GEMをベンチマークとして用いた。

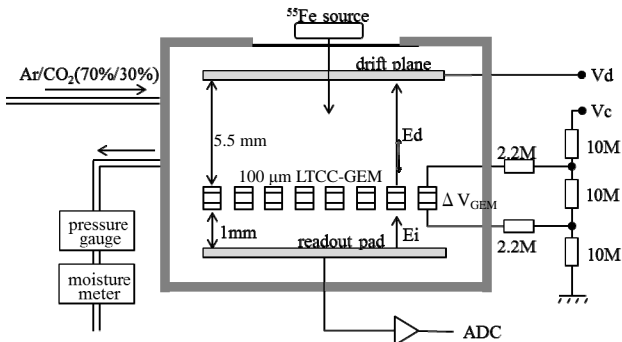


図3. 評価装置

**3.2 耐放電特性** 図4に放射線3000カウント内に発生した放電回数を示す。LCP-GEMはΔV<sub>GEM</sub>が500~680 V間は放電がない。

ΔV<sub>GEM</sub>が720 Vになると放電により電極間は短絡した。一方、LTCC-GEMはΔV<sub>GEM</sub>が500~680 V間、放電が発生したが短絡しない。今回使用した電源装置の出力限界となる、ΔV<sub>GEM</sub>=750 VでもLTCC-GEMは短絡が起こることはなかった。

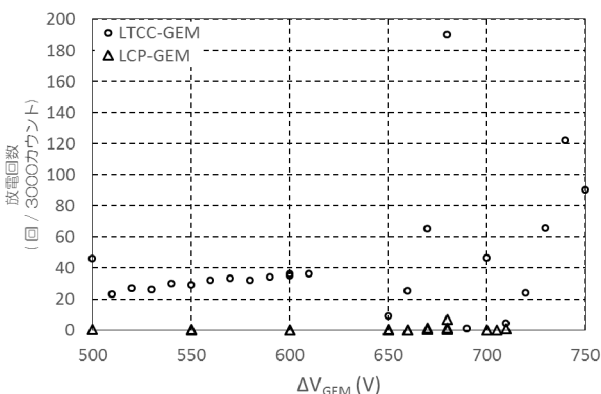


図4. 耐放電特性グラフ

**3.2 増幅率** 増幅率は、以下の式を用いて算出した。

$$G_{eff} = Const \times \frac{S_{mean}}{q_e \cdot n_e}$$

S<sub>mean</sub>は、検出された波高値のADCチャンネル数であり、

q<sub>e</sub>は電荷量(1.602×10<sup>-19</sup> C)である。また、n<sub>e</sub>はガス中での電離電子の個数を示す。Ar/CO<sub>2</sub>ガス(70%/30%)中で<sup>55</sup>Fe放射線源を用いた場合の電離電子数は約210個であることが知られている<sup>(3)</sup>。Constは装置の校正で得られた値である。

図5にΔV<sub>GEM</sub>を変化させたときの増幅率を示す。LCP-GEMとLTCC-GEMで増幅率曲線は同じである。LTCC-GEMはΔV<sub>GEM</sub>を700 V以上に上昇させてもGEM電極間で短絡が起こらないためΔV<sub>GEM</sub>=750 Vの時、2万倍以上の増幅率を得る。

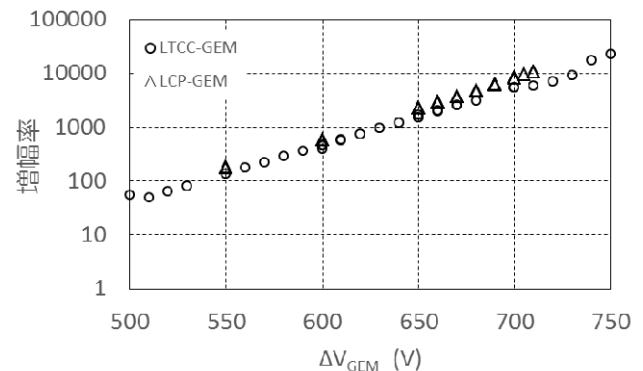


図5. 増幅率特性グラフ

### 4. まとめ

LTCCを用いて耐放電特性に優れるGEM電極を開発した。LTCC-GEMの性能は従来使用されているLCP-GEMと比較し、増幅率は同等であり耐放電特性に優れる。このためGEMを使用する際、懸念される放電による短絡故障がない。このため従来に比べGEMの取り扱いが容易になると期待できる。

現状では、LTCC-GEMはLCP-GEMに比べ500~680 V間の放電回数が多い。放電中は測定ができない不感時間に影響を及ぼす。今後は、放電回数の抑制対策を行い実用化に近づけていく。

### 謝辞

本研究は共同研究B「無機材料を用いた放射線検出器用電極の開発」の結果の一部を含んでおり、共同研究者である、理化学研究所 若林正毅氏、玉川徹氏、元東京大学 CNS 浜垣秀樹氏のご協力、ご助言に感謝いたします。

(平成28年7月4日受付, 平成28年7月25日再受付)

### 文 献

- (1) F. Sauli, GEM: "A new concept for electron amplification in gas detectors", Nuclear Instruments and Methods in Physics Research A, Vol.386, pp.531-534 (1997)
- (2) M. Wakabayashi et al., "Development of a Diehard GEM using PTFE insulator substrate", Journal of Instrumentation, Vol.9, C03043 (2014)
- (3) F.Sauli, "Principles of operation of multiwire proportional and drift chambers", CERN yellow report, CERN 77-09(1977)