

## ノート

## 高い信頼性を有するガス電子増幅器の開発とその特性評価

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

## Development and evaluation of the stability gas electron multiplier

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，PTFE

Keywords：Gas Electron Multiplier, PTFE

## 1. はじめに

ガス電子増幅器(Gas Electron Multiplier：以後GEMとする)は，Micro Pattern Gas Detector (MPGD) の一種であり，X線や荷電粒子を2次元で読み出し可能な検出器である。GEMは，素粒子・原子核実験だけでなく，放射線医療分野や非破壊検査などへの応用が期待されている<sup>(1)</sup>。現在，GEMには使用中に電極シートが異常放電により電極間で短絡する問題があり，信頼性の向上が急務となっている。

これまでに，我々は短絡の原因を絶縁樹脂の炭化と考え，耐アーク放電特性が他の樹脂に比べ優れているポリテトラフロロエチレン (PTFE) を絶縁層に選定し加工実験を行ってきた<sup>(2)</sup>。その結果，フェムト秒レーザを用い電極加工が可能である事を見出してきた。

本報では，20 mm角に貫通孔を形成した PTFE 製 GEM の試作を行い，X線源を用いた増GEMの増幅率評価を行ったので報告する。

## 2. GEMとは

GEMは図1に示す様に，ArとCO<sub>2</sub>などの混合ガスで満たされたチェンバ内のカソードとリードアウト部の間に，GEMフォイルが増幅率に応じて複数配置された構造である。GEMフォイルは厚み50 μm～100 μm程度の絶縁体の表裏に銅箔が貼り付けられ，φ50 μm～100 μmの貫通孔がφ100 μm～200 μmのピッチで形成された電極シートである。GEMフォイル表裏の電極に電位差を与えると，放射線によって生じた荷電粒子が貫通孔を通過する間に，電子雪崩により増幅される仕組みである。GEMフォイルの貫通孔形状や穴ピッチが位置分解能や増幅率といったGEMの性能に影響を与える事が知られている。

## 3. GEMフォイルの作製実験

3.1 成膜実験 市販のGEMフォイルは，電極として両面に厚さが数μmの銅を熱圧着したものが使用されてい

る。本研究では市販品と同等に銅極の厚みを1 μmとした。

銅電極の成膜にはマグネトロンスパッタ装置 (ULVAC社製SX-200) を用いた。成膜条件は，プロセスガスにArガスをを用いRF100 W，T/S距離154 mm，基板回転数10 rpm，プロセス圧力 0.67 Pa，時間30 sで表面処理したのち，銅の成膜をDC1kW，T/S距離120 mm，基板回転数10 rpm，プロセス圧力 0.67 Paとし熱ダメージを軽減するため成膜30 sごとに冷却を30 s行い，膜厚が1 μmになるまで同サイクルを繰り返した。

成膜した銅の密着性を評価するため，セロハンテープによる剥離試験 (JIS K 5400，付着性-基盤目試験) を行った。試験は成膜したワーク表面に対して10 mm角の領域に1 mm間隔で格子状に切れ込みを入れ，セキスイ社製のセロハンテープを用いた結果，剥離は見られず密着性が高い事がわかった。

3.2 貫通孔加工実験 フェムト秒レーザを用い，貫通孔の加工を行った。使用したフェムト秒レーザは中心波長780 nm，平均出力800 mW，発振周波数1 kHzである。また，レーザ光はガルバノミラーにより所望の位置に走査し，焦点距離100 mmのfθレンズによりワーク表面に収束した。ワークには銅を両面に厚み1 μmで成膜したPTFEを使用した。レーザ光を0.1 mm/sでφ50 μmの円形に走査し1つの貫通孔を加工した。この走査を200 μmピッチの千鳥配列で繰り返すことで20 mm角の範囲に貫通孔を形成した。

## 4. 特性測定

試作したPTFE製GEMフォイルの増幅率と市販のLCP製GEMの増幅率と比較した。測定装置の概略図を図2に示す。放射線源には<sup>55</sup>Feを用い，ガスチェンバ内はAr:CO<sub>2</sub>(7:3)でガス置換して実験を行った。増幅された電子はRead-out padで検出され，<sup>55</sup>Feのエネルギーと検出された電圧より増幅率が算出される。今回は電子を加速させるためのドリフト領域の電位勾配を2 kV/mmで一定になるようにV<sub>d</sub>，V<sub>c</sub>を入力した。これによって生じるGEMフォイル表裏の電極間の電位差をΔV<sub>GEM</sub>とする。実験では，測定装置側の安全を考慮しΔV<sub>GEM</sub>=300～740 Vの範囲でデータを取得した。今回

事業名 平成24年度 基盤研究

\*1) 電子半導体技術グループ

作製したPTFE製GEMは、 $\Delta V_{GEM}=520\sim 740$  Vで放射線の検出が可能であった。市販されている50  $\mu\text{m}$ 厚LCP製GEMと比べ、試作したPTFE製GEMは同じ電極間電圧 $\Delta V_{GEM}$ では増幅率が10倍低い $\Delta V_{GEM}$ が550 V以上の電圧でも動作する事が分かった。また、市販されている100  $\mu\text{m}$ 厚LCP製GEMと比べ増幅率は同等であるが、 $\Delta V_{GEM}$ が高い電圧で使用可能であるためPTFE製GEMは市販品に比べ高い増幅率を得る事に成功した。取得した増幅率の測定結果を図3に示す。

市販品よりも高い $\Delta V_{GEM}$ が必要な原因は、貫通孔のテープ部に荷電粒子がトラップされてしまう事や、市販されているLCP製GEMの穴ピッチが140  $\mu\text{m}$ である一方、試作したPTFE製GEMは200 nmと単位面積当たりの貫通孔数が少ない事によるものと考えられる。また、今回、増幅率の取得中にのべ10,000回以上の放電が生じたが、増幅率低下や短絡といった不具合が生じる事はなかった。測定前後のPTFE製GEMの電子顕微鏡観察結果を図4に示す。同図より、放電によるダメージや炭化した様な痕跡は見られず、PTFEがGEMフォイルの絶縁材料として有効である事が確かめられた。

5. まとめ

GEMの信頼性向上のため、絶縁層にPTFEを用いたGEMフォイルの作製プロセスの検討とその特性評価を行った。電極作製実験では、マグネトロンスパッタ装置による銅の最適な成膜条件を明らかにすると共に、GEMフォイルに使用可能な電極部を得た。貫通孔形成実験では、両面成膜したPTFE基材に対してフェムト秒レーザーによる加工を行い絶縁層にPTFEを用いたGEMフォイルを得た。また、市販の100  $\mu\text{m}$ 厚LCP製GEMフォイルに相当する高いゲインを得られたこと、10,000回以上の異常放電でも電極間が短絡しないという今までにない高い信頼性を実現した。今後は、X線や放射線がPTFEに及ぼす影響も考慮しGEMフォイルとしての性能評価を行う予定である。

謝辞

本稿は、昨年度、東京大学、理化学研究所と行った共同研究『電極フォイルの高電圧印加実験による信頼性評価』で得られた結果の一部を含みます。また、フェムト秒レーザーの使用に際し、ご協力頂きました理化学研究所 洲之内啓博士に深く感謝いたします。

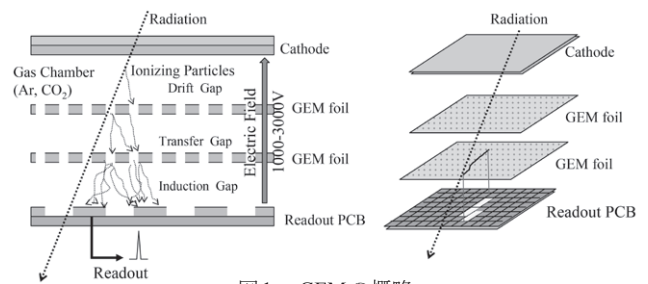


図1. GEMの概略

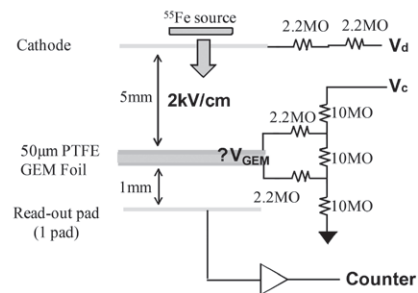


図2. 増幅率の測定セットアップ

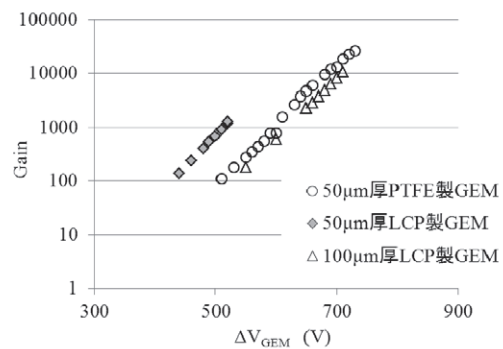
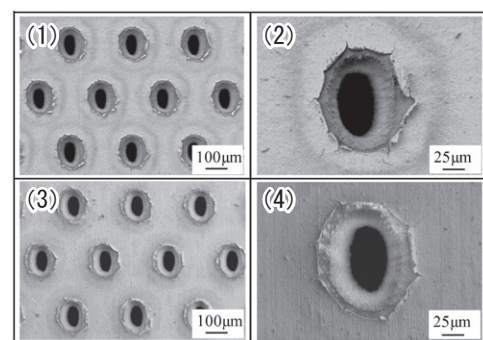


図3. 増幅率と $\Delta V_{GEM}$



(1)測定前 表面SEM像 (2)測定前 表面SEM像 拡大  
(3)測定後 表面SEM像 (4)測定後 表面SEM像 拡大  
図4. 測定前後の表面状態変化

(平成25年7月25日受付, 平成25年8月9日再受付)

文 献

(1)宇野彰二, MPGDを用いた中性子・硬X線画像装置開発, HIGH ENERGY NEWS, Vol.30, No.2, p.66 (2011)  
(2)若林正毅, et al, ガス電子増幅器における電極基材の検討, 2012年度精密工学会春季大会学術講演会講演論文集, pp.25-26