

科学研究費助成事業（学術研究助成基金助成金）研究成果報告書

平成25年 6月 6日現在

機関番号：14401
研究種目：挑戦的萌芽研究
研究期間：2011～2012
課題番号：23656104
研究課題名（和文） 小隙スリット電極による高密度大気圧プラズマの生成と高能率マスクレス溝加工への応用
研究課題名（英文） Generation of high-density plasma using electrode with narrow slit and its application to grooving
研究代表者 佐野 泰久 (SANO YASUHISA) 大阪大学・大学院工学研究科・准教授 研究者番号：40252598

研究成果の概要（和文）：

大気圧プラズマは平均自由行程の小ささから、プラズマが電極近傍に局在化して生成する。しかしながら、1mm以下の微小なプラズマを発生させるためには針状電極や細いワイヤー電極を用いる必要があり、熱的な限界から、高能率な加工は困難であった。本研究では、新たに小隙スリット付電極を用いることで、幅0.1mm以下の微小な溝形状を形成できることが分かり、高能率マスクレス溝加工の可能性を示すことができた。

研究成果の概要（英文）：

A plasma can be generated locally around the electrode under the condition of atmospheric pressure because of the small mean free path of gas molecules. However, generation of small plasma for high-rate etching especially less than 1 mm is very difficult due to thermal limitations of needle-like electrodes or very thin wire electrodes. Thus, we proposed a novel electrode with a narrow slit and succeeded in generation of a narrow groove less than 0.1 mm.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
交付決定額	2,900,000	870,000	3,770,000

研究分野：工学

科研費の分科・細目：機械工学・生産工学・加工学

キーワード：大気圧プラズマ、溝加工

1. 研究開始当初の背景

近年、MEMS(Micro-Electro-Mechanical Systems)や μ TAS(Micro Total Analysis Systems)といった微小な構造物の研究開発・応用技術開発が盛んに行われている。このような微小な構造物を製造する方法として、一般的に、半導体プロセスで用いられるリソグラフィによってマスクパターンを試料表面に形成し、後に続くプラズマエッチングや Bosch プロセスのような深堀エッチングによってマスクパターンを転写した溝形状が試料表面に形成される。

研究代表者らは、大気圧プラズマを用いた

プラズマエッチングである PCVM (Plasma Chemical Vaporization Machining) の開発を行ってきた(精密工学会誌 66(2000)p1280)。大気圧プラズマは平均自由行程の小ささから、プラズマが電極近傍に局在化して生成する。そのため、エッチングを行いたい部分のみにプラズマを発生可能であり、マスクなしの除去加工が可能である。しかしながら、1mm以下の微小なプラズマを発生させるためには針状電極や細いワイヤー電極を用いる必要があり、熱的な限界から投入可能電力が小さく、高能率な加工は困難であった。

通常、パイプ状電極を用いた PCVM においては、図 1(a)のような加工痕断面が得られ

る。これは穴直下ではプラズマが発生していないためと考えられる。この現象を抑制すべく、微小径 ($\phi 0.3 \text{ mm}$) の穴を有する電極を作成して加工実験を行ったところ、図 1(b) のような特異な加工痕断面が得られた。中央部の凹みの幅はほぼ穴径に等しく、針状電極のような熱容量・熱伝導の小さい電極を用いなくとも微小な加工痕を得ることのできる可能性を見出した。そこで、この現象を利用し、新たな高能率な微小領域加工法へと展開すべく、本研究の提案に至った。

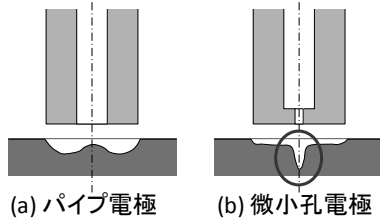


図1 着想に至る動機となった実験結果

2. 研究の目的

微小なスリットを有する電極を用い、スリット間隙の大きさと大気圧プラズマエッチングによって形成される溝形状を比較することで、微小スリット電極による加工特性を把握するとともに、これを応用した高能率マスクレス溝加工の可能性を検討することを目的としている。

3. 研究の方法

本研究では、既存の大気圧プラズマ発生装置を改造して用いることとし、スリット構造を有する電極を用いた実験ができるよう、電極ホルダーや試料台、ガス系の設計・製作を行う。実験装置の概略を図 2 に、スリット付電極の詳細を図 3 に示す。加工用試料としては市販のシリコンウエハを小片に切断した

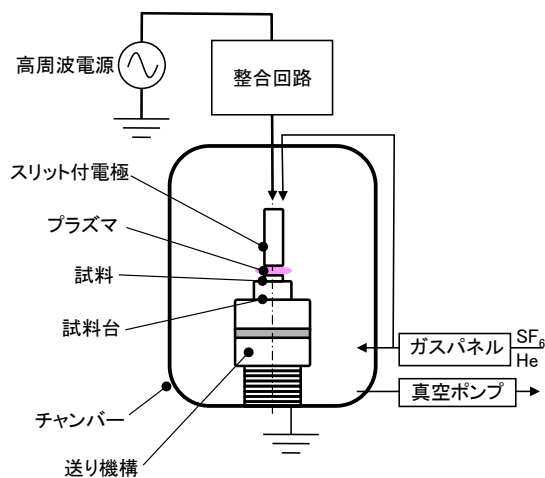


図2 実験装置概略図

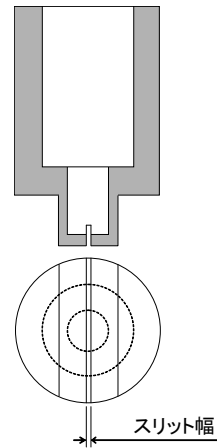


図3 基礎実験用スリット付電極の詳細

ものを用い、反応ガスとしてはヘリウムと SF_6 の混合ガスを用いるものとする。スリット電極内部より反応ガスを吹き出し、高周波電力を印加することで電極-試料間にプラズマを発生させる。プラズマ中で生成したフッ素ラジカルがシリコンと反応して揮発性の SiF_4 となることで、加工が進行する。加工後の試料は顕微干涉計によって溝形状を評価する。スリット幅の異なる電極を用いて加工実験を行い、形成された溝形状と電極形状を比較することで、電極のどの部分に強いプラズマが発生していたかを検討し、マスクレス微小溝形成の可能性を検討する。

4. 研究成果

初年度に基礎実験として、矩形の平板電極を 1 mm 以下の間隙を設けて 2 枚並べた構成の小隙スリット電極を複数個作製し、加工特性を評価した。まずは、スリット部と平行平板部の加工速度比の検討を行った。これまでの検討では、開口部 (スリット部) 以外の場所においてもプラズマが発生し、加工が行われていたため、スリット部での加工速度の定量評価が困難であった。ところが、電極-試料間距離を 0.1 mm 以下に狭めることで、並行平板部における加工は行われず、スリット部に対応した部分のみに溝形状が形成されることが分かり、実用上有益な情報が得られた。スリット間隙の変化に伴う加工特性の変化を取得する基礎実験を行った結果、加工特性が溝方向に沿って大きくばらつき、評価が困難であった。ばらつきの主な原因は、試料と電極間の間隙精度が不十分であったこと、および反応ガスの供給法に問題があったことであることが分かったため、これらを改善することで、次年度に、電極-試料間距離を 0.1 mm 以下としながら、スリット幅を変化させて加工実験を行った。

スリット幅としては 0.5 mm , 0.2 mm , 0.1 mm

のスリット電極を用い、ヘリウム希釈の 1% SF₆ を反応ガスとし、スリット電極内部より同ガスを 100 sccm で 5 分間流してパージを行った後、電力を投入してプラズマがスリット全体に広がった状態で約 1 分間の加工を行った。その結果、スリット幅が 0.5 mm のものでは、明らかにスリットのエッジ部を中心として加工が行われており (図 4)、スリット幅が 0.2 mm のものでも溝の最深部はスリットのエッジに対応する場所であった (図 5)。一方で、スリット幅が 0.1 mm のものはスリットエッジ部に対応する部分ではほとんど加工

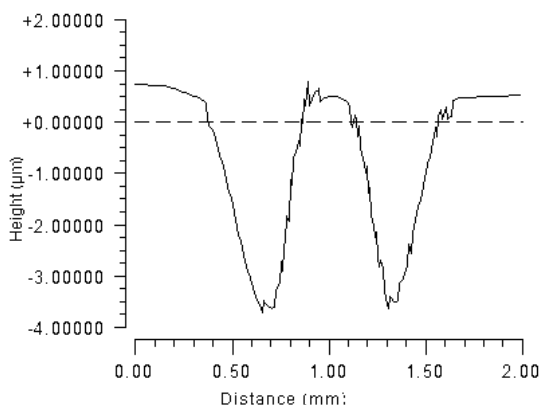


図 4 スリット幅 0.5mm の電極による溝の断面形状

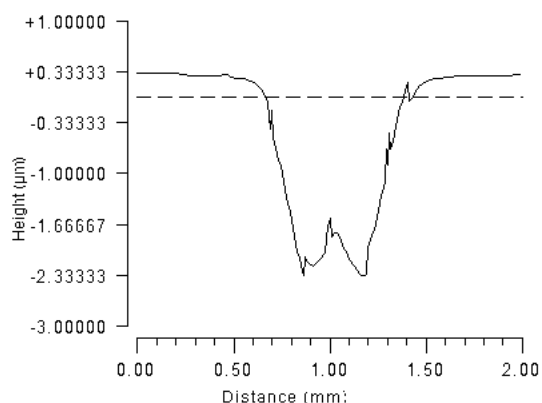


図 5 スリット幅 0.2mm の電極による溝の断面形状

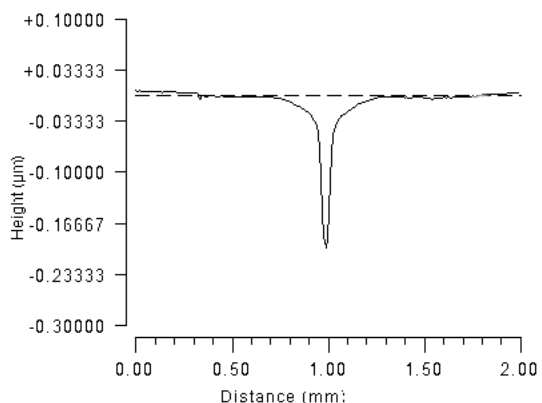


図 6 スリット幅 0.1mm の電極による溝の断面形状

がみられず、スリットの中央部が最も深く加工されていた (図 6)。溝の半値幅は 0.06 mm 程度であり、これまでに無い狭い溝が形成された。これは、スリット幅が広い時はスリットのエッジによる電界集中のためエッジ部を中心にプラズマが発生するが、スリット幅が狭くなるとエッジ同志の距離が近づくことで電界集中が起こりにくくなり、結果としてスリット内部のプラズマがエッチングに寄与する割合が大きくなったためと考えている。0.5 mm および 0.2 mm のスリット電極ではプラズマは約 30 W にて発生したが、0.1 mm のスリット電極では 40 W 以上が必要であったこと、および、0.1 mm の電極による加工速度は他に比べて 1/10 以下になっていることから、0.1 mm の電極のエッジ部では電界集中が起こりにくかったと考えられる。

本研究では、スリット電極を用いることでスリット形成部にのみ微小なプラズマを発生させ、微小な溝形状の加工が可能であることを実証した。大気圧プラズマエッチングによる溝加工においてこれまでのワイヤー電極に比べると本電極は熱伝導による放熱効果が期待できることから、大電力の投入が可能となると考えられ、今後、どの程度の電力が投入可能でどの程度の加工速度が得られるのか、検討を続けてゆきたい。また、本方法でどこまで狭い溝加工が可能であるかも検討してゆきたい。

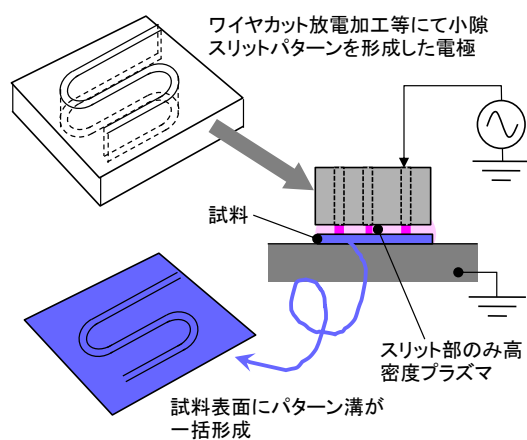


図 7 高能率マスクレス溝加工への応用

将来的には、単に針状電極やワイヤー電極に置き換わり、より微小領域の高能率エッチングが可能になるだけではなく、図 7 のように、ワイヤカット放電加工等によって任意のパターンの小隙スリットを形成した電極を用いてプラズマを発生させることで、そのパターンに応じた溝形状の一括形成が可能であると考えられる。本技術を用いれば μ TAS 等における流路形成をマスク形成なしに直接エッチングによって実現できる等、リソグラフィとエッチングを組み合わせた従来

技術に対してイノベーションを引き起こす
といった成果が期待できると考えられる。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者に
は下線)

6. 研究組織

(1) 研究代表者

佐野 泰久 (SANO YASUHISA)

大阪大学・大学院工学研究科・准教授

研究者番号：2 3 6 5 6 1 0 4