

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特許公報(B2)

(11) 特許番号

特許第4277103号
(P4277103)

(45) 発行日 平成21年6月10日(2009.6.10)

(24) 登録日 平成21年3月19日(2009.3.19)

(51) Int. Cl. F I
 HO 1 L 41/09 (2006.01) HO 1 L 41/08 M
 HO 1 L 41/193 (2006.01) HO 1 L 41/18 1 O 2

請求項の数 5 (全 20 頁)

(21) 出願番号	特願2004-27336 (P2004-27336)	(73) 特許権者	504180239
(22) 出願日	平成16年2月3日(2004.2.3)		国立大学法人信州大学
(65) 公開番号	特開2005-223025 (P2005-223025A)		長野県松本市旭三丁目1番1号
(43) 公開日	平成17年8月18日(2005.8.18)	(74) 代理人	100077621
審査請求日	平成16年2月5日(2004.2.5)		弁理士 綿貫 隆夫
		(74) 代理人	100092819
			弁理士 堀米 和春
		(72) 発明者	平井 利博
			長野県上田市諏訪形940番地の13
		(72) 発明者	遠藤 守信
			長野県須坂市北原町615
		審査官	川村 裕二

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 カーボンナノファイバーを用いる高分子アクチュエータ

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

柔軟性を有する高分子材料からなるシート体の両面に、カーボンナノファイバーを主体とする電極が形成され、該電極を構成するカーボンナノファイバーの一端側が前記シート体内に埋没しており、かつ前記カーボンナノファイバー同士が接触して、カーボンナノファイバー同士の接触が維持されつつシート体の変形に追従して前記電極が変形可能であることを特徴とするカーボンナノファイバーを用いる高分子アクチュエータ。

【請求項2】

前記高分子材料に電解質がドーピングされていることを特徴とする請求項1記載のカーボンナノファイバーを用いる高分子アクチュエータ。

【請求項3】

前記電解質が酢酸ナトリウムであることを特徴とする請求項1または2記載のカーボンナノファイバーを用いる高分子アクチュエータ。

【請求項4】

前記高分子材料がポリウレタン樹脂であることを特徴とする請求項1～3いずれか1項記載のカーボンナノファイバーを用いる高分子アクチュエータ。

【請求項5】

前記高分子材料がシリコン樹脂であることを特徴とする請求項1～3いずれか1項記載のカーボンナノファイバーを用いる高分子アクチュエータ。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、電場を印加することによって、高分子材料を大きく変形させることができるカーボンナノファイバーを用いる高分子アクチュエータおよびこのアクチュエータ用電極材料に関する。

【背景技術】

【0002】

高分子材料からなるシート体の両面に電極を形成し、電圧を印加することによってシート体を変形させるアクチュエータが開発されている。

例えば、特開2000-49397には、両面に電極を有する一層のポリウレタン膜からなり、電場の印加により変形（曲げ電歪）を起すアクチュエータが示されている。

このアクチュエータ10では、図17に示すように、電極11は、ポリウレタン膜12の両面に金を蒸着して形成される。

【特許文献1】特開2000-49397（特許請求の範囲）

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【0003】

上記のように、ポリウレタン膜の両面に金を蒸着して電極11を形成した場合には次のような課題を有していることが判明した。

すなわち、金を蒸着すると、金の微粒子がポリウレタン膜12の表面に付着する状況となる。

このアクチュエータ10に図18に示すように電場を印加すると、アクチュエータ10は湾曲する。この湾曲を利用して各種アクチュエータとして利用できる。

しかしながら、上記変形は僅かであって、同公報に記載されているように、曲率 $1/R = 3.6 \text{ m}^{-1}$ 程度でしかなく、アクチュエータとして使用できたとしてもその利用範囲は極めて限定されたものになってしまう。

【0004】

発明者が検討したところ、上記のように僅かしか変形させられない理由は電極11の構成にあることがわかった。

すなわち、金を蒸着して得られる電極11は、金の微粒子が接触しながら付着している状況となっている。このような電極11が形成されているアクチュエータ10が大きく変形（湾曲）しようとする、電極11にヒビ割れが生じ、電氣的導通が遮断されてしまう。したがって、大きな変形が得られないのである。電極11を厚付けすればよいが、そうするとポリウレタン膜12の柔軟性が阻害され、そもそも変形が生じなくなってしまう。

本発明は上記課題を解決すべくなされたものであり、その目的とするところは、大きな変形が得られるカーボンナノファイバーを用いる高分子アクチュエータおよびこのアクチュエータに用いて好適な電極材料を提供するにある。

【課題を解決するための手段】

【0005】

本発明に係るカーボンナノファイバーを用いる高分子アクチュエータ（以下単にアクチュエータという）は、柔軟性を有する高分子材料からなるシート体の両面に、カーボンナノファイバーを主体とする電極が形成され、該電極を構成するカーボンナノファイバーの一端側が前記シート体内に埋没しており、かつ前記カーボンナノファイバー同士が接触して、カーボンナノファイバー同士の接触が維持されつつシート体の変形に追従して前記電極が変形可能であることを特徴とする。

また、前記高分子材料に電解質がドーピングされていることを特徴とする。

前記電解質が酢酸ナトリウムであることを特徴とする。

前記高分子材料がポリウレタン樹脂であることを特徴とする。

前記高分子材料にシリコン樹脂を用いることもできる。

【発明の効果】

10

20

30

40

50

【0006】

本発明によれば、カーボンナノファイバー同士が接触しているだけの柔らかく、かつカーボンナノファイバー同士の接触が維持されつつシート体の変形に追従する電極を設けたので、もともと大きな変形可能性のあった材料の変形を最大限取りだし可能となった。また、電極に電場を印加することによって、シート体内に食い込んだカーボンナノファイバーの一端側からシート体内に向けて、すなわち、固体あるいはゲル内部に向けても電子が集中して放出され、これが、シート体を効果的に大きく変形（湾曲）させ得る一因である。すなわち、この種高分子材料が変形するメカニズムは、シート体の両縁部において、電荷が非対称に偏在することによって、一方の縁部では収縮が生じ、他方の縁部では伸長が生じることによると考えられる。上記のように、カーボンナノファイバーの一端側がシート体に食い込み、この鋭い一端側から電子がシート体内部に向けて放出されることは、シート体内への電荷のチャージが効率良くなされ、電化の非対称性を助長することから、応答性よく、シート体を変形させることができると考えられる。

10

【発明を実施するための最良の形態】

【0007】

図1は、本発明に係るアクチュエータ20の説明図である。

22は、柔軟性を有する高分子材料からなるシート体であり、このシート体22の両面に、カーボンナノファイバーを主体とする電極24が形成されている。

電極24は、シート体22の両面全体に、あるいは所要パターンで形成される。

電極24を、シート体22の両面全体に均一に形成して、シート体24の一端側の両電極部に電場を印加することにより、シート体22は他端側が円弧状に大きく湾曲する。電極24をシート体22の両面にパターン化して形成するようにすれば、この電極パターンに応じてシート体22が種々の形状に変形することになる。

20

【0008】

シート体22の高分子材料は特に限定されるものではない。

例えば、上記特開2000-49397に示されるポリウレタン、特にソフトセグメントが、ポリエステルを有するポリウレタンを主体とするポリウレタンを好適に用いることができる。

あるいは高分子材料にシリコーンゲルを用いることもできる。

その他、高分子材料として、塩化ビニル、ポリエチレン、ポリプロピレン、PETなどの汎用樹脂材料も用いることができる。

30

【0009】

従来、電場を印加することによって変形する、この種アクチュエータに用いられる高分子材料としては、ポリカーボネート系ポリオールを有するポリウレタン・エラストマーなどのように、直流電場が印加されることによって電場方向に配向するものが必要とされた（例えば、特開平7-240544）。

しかしながら、本発明においては、後記するように、電極24の構造を改良することによって、大変形を与えることが可能であるばかりか、上記のような配向性を有する結晶性のポリマーでなくとも使用可能である。

40

【0010】

なお、これら高分子材料に柔軟性を付与するために、適宜可塑剤を添加したものをを用いる。

また、これら高分子材料に、若干の電解質（例えば食塩）をドーピングして、電場を印加した際に、nAレベルの電流が流れるように、すなわち半導体レベルの若干の導電性が生じるようにするとよい。この電解質のドーピングにより、シリコーンゲルなど、そのままでは完全な絶縁性を有するものであっても、電場を印加した際、比較的大きく変形させることができるようになった。

【0011】

電極24の材料は、カーボンナノファイバーを用いる。カーボンナノファイバーは、例えば気相成長法によって得られるカーボンナノチューブ等を好適に用いることができる。

50

この気相成長法によるカーボンナノファイバーは、直径が数十nm～百数十nm程度で、長さが数 μ m～十数 μ m程度の極細の繊維状をなすものである。

【0012】

電極材料としては、カーボンナノファイバーのみを用いるのが好適であるが、カーボンナノファイバーにグラファイトやカーボンなどの炭素成分を混入したものであってもよい。

この電極材料を用いて、柔軟性を有する高分子材料からなるシート体22の両面に電極24を形成する。

【0013】

電極24の形成方法の一例を説明する。

まず第1の方法としては、カーボンナノファイバーをエタノール等の溶媒中に分散してペースト状にし、このペーストをシート体22の両面に塗布し、次いで乾燥させて電極24とする。なお、乾燥させて後、表面をローラ等で押圧することによって、カーボンナノファイバーをシート体22表面に完全に付着させるようにするとよい。またこのように、押圧することによって、カーボンナノファイバーの一端側がシート体22の表面に食い込む(埋没)ようになる。

なお、カーボンナノファイバーの脱落防止のため、適宜な導電性樹脂による塗膜をカーボンナノファイバー上に形成するようにするとよい。

【0014】

カーボンナノファイバーは、前記のように、極細の繊維状をなすことから、この繊維状をなすカーボンナノファイバーが多数集合している電極24は、従来の金の微粒子が付着し合っている電極と相違し、シート体22が大きく変形しても、屈曲性に優れたカーボンナノファイバーはシートに追従して変形するので、繊維間が分離することなく、接触を保ったまま、シート体22の変形に追従するのである。

このように、シート体22が大きく変形しても、電極24がヒビ割れ等によって破壊されず、電極の機能が保たれるから、シート体22が大きく変形可能なのである。

すなわち、高分子材料からなるシート体22はもともとは大きな変形可能性を有していたものであった。

本発明では、カーボンナノファイバー同士が接触しているだけの柔らかく、かつカーボンナノファイバー同士の接触が維持されつつシート体22の変形に追従する電極24を設けたので、もともと大きな変形可能性のあった材料の変形を最大限取りだし可能としたものである。

【0015】

また、上記のように、カーボンナノファイバーをローラ等で押圧することによって、カーボンナノファイバーの一端側をシート体22の表面に食い込ませるようにすることができる。

このシート体22内に食い込んだカーボンナノファイバーの一端が、電極24に電場を印加した際の電子の放出端となると考えられる。

【0016】

気相成長法による炭素繊維は、電解電子エミッタ用の炭素繊維として用いられ、高電界を印加することによって、鋭いエッジ端から電子が空気中に放出されることが知られている。

本発明において、発明者は、電極24に電場を印加することによって、シート体22内に食い込んだカーボンナノファイバーの一端側からシート体22内に向けて、すなわち、固体あるいはゲル内部に向けても電子が集中して放出され、これが、シート体22を効果的に大きく変形(湾曲)させ得る一因であることに想到した。

【0017】

すなわち、この種高分子材料が変形するメカニズムは、シート体22の両縁部において、電荷が非対称に偏在することによって、一方の縁部では収縮が生じ、他方の縁部では伸長が生じることによると考えられる。

10

20

30

40

50

上記のように、カーボンナノファイバーの一端側がシート体 2 2 に食い込み、この鋭い一端側から電子がシート体 2 2 内部に向けて放出されることは、シート体 2 2 内への電荷のチャージが効率良くなされ、電化の非対称性を助長することから、応答性よく、シート体 2 2 を変形させることができると考えられる。

【 0 0 1 8 】

電極 2 4 の形成は、ペースト状にして塗布するのではなく、粉末状の電極材料をシート体 2 2 の表面に均一に散布し、これをローラ等で押圧することによっても行える。シリコーンゲルなどは、その表面が粘着性を有しているため、表面上に電極材料を散布することのみによっても、電極材料がシート体 2 2 表面に付着し、電極とすることができる。ローラ等で押圧すれば、カーボンナノファイバーの一端側をシート体 2 2 の表面に食い込ませることができると好適である。

10

【 0 0 1 9 】

電極 2 4 の形成は次に述べる方法によってもよい。

すなわち、粉末状の電極材料を平坦な鉄板上に均一に散布しておき、この鉄板に電場を印加する。すると、カーボンナノファイバーからなる繊維状の電極材料は鉄板上で起立する状態となる。この状態の鉄板上にゲル状のシリコーンを流し込み、固化することによって、一方の表面上に、カーボンナノファイバーの一端側がシート体内に食い込んだ電極部を形成したシート体を得ることができる。このシート体を 2 枚、電極部が形成されていない側を対向させて貼り合わせることによって、両面側に電極を形成したアクチュエータ 2 0 を得ることができる。

20

上記いずれの電極形成方法も、金を蒸着して形成するよりは処理が各段に簡易となる。

【 0 0 2 0 】

電極 2 4 の厚さは特に限定されるものではない。前記のように、カーボンナノファイバーが互いに接触して集合しているため、シート体 2 2 が変形してもカーボンナノファイバー同士の接触が維持される。電極 2 4 の厚さは、このカーボンナノファイバー同士の接触が維持される限りにおいて薄い方がシート体 2 2 の柔軟性がより良好に維持されるので好適である。またコスト的にも有利となる。

また、電極 2 4 の厚さが薄いと透明性が生じ、各種光学機器でのアクチュエータとして使用が可能となる。

30

【 実施例 1 】

【 0 0 2 1 】

図 2 ~ 図 1 1 は、ポリウレタンシート（幅 5 mm、長さ 2 0 mm、厚さ 0 . 2 0 mm、酢酸ナトリウムをドーピング）の両面に、上記のようにしてカーボンナノチューブを用いて電極を形成したアクチュエータの変形特性をビデオ映像から取り出した説明図である。印加電圧は、1 0 0 ~ 9 0 0 V（0 . 5 ~ 4 . 5 M V / m）。

アクチュエータの端部を端子部で加えて電場を印加すると直ちに若干変形する（On）。印加電圧が高くなるにつれ、変形速度が早くなり（図上、例えば 1 5 S とは、印加後 1 5 秒の意味である）、最大変形量が大きくなるのがわかる。

図 2 ~ 図 1 1 からわかるように、シート体の両面に均一に電極を形成した場合、シート体の変形は円弧状となる。

40

図 1 1 の 9 0 0 V を印加した場合にあっては、最大に変形した場合の曲率 $1 / R$ は、約 $1 0 0 \text{ m}^{-1}$ （曲率半径約 1 0 mm）と大きなものであり、大きな変形が得られた。

【 実施例 2 】

【 0 0 2 2 】

図 1 2 は、ポリウレタンシート（幅 5 mm、長さ 2 0 mm、厚さ 0 . 2 0 mm、酢酸ナトリウムをドーピング）の両面に、上記のようにしてカーボンナノチューブを用いて電極を形成したアクチュエータの変形特性をビデオ映像から取り出した説明図である（印加初期の状態と数秒後のものをオーバーラップして表示。図 1 3 ~ 図 1 6 も同じ）。図 1 3 は、ポリウレタンシート（幅 5 mm、長さ 2 0 mm、厚さ 0 . 2 0 mm、酢酸ナトリウムをドーピング）の両面に、ポリピロールにより電極を形成したアクチュエータ（比較例）の

50

変形特性をビデオ映像から取り出した説明図である。印加電圧は、共に800V(4MV/m)。

カーボンナノチューブで電極を形成した方が、ポリピロールにより電極を形成した場合に比して変形量が各段に大きいことがわかる。

【実施例3】

【0023】

図14は、ポリウレタンシート(幅5mm、長さ20mm、厚さ0.20mm、電解質によるドーピング無し)の両面に、上記のようにしてカーボンナノチューブを用いて電極を形成したアクチュエータの変形特性をビデオ映像から取り出した説明図である。図15は、ポリウレタンシート(幅5mm、長さ20mm、厚さ0.20mm、電解質によるドーピング無し)の両面に、ポリピロールにより電極を形成したアクチュエータ(比較例)の変形特性をビデオ映像から取り出した説明図である。印加電圧は、共に800V(4MV/m)。

10

カーボンナノチューブで電極を形成した方が、ポリピロールにより電極を形成した場合に比して変形量が大きい。しかし、電解質をドーピングした図12、図13に示すアクチュエータの方が変形が大きい。

【実施例4】

【0024】

図16は、シリコンシート(幅5mm、長さ20mm、厚さ0.20mm、酢酸ナトリウムをドーピング)の両面に、上記のようにしてカーボンナノチューブを用いて電極を形成したアクチュエータの変形特性をビデオ映像から取り出した説明図である。印加電圧は、800V(4MV/m)。

20

従来シリコンシートを用いた場合には、目に見える変形は生じなかったが、酢酸ナトリウムをドーピングし、さらに上記のようにカーボンナノチューブを用いた電極を作成したことにより、変形量は多くはないが、明らかに目に見える変形が生じた。

【産業上の利用可能性】

【0025】

本発明に係るアクチュエータは、柔軟性を有するシート体の変形を利用するものであるため、大きな力を要する分野でのアクチュエータとしては用いることはできないが、小さな力で駆動できる、微小電気部品におけるスイッチ駆動部、反射ミラーなどの角度切換駆動体などとして使用可能である。

30

【図面の簡単な説明】

【0026】

【図1】アクチュエータの電極構造を模式的に示した説明図である。

【図2】ポリウレタンを用いたアクチュエータの100V印加時の変形状態をビデオ映像から取り出した説明図である。

【図3】ポリウレタンを用いたアクチュエータの150V印加時の変形状態をビデオ映像から取り出した説明図である。

【図4】ポリウレタンを用いたアクチュエータの200V印加時の変形状態をビデオ映像から取り出した説明図である。

40

【図5】ポリウレタンを用いたアクチュエータの300V印加時の変形状態をビデオ映像から取り出した説明図である。

【図6】ポリウレタンを用いたアクチュエータの400V印加時の変形状態をビデオ映像から取り出した説明図である。

【図7】ポリウレタンを用いたアクチュエータの500V印加時の変形状態をビデオ映像から取り出した説明図である。

【図8】ポリウレタンを用いたアクチュエータの600V印加時の変形状態をビデオ映像から取り出した説明図である。

【図9】ポリウレタンを用いたアクチュエータの700V印加時の変形状態をビデオ映像から取り出した説明図である。

50

【図10】ポリウレタンを用いたアクチュエータの800V印加時の変形状態をビデオ映像から取り出した説明図である。

【図11】ポリウレタンを用いたアクチュエータの900V印加時の変形状態をビデオ映像から取り出した説明図である。

【図12】電解質をドーピングしたポリウレタンを用い、カーボンナノチューブで電極を形成したアクチュエータの800V印加時の変形状態をビデオ映像から取り出した説明図である。

【図13】電解質をドーピングしたポリウレタンを用い、ポリピロールで電極を形成したアクチュエータの800V印加時の変形状態をビデオ映像から取り出した説明図である。

【図14】電解質をドーピングしないポリウレタンを用い、カーボンナノチューブで電極を形成したアクチュエータの800V印加時の変形状態をビデオ映像から取り出した説明図である。

10

【図15】電解質をドーピングしないポリウレタンを用い、ポリピロールで電極を形成したアクチュエータの800V印加時の変形状態をビデオ映像から取り出した説明図である。

【図16】シリコンフィルムを用いたアクチュエータの800V印加時の変形状態をビデオ映像から取り出した説明図である。

【図17】従来のアクチュエータの構造を示す説明図である。

【図18】従来のアクチュエータの変形状態を示す説明図である。

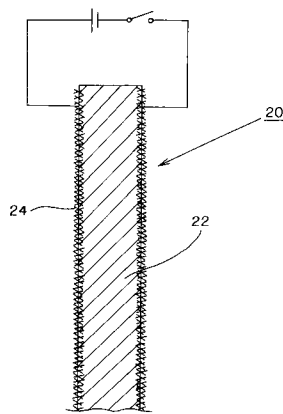
20

【符号の説明】

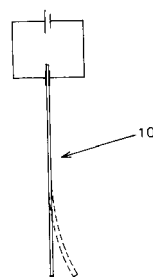
【0027】

- 20 アクチュエータ
- 22 シート体
- 24 電極

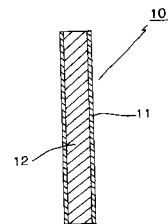
【図1】



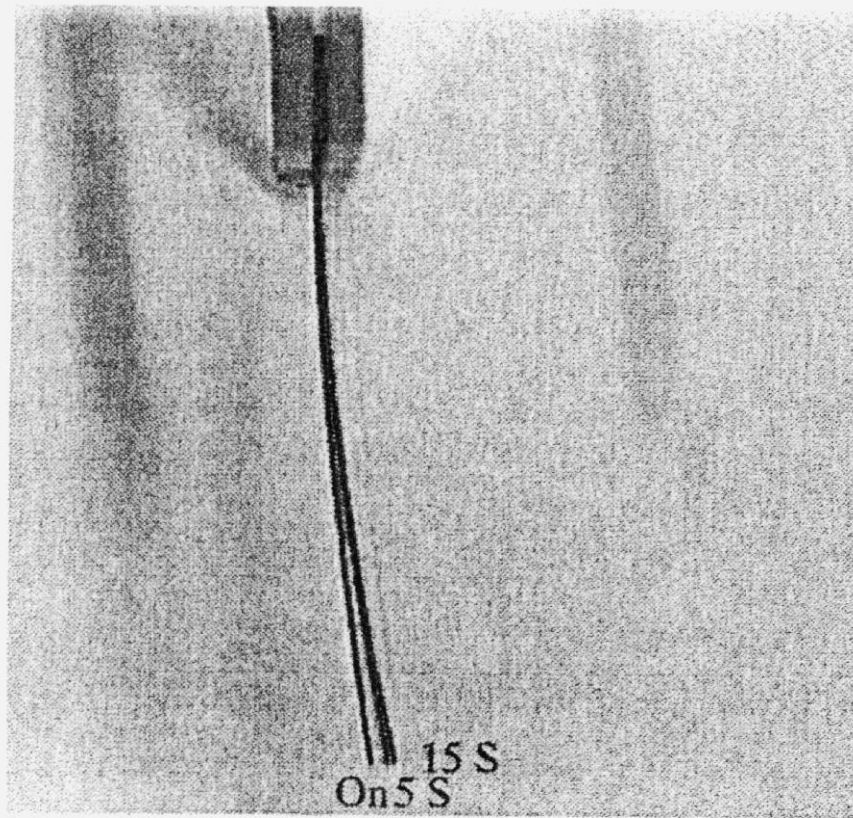
【図18】



【図17】

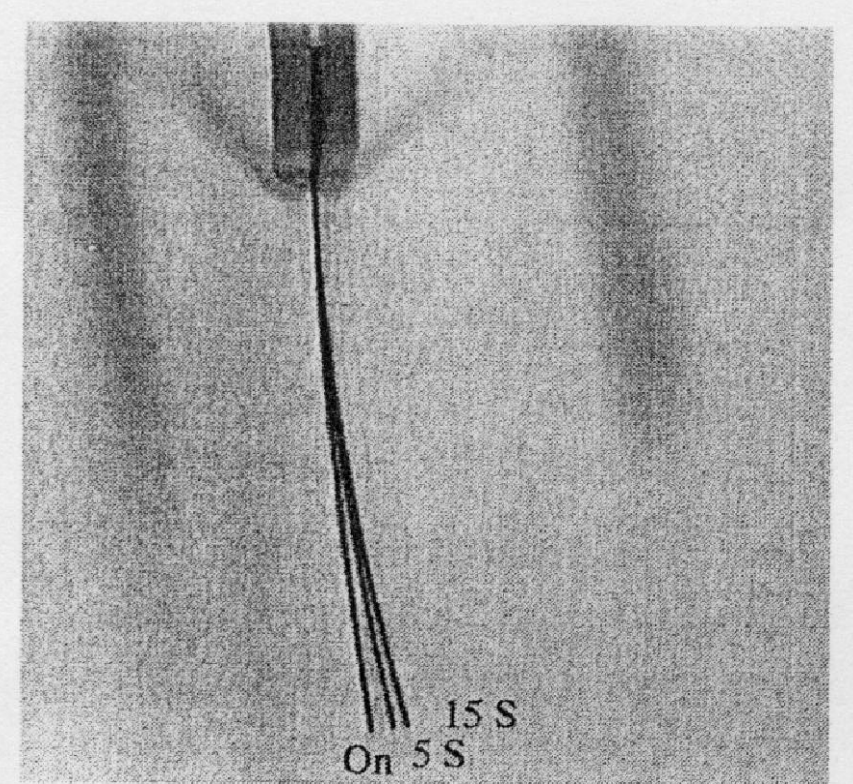


【図2】



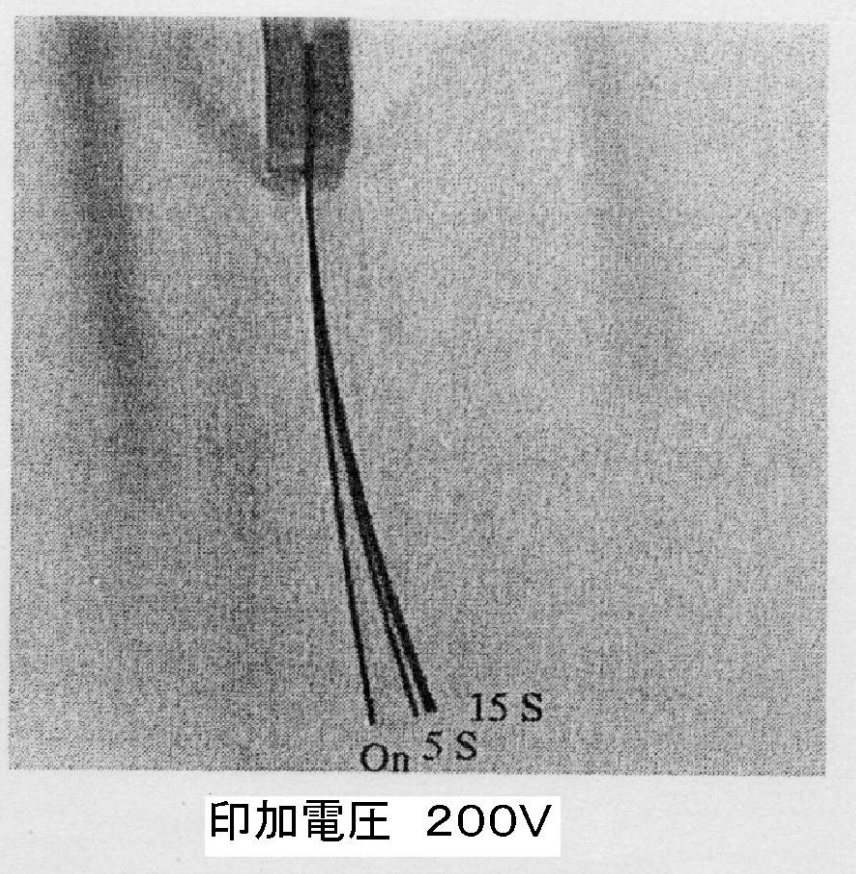
印加電圧 100V

【図3】

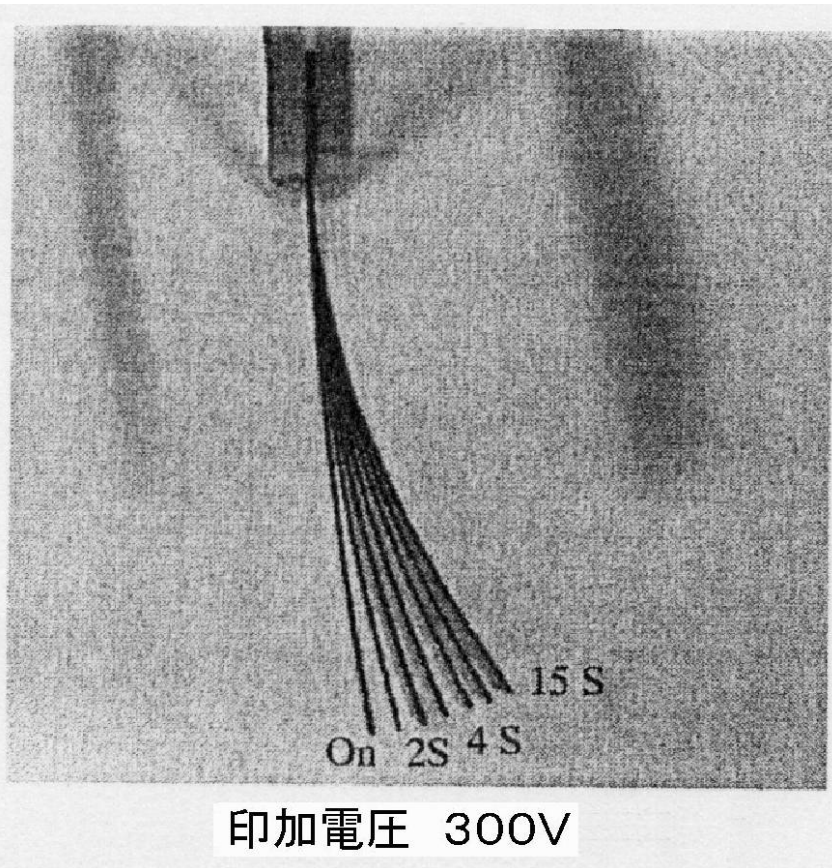


印加電圧 150V

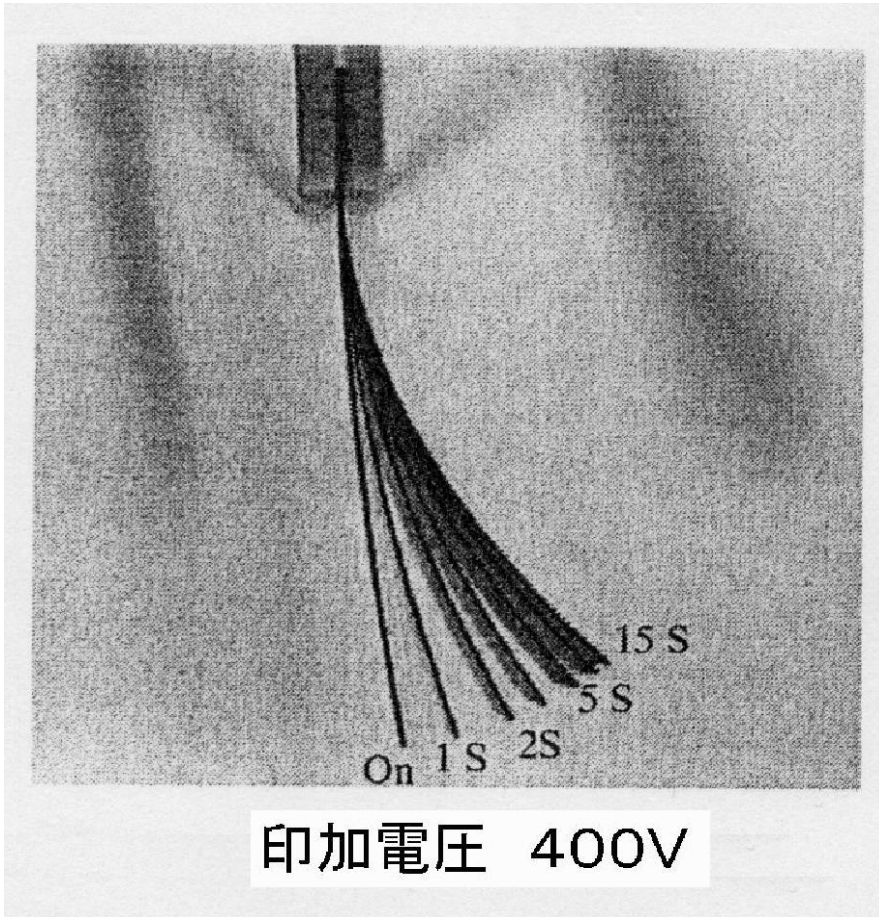
【 図 4 】



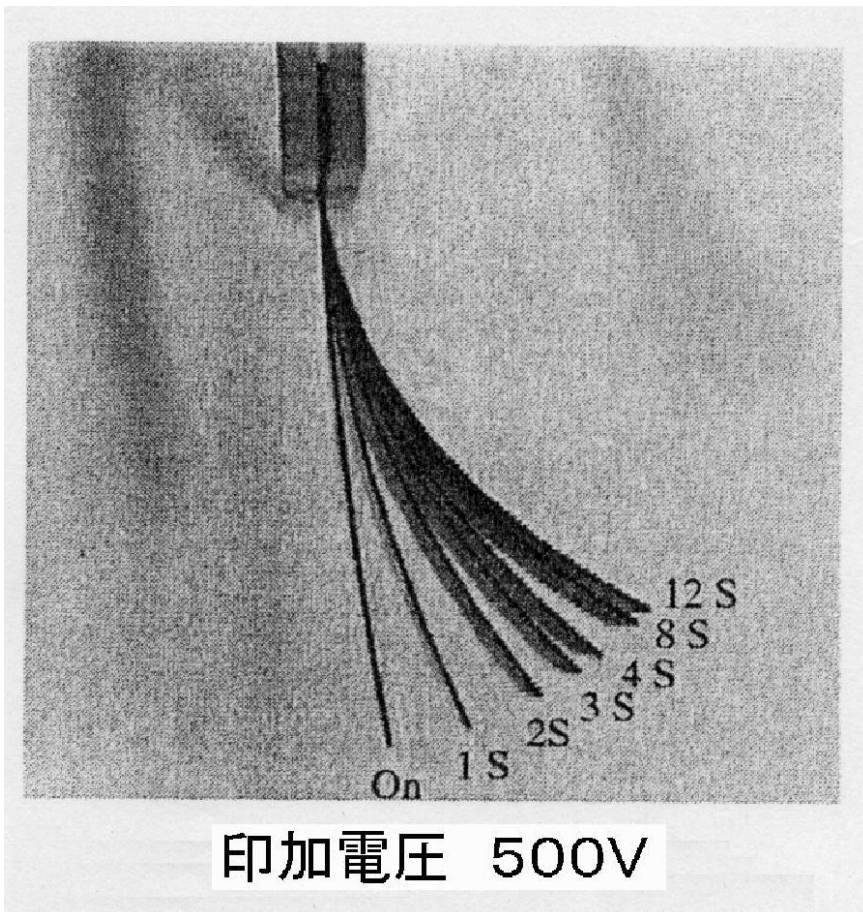
【 図 5 】



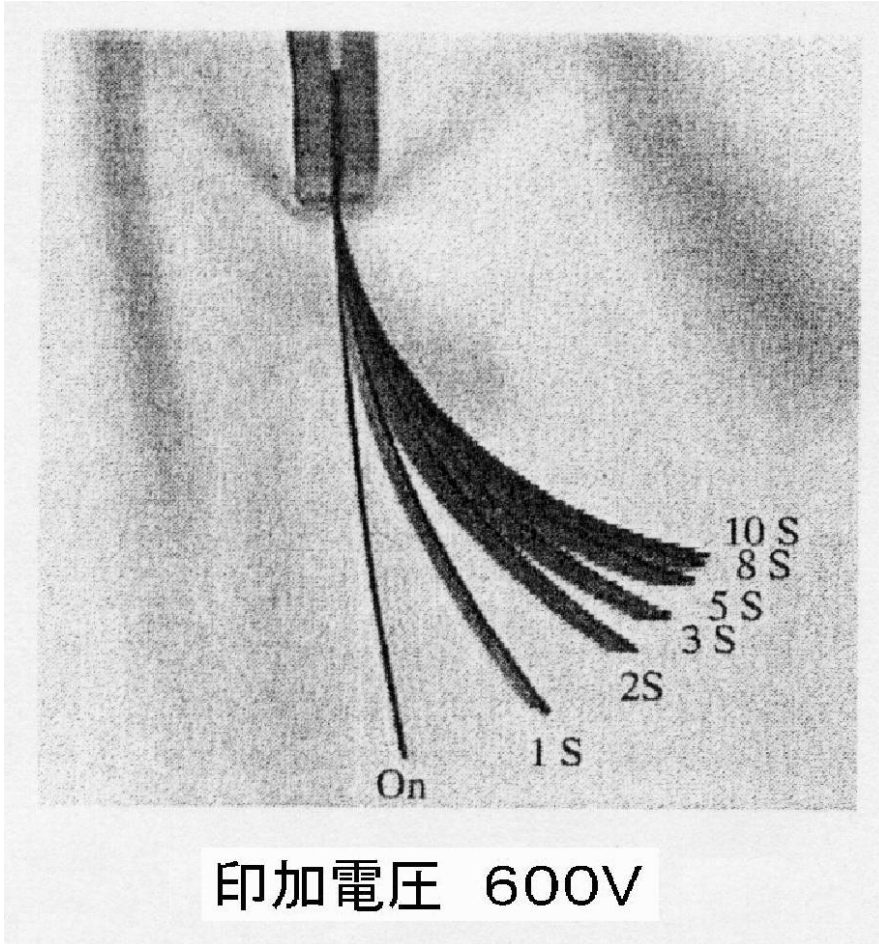
【 図 6 】



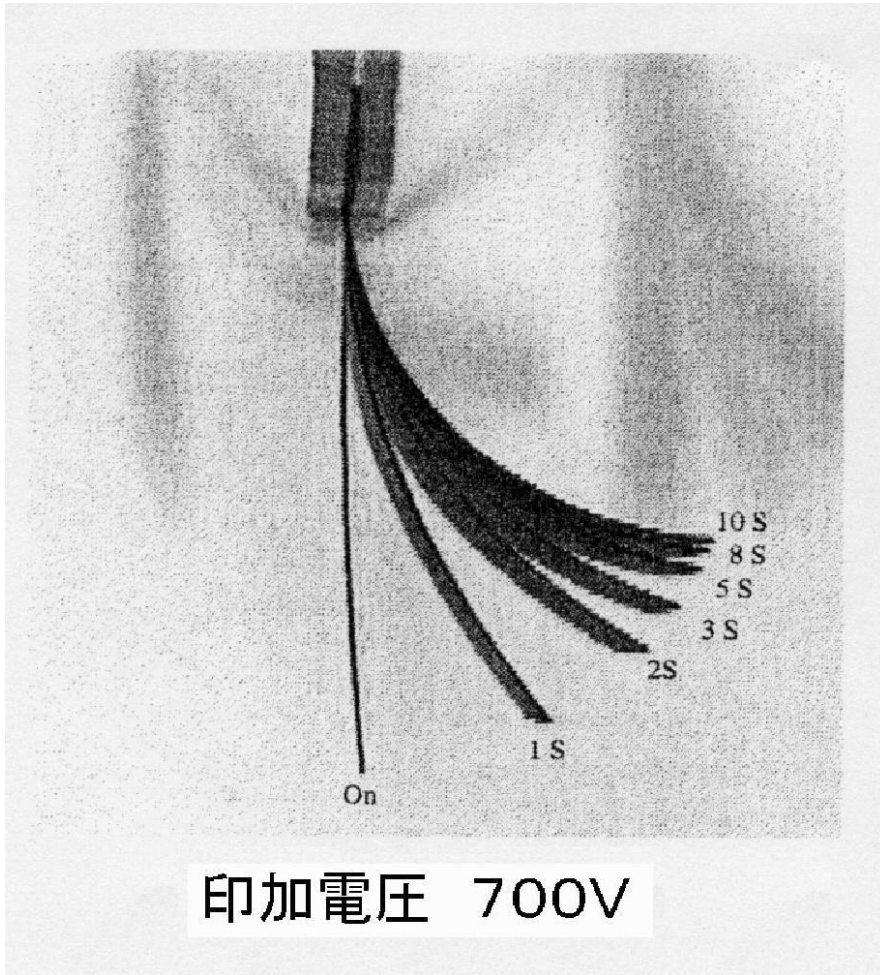
【 図 7 】



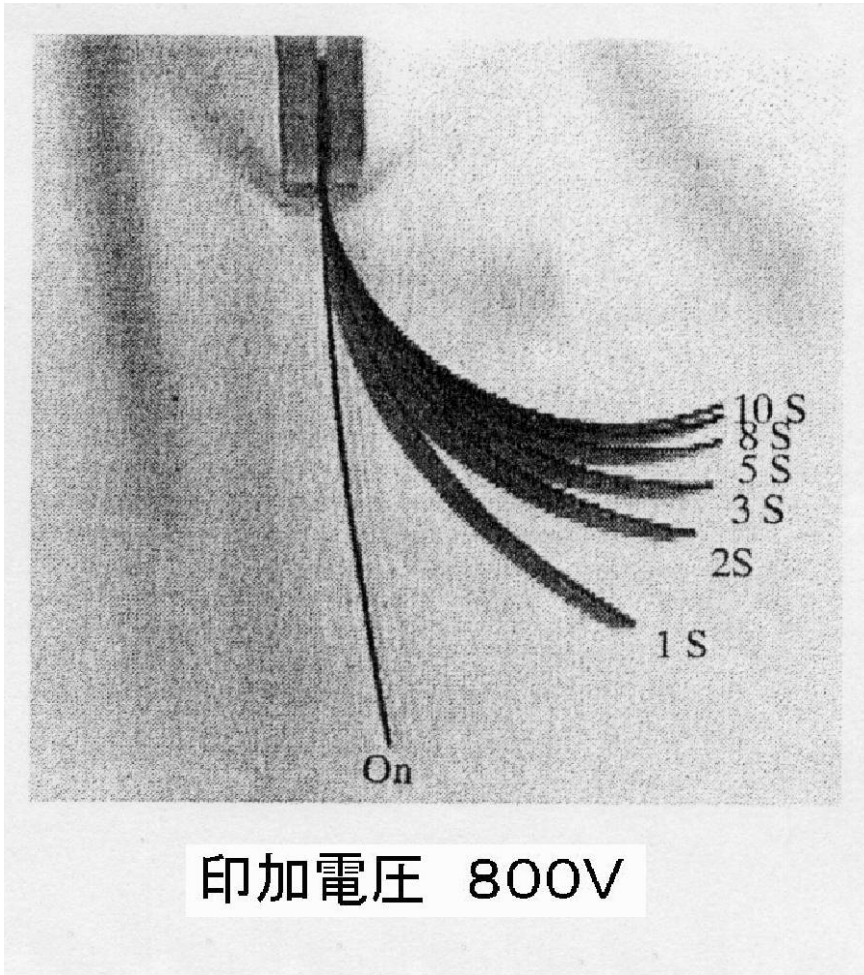
【 図 8 】



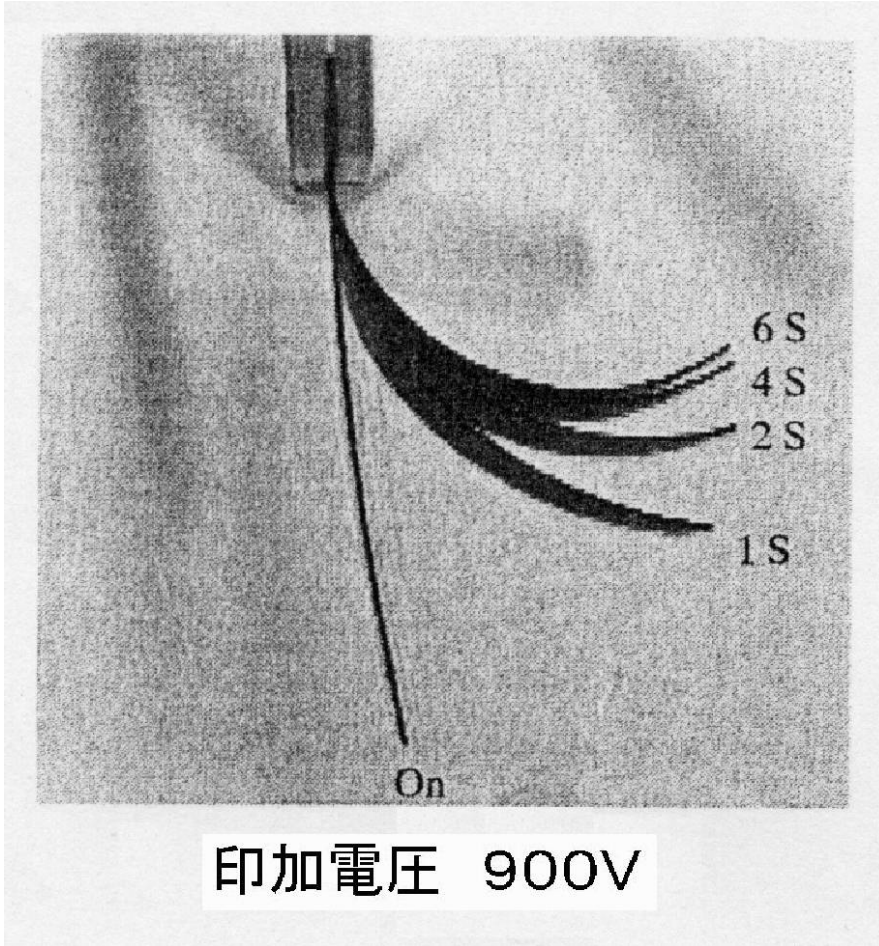
【 図 9 】



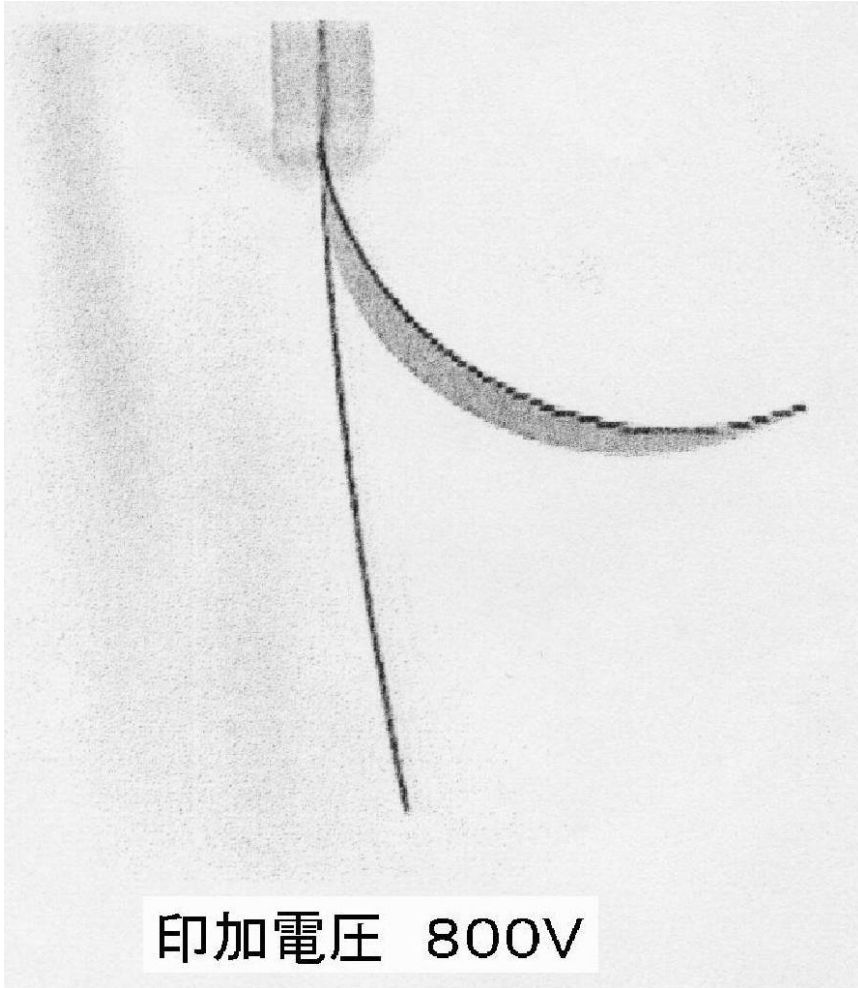
【図 10】



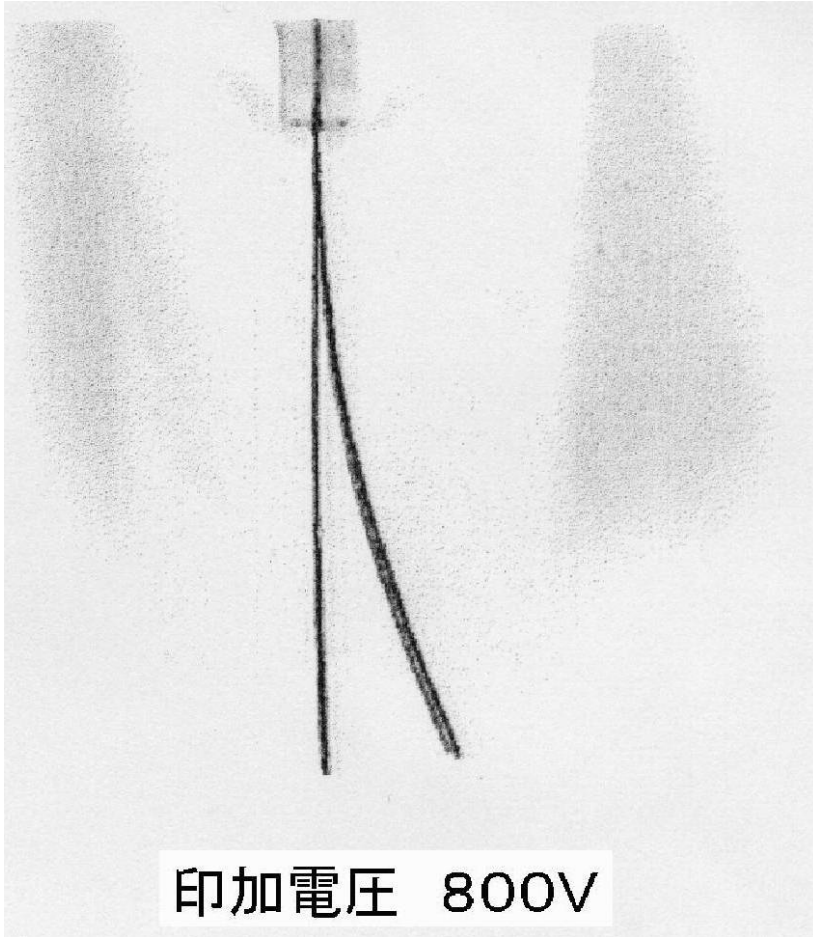
【図 11】



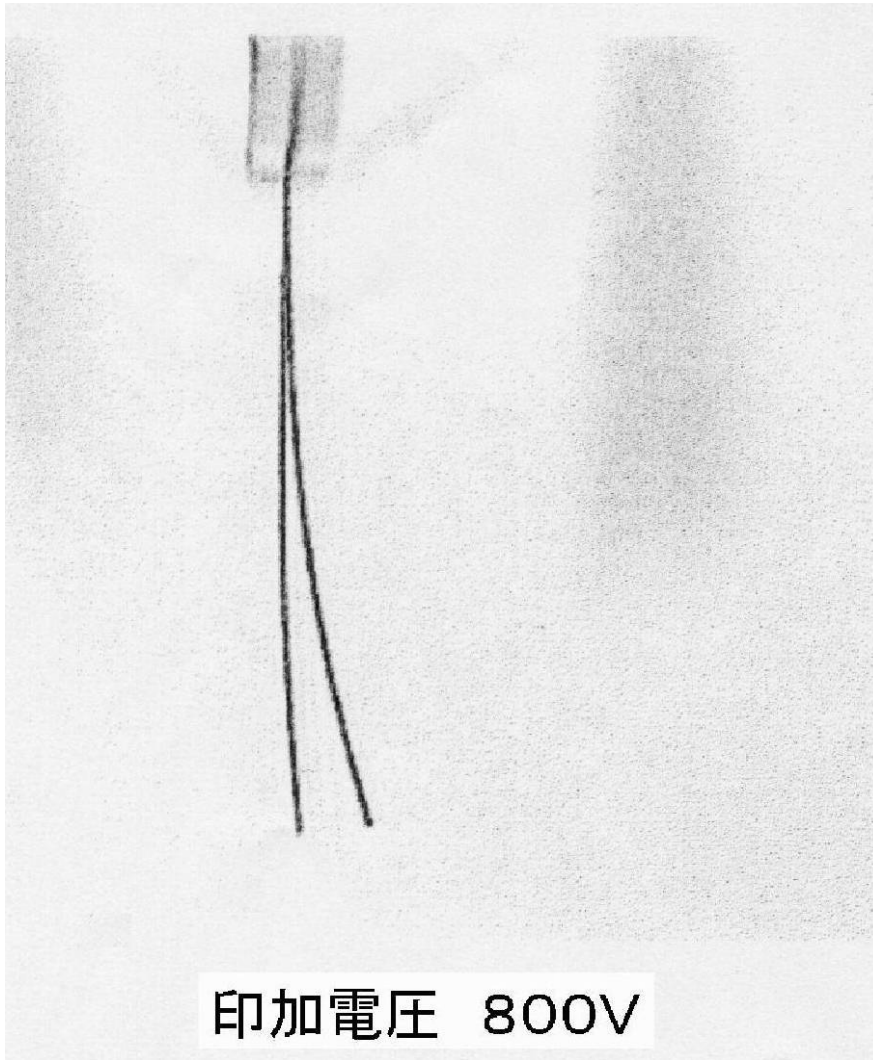
【図 12】



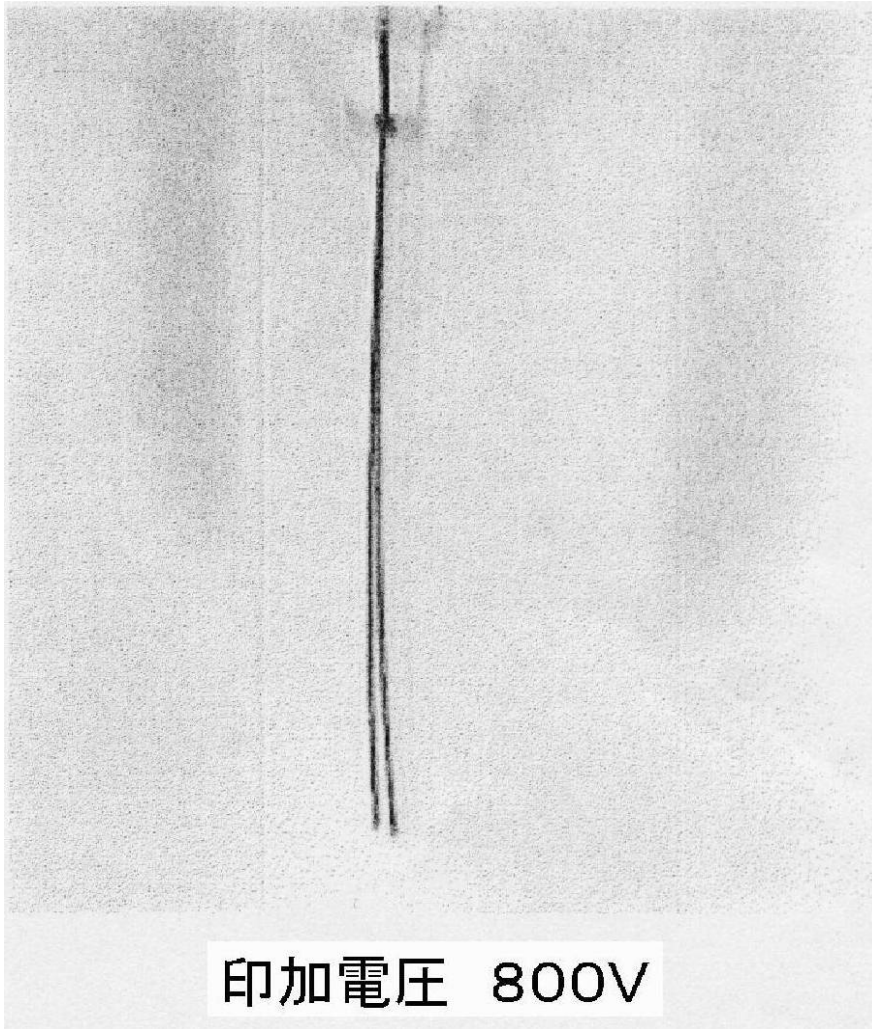
【図 13】



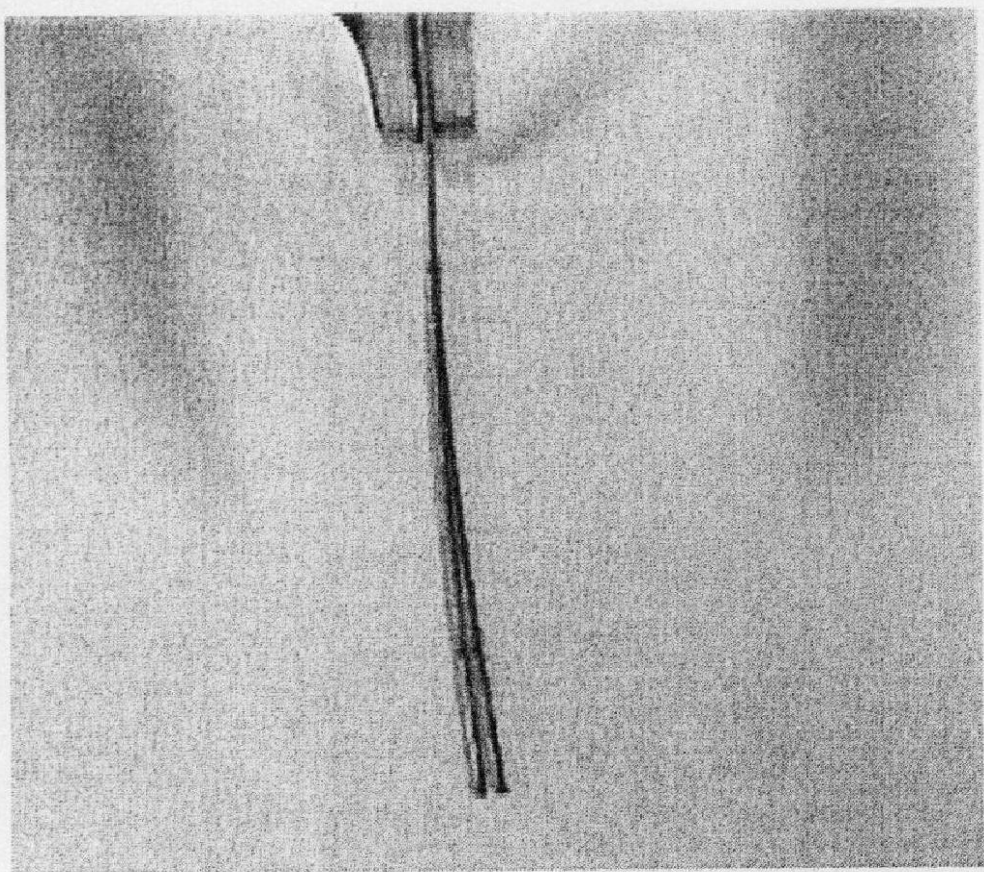
【図 14】



【図 15】



【図 16】



印加電圧 800V

フロントページの続き

(56)参考文献 特表2003-505865(JP,A)
特表2003-500325(JP,A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)
H01L 41/09
H01L 41/193