

科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成25年5月25日現在

機関番号：17401

研究種目：基盤研究（C）

研究期間：2010～2012

課題番号：22560097

研究課題名（和文） 超柔軟・ナノ構造を有する神経刺激電極用パリレン金属ケーブルの機械的電気的特性

研究課題名（英文） MECHANICAL AND ELECTRICAL PROPERTIES OF A NANO-STRUCTURED FLEXIBLE PARYLENE-METALLIC CABLE FOR RETINAL STIMULATION

研究代表者

陳 強 (CHEN QIANG)

熊本大学・国際化推進センター・教授

研究者番号：30264451

研究成果の概要（和文）：

超柔軟・ナノ構造を有する神経刺激電極用パリレン白金ケーブルの更なる微小化・実用化をはかるため、その機械的変形特性および電気抵抗率を多チャンネル同時に調べることが可能なマルチファンクション引張試験システムを開発した。更に、開発引張試験システムを用いてパリレン白金ケーブルの機械的および電気的性質に及ぼす膜厚の影響、さらにアニールリング熱処理温度の影響を明らかにし、機械的電気的信頼性を考慮したパリレン白金ケーブルの最適な微小構造を提案した。

研究成果の概要（英文）：

A novel tensile testing system with multifunction and high precision was developed to investigate simultaneously both the mechanical deformation behavior and the electrical resistance rate of a nanostructured super-flexible parylene platinum microcable that has multichannel to transport mimicked electric signals to stimulate retina nerves so as to recover partially visibility for patients who is suffering visual diseases. In the present study, the size effect of parylene thin film and the influence of annealing temperature on the mechanical and electrical properties of the parylene platinum microcable were examined by using the developed tensile testing system. Analysis was made for the optimization and the miniaturization of the parylene platinum microcable by taking into account the size effect and annealing influence as well as its mechanical and electric reliability.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2010年度	1,200,000	360,000	1,560,000
2011年度	1,200,000	360,000	1,560,000
2012年度	900,000	270,000	1,170,000
総計	3,300,000	990,000	4,290,000

研究分野：工学

科研費の分科・細目：機械工学、機械材料・材料力学

キーワード：パリレン、白金、薄膜、引張、機械電気特性、高温、紫外線照射

1. 研究開始当初の背景

成人病などで失明者が年々増えるため、失明者の視覚を再生させようという「人工眼（Visual prosthesis）」の研究開発は

BrindleyとLevinが1968年に52歳の男性失明者に対して行った80本の白金電極による視野刺激（*J. Physiol.*, vol. 196, pp. 479-493, 1968）を皮切に、世界各所で行われている。

人工眼では脳内に埋め込んだ刺激電極を通じて、視覚情報に対応した電気信号で視覚系神経を刺激し視感覚を回復させる(図1)。その際、高空間分解能で多チャンネルに人工視覚信号を刺激電極へ送るケーブルが不可欠であり、将来的には1000チャンネルに達するとも言われている。即ち、生体内に限られた空間で高密度な金属配線が必要となり、MEMSと呼ばれる半導体微細加工技術が適用されている。然しながら、金属配線(アレー)密度を高めるに伴い、金属アレーの厚さと間隔を共に大幅に減らせなければならないが、配線の電気抵抗率が急激に上昇したり、導通不能になったりする恐れがある。従って、金属アレーの微小化限界を知ることが重要である。残念ながら、現時点ではそれに関する情報はほとんど得られない。

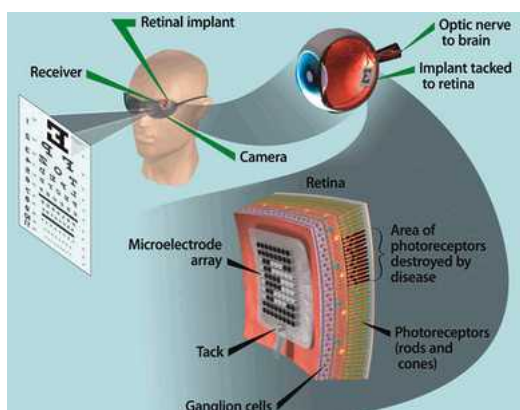


図1 「人工眼」のイメージ図

一方、高分子材料のパリレン C (以下パリレンと記す) は常温でコンフォーマルコーティングができ、生体適合性もよく、絶縁性があり、薄膜にすると柔軟性があるので、神経電極の保護材料(図2)として多大な注目を集めている。然しながら、パリレン薄膜が過酷な力学負荷を受けるにもかかわらず、その機械的特性についてはあまり研究されておらず、また、その機械的性質の評価法も確立されていない。従って、パリレン薄膜の信頼性評価は急務である。

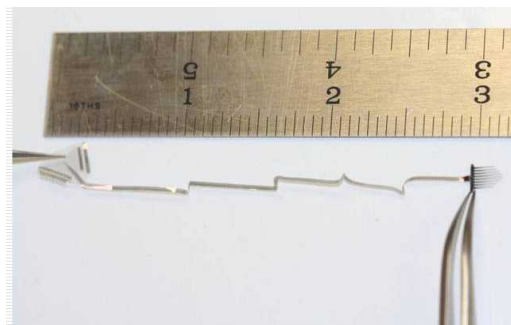


図2 パリレン白金マイクロケーブルの実例写真

2. 研究の目的

超柔軟・ナノ構造を有する神経刺激電極用パリレン白金ケーブルの更なる微小化・実用化をはかるため、その機械的変形特性および電気抵抗率を多チャンネル同時に調べることが可能なマルチファンクション引張試験システムを開発するとともに、その機械的電気的性質と薄膜厚さ特に白金の膜厚の関係、さらにアニールリング熱処理温度の影響を明らかにし、機械的電気的信頼性を考慮したパリレン白金ケーブルの最適な微小構造及び使用条件を発見する。

3. 研究の方法

超柔軟・ナノ構造を有する神経刺激電極用パリレン金属ケーブルの機械的電気的特性を調べるため、高分解能で変位制御が可能なサーボモーター駆動リニアアクチュエータと極小力を・N(マイクロニュートン)オーダーで検出できるフォースセンサーを用いて、厚さがわずか数マイクロまで極薄くて柔らかいパリレン金属ケーブルの引張試験システムを開発する。また、半導体微細加工技術を利用し、300ナノメートルの厚さを有する白金アレイをパリレン薄膜で保護したパリレン白金ケーブル(図3)を作製する。

作製したパリレン白金ケーブルを対象に引張試験を行い、その機械的特性(例えば降伏強さ)や電気的特性(抵抗率)、破壊メカニズムを調べる。更に、本材料の機械的電気的特性及び破壊メカニズムに及ぼす薄膜の厚さおよびアニールリング温度の影響を明らかにし、信頼性を考慮したパリレン白金ケーブルの最適な微小化構造を提案する。

4. 研究成果

(1) 主な成果

①高精度リニアアクチュエータを駆動源として、厚さ 300 ナノから 12 ミクロンまでの神経刺激電極用パリレン白金マイクロケーブルの電気抵抗信号を引張試験中でリアルタイムに検出できるマルチファンクション引張試験システムを開発した (図 4)。引張破断した試験片の光学写真を図 5 に示す。

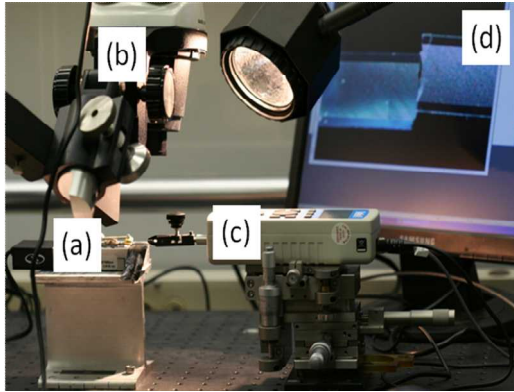


図 4 パリレン金属ケーブル引張試験装置：(a) アクチュエータ (b) マイクロスコップ (c) フォースセンサー (d) パソコンモニター

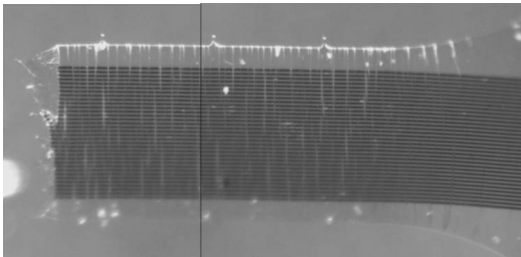


図 5 パリレン金属ケーブル引張破壊の光学写真

②弾性変形および塑性変形のいずれの領域においても、本研究で開発した引張試験装置の再現性が非常によい結果となった。膜厚 10 μm のパリレン C 薄膜の引張特性を調べた結果、ヤング率は 2.8 GPa、降伏伸びは 2.9 % で、それぞれ SCS 社や PCS 社の公表値とよく一致しており、開発した引張試験システムの信憑性が高いといえる (図 6、表 1)。

③パリレン薄膜の機械的特性に及ぼすパリレン厚さの影響を表 1 に示す。膜厚は 10 μm から 1 μm まで減少した場合、降伏強さと引張強さはわずかに低下したに対し、降伏伸び率は著しく減少した。ゆえに、ヤング率は 2.8 GPa から 3.6 GPa まで上昇した。引張破断寸前の様子を図 7 に示す。膜厚は 0.3 μm の場

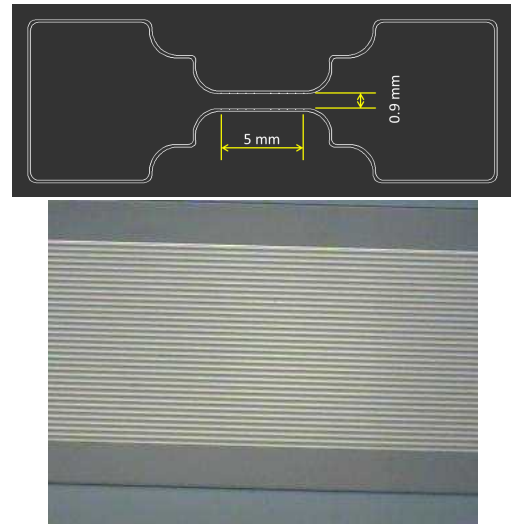


図 3 パリレン金属ケーブル引張試験片の形状と寸法を示す図 (上) 及び実写ビュー (下)

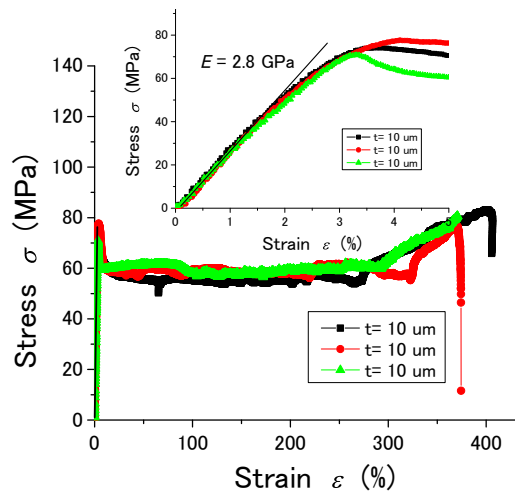


図 6 パリレン C の応力-ひずみ曲線 ($t=10\ \mu\text{m}$)

Table 1 Tensile properties of Parylene C

t [μm]	E [GPa]	σ_Y [MPa]	σ_B [MPa]	ϕ' [%]	ϕ [%]
10	2.8	72 - 77	78 - 84	2.9	370 - 410
4	2.9	73 - 74	75 - 78	2.9	410 - 420
1	3.6	60 - 69	57 - 60	1.9	170 - 190
0.3	-	45 - 55	60 - 74	-	150 - 186
SCS [®]	2.8	55	70	2.9	20 - 200
PCS SM	3.2	55	69	2.9	200

(Note: t =Thickness; E =Young Modulus; σ_Y =Yield Strength; σ_B =Tensile Strength; ϕ' =Yield Elongation; ϕ =Elongation at break)

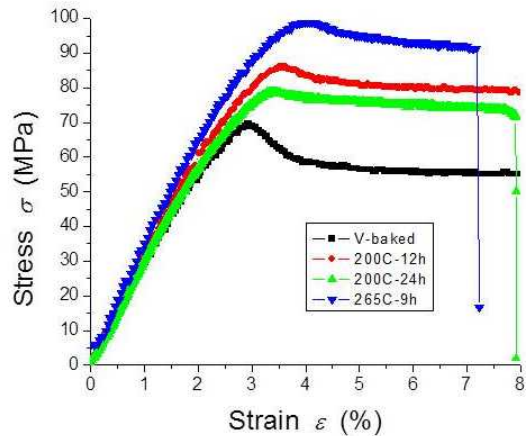


図8 パリレン金属ケーブル引張試験装置：(a) アクチュエータ (b) マイクロスコープ (c) フォースセンサー (d) パソコンモニター

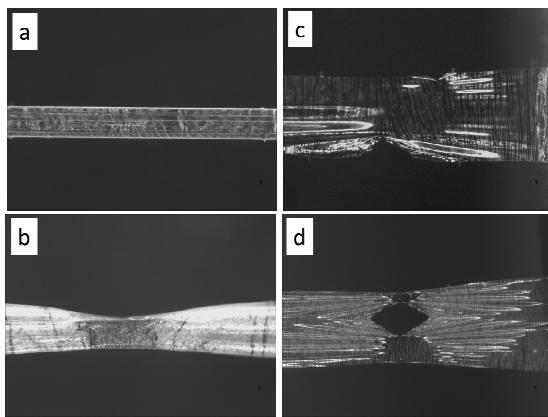


図7 膜厚 10 μm(a)から 0.3 μm(d)まで減少した場合パリレンC 薄膜破断前の光学写真

合、上述のような膜厚の影響がより顕著に表す傾向が見られるが、試験片の取付け及び力の検出に限界があった。

④パリレン薄膜の機械的特性および破壊メカニズムに及ぼすアニーリングの影響を明らかにした(図8)。パリレンC薄膜は生体適合材料としてBioMEMSデバイスに使用される際、通常、クリーンルーム大気中で100°C1時間程度のベーキングが施される。さらに真空中、265°C9hのアニーリングを施すと、降伏強さは約2割程度上昇したに対し、伸び率数パーセントまで急減した。なお、通常のベーキング処理と違って真空中ベーキング処理されたパリレン薄膜はその後の真空アニーリングの温度上昇につれ、降伏強さや静強度が徐々に増加した。しかしながら、パリレン薄膜の柔軟性が著しく損なわれた。

⑤本研究の場合、パリレン白金ケーブルの降伏強さや破壊メカニズム、柔軟性に及ぼす白金薄膜の影響が大きく、超柔軟・ナノ構造を有する神経刺激電極用パリレン白金ケーブルの更なる微小化・実用化をはかるためには、白金薄膜の構造が大変重要であることがわかった。また、神経刺激電気信号を確実に伝送するために、パリレン白金ケーブルの電気抵抗変化率の許容範囲は20~25%が限界だと考えられる。従って、パリレン白金ケーブルの機械的強度を維持しながら、電気信号を正確に伝達するための白金アレーの厚さ及びバンド幅をそれぞれ200nmと10μm以上にする必要がある。

(2) 得られた成果の国内外における位置づけとインパクト

パリレンは高分子材料として、白金は電極材料として、それぞれ新しいものではないが、パリレン薄膜を MEMS という半導体微細加工技術により生体内移植・刺激材料のコーティング材料として利用されるのはあまり年月が立ってない。すなわち、パリレン白金の薄膜複合材料の機械的性質もしくはその電気的特性を対象とした研究は国内・海外でもあまり類は見ない。従って、本研究は非常に新鮮で、独創的なものと考えられる。また、引張変形過程において被試験材料の機械的および電気的特性を同時に調べる研究もこれまであまり多くないので、本研究はこの点において学術的にも実用的にも特色があると考えられる。本研究で利用した研究方法や得られた結果は、ほかの類似研究にも応用できるので、学術的にも社会的にも波及効果があると思われる。

(3) 今後の展望

膜厚は 0.3 μm まで減少した場合、上述のような膜厚の影響はより顕著に表す傾向が見られるが、薄膜が降伏するまでに薄膜に働く力は極めて小さかったため、それを精確に検出する必要がある。

纏めた結果を現在国際学術会議での発表を申し込んでおり、同時に学術ジャーナルへ投稿している。

5. 主な発表論文等

[学会発表] (計1件)

1. 陳強、皮籠石紀雄、橋口原、鈴木孝明、

Y-C. Tai、「バリレン C 薄膜の引張特性に及ぼす膜厚の影響」、日本機械学会 M&M2011 材料力学カンファレンス、2011.7.15、九州工業大学（北九州）

6. 研究組織

(1) 研究代表者

陳 強 (CHEN QIANG)
熊本大学・国際化推進センター・教授
研究者番号：30264451

(2) 研究分担者

永橋 優純 (NAGAHASHI YUSUMI)
高知工業高等専門学校・機械工学科・教授
研究者番号：80208040

(3) 連携研究者

戴 秉昌 (TAI YU-CHONG)
米・カリフォルニア工科大学・電気工学科・教授
研究者番号：なし