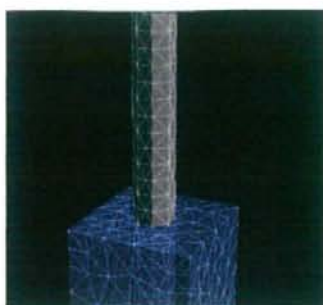




W針長さ1000 μm の場合

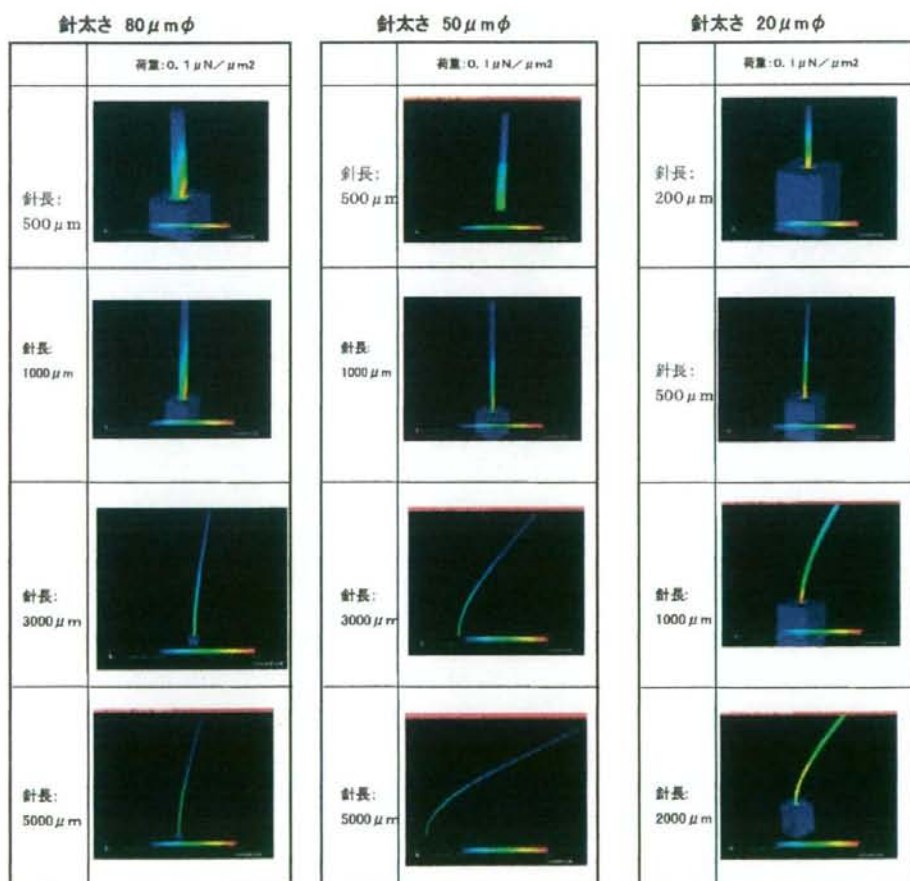
Glass基板を半透明にし、W差込み部が見えるようにしています



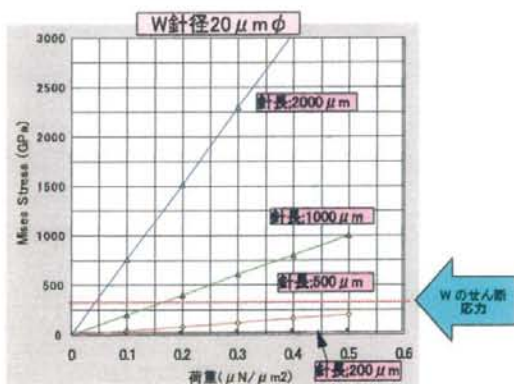
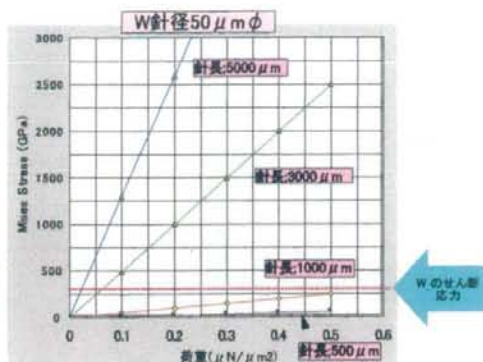
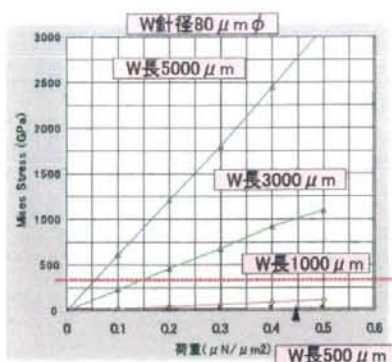
メッシュ型 テトラヘドロン
メッシュサイズ 20~40 μm

※せん断応力面指定のため、実際には針形状は六角形になっている。

針部分に発生した応力をカラー表示した、シミュレーション結果を下に示す。



また、せん断応力の針長さと、印加荷重依存性のシミュレーション結果を示す。



針径に対する許容針高さの推測

W針径 80 μm φ の場合 : 高さ 3mm 程度まで

W針径 50 μm φ の場合 : 高さ 2mm 程度まで

W針径 20 μm φ の場合 : 高さ 1mm 程度まで

以上のシミュレーションから、次のように考察された。

1) 針部分に発生する応力は針の基板出口部分を支点にしているが、出口付近から根元上まで応力が分散し、Siよりも弾性があることが分かる。

2) 応力は針の長さが増加するに従い増加するため、神経記録装置の機械強度を保つためには極力針の長さを短くするべきであるが、Si針よりは弾性力も大きく、耐せん断応力値も高いので、針の長さを長く設定できる。

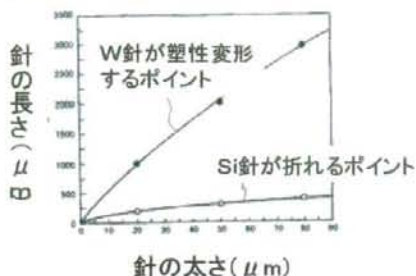
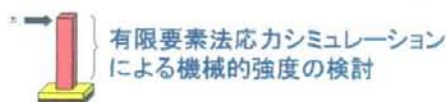
3) Wのせん断応力 (~300 GPa) を考慮す

ると、今回のシミュレーションから得られる装置寸法仕様は、針長さ1~3mm (針径20~80 μm) / 最大印加荷重 0.2 μN/μm² であると考えられる。

上記の、SiとWを材質とした針の、シミュレーション結果から、Siのストレート鍼とWストレート鍼では、同じ太さで約1桁の耐応力性の差があることが分かった。Siは加工しやすくより小型化したデバイス製作には有効であると考えられるが、Si鍼を使用する場合はストレート構造では折れやすく、神経束中で折れた場合

には神経障害へ発展する危険性も想定される。従って、神経活動を安全かつ確に記録し、且

つ刺激する実用型デバイスとして、W鍼を針材とするのが望ましいと考えられた。

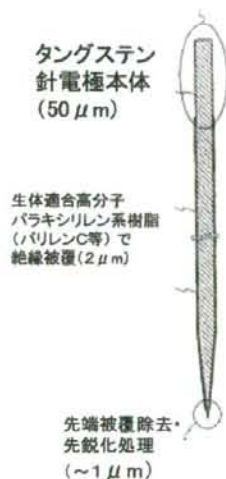


- Si針は、機械的強度が弱く、実用に不向き
- W針は、機械的強度・耐剪断応力性に優れ（針全体に応力分散）自由な針長の微細電極アレイを製作可能

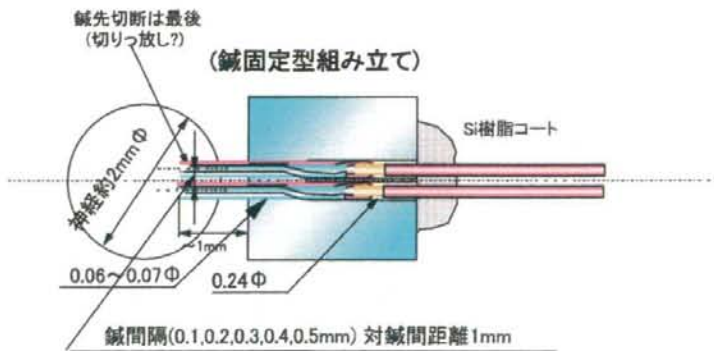
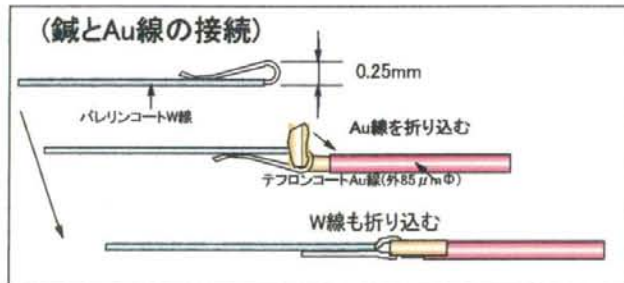
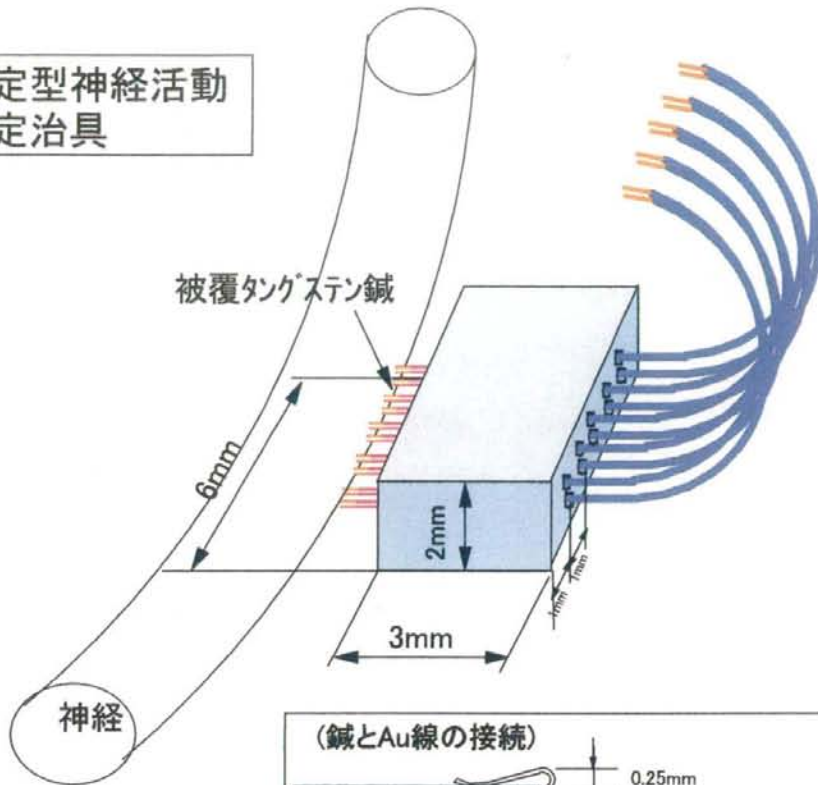
H18-2. W針電極アレイの1次試作

針材をタングステンに決定し、安全生体材料（パリレン）を薄膜コート（2μm）し、電解エッチングで先端ナノ先鋭化処理し、ウサギ腓骨・脛骨神経への刺入テストによって、神経膜貫通性や強度の点から針シャフト径を50μmと決定した。

先ず実際に動物神経でテストするためのW鍼用の台座構造案を考えた。下図に示すように、一对をなすW鍼の間隔を100~500μmとし、図のような穴間隔の異なる複数（10本）の鍼を1つの樹脂台座にAu線を絡めた上体で植え込み、Si接着剤などで固定する構造を考えた。

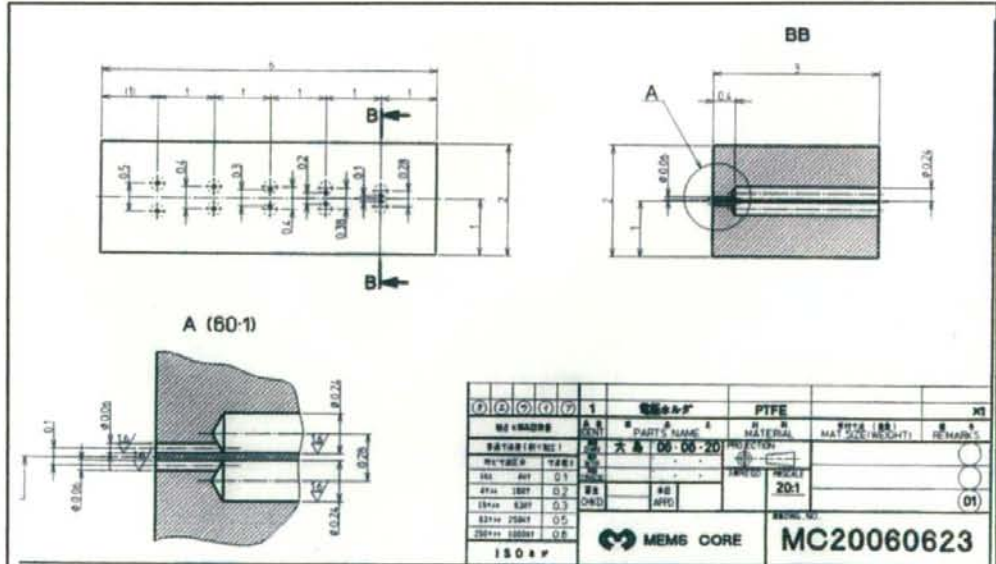
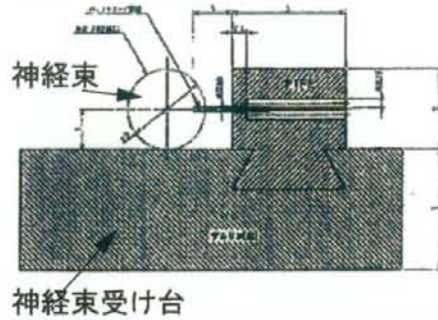
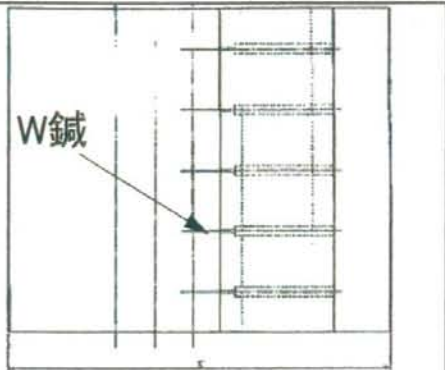
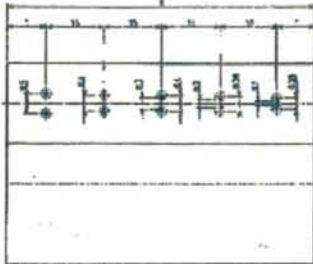


固定型神経活動測定治具



MEMS CORE		TK2100893
-----------	--	-----------

鍍対穴間隔100~500 μm
穴ピッチ1mm



上記電極アレイを、ウサギ腓骨・脛骨神経への刺入するテストによって、神経膜貫通性や強度の点から針シャフト径を $50\mu\text{m}$ と決定した。また、神経束内に交感神経線維が大半を占めると考えられる腎臓交感神経に電極アレイを装着した所、腎臓交感神経活動を記録できた。そこで、装置の2次へと開発を進めた。

H18-3. W針電極アレイの2次試作

2次試作装置の基本構成と製作プロセス概略を示す。

プロセス1

Siフィードスルー電極付マイコンデバイスチップ

フィードスルー貫通電極



マイコンデバイス形成領域

プロセス2

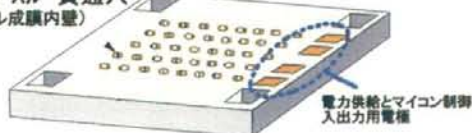
SiフィードスルーCu埋め込み

埋め込みメタルめっき
(Au, Cuなどの柔らかい金属)

電極パッド形成



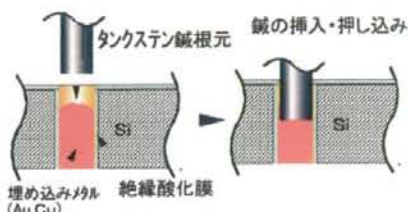
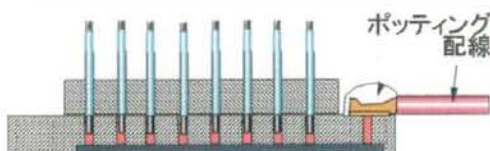
フィードスルー貫通穴
(メタル成膜内壁)



プロセス3

鍍付ベースとマイコンチップの合体

(鍍電極とマイコンの接続)



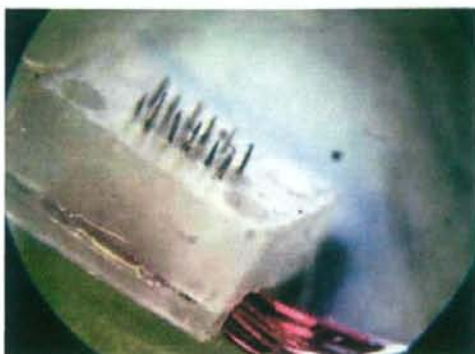
実際に、W針を電極間隔 $100\mu\text{m}$ に2列12ピン集積化した装置を下に示す。これは、世界最小レベルの電極アレイの神経装置である。ヒト自律神経モニターに用いる神経は直径 $0.5\text{--}1.5\text{cm}$ であり、この仕様で $50\text{--}150$ 本の針電極を1本の神経に挿入できるため、この電極アレイは、実用に十分な空間分解能(神経線維選択能)であると考えられる。

<装置全体>





<電極アレイ>



<針電極>



H19年度


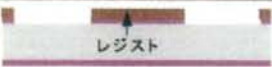
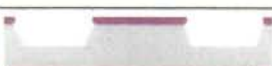
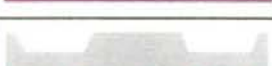




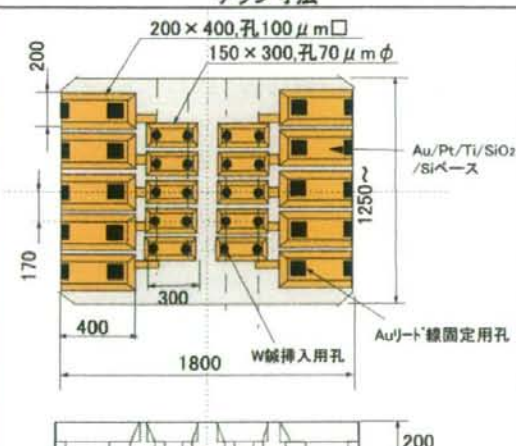
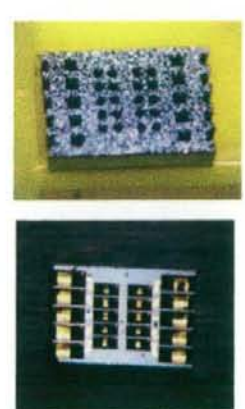
意識化動物における慢性使用へ向けて神経装置を改良した。

H19-1. 鍼デバイスの改良

長期間使用に耐えるようMEMS加工によって神経装置を改良した。針デバイス部はまず、Si製装置台座の裏面に針電極受部を形成（ウェットエッチング）、台座表面から針穴を貫通（ドライエッチング）、Si全面を絶縁被膜（熱酸化法）、酸化膜上にAu/Pt/Tiスパッタ成膜、フォトリソで配線パターン形成したフィードスルー基板を製作した。次に、裏面側から針電極を挿入、導電性樹脂でAu配線と導通、硬化型樹脂で電極固定、配線引き出しパッドからAu細線を接続、底板とSi台座をSi接着剤で接着し、裏面配線・電極部を完全シール保護した。この工程により電極・配線の接続・固定を格段に強固にできた。

Wの鍼を立てて固定し、配線を取り出すベース部分をSiウエハを使ったリソグラフ技術とエッチング及び成膜技術により作成した。次頁にプロセスフローを示す。

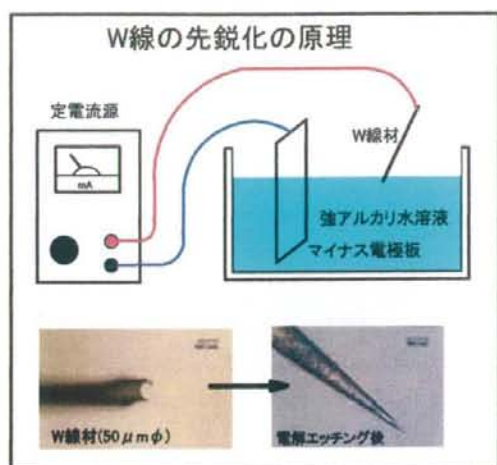
Si製鍍ベース部材製作プロセス

大工程	断面図	プロセス	使用装置
1 Siウエハ熱酸化		(100)高抵抗(1kΩcm) 3インチ, 0.2mmt スチーム酸化(1100°C)	酸化炉
2 リソグラフィ(段差形成)		酸化膜ハターニング BHF処理	ウエットエッチング器具
3 異方性ウエットエッチング		THAH処理 (アルカリエッチング)	アルカリエッチング処理装置
4 リソグラフィ(貫通孔形成)		表面酸化膜ハターニング BHF処理	ウエットエッチング器具
5 異方性ドライエッチング		DRIE処理 (Deep reactive Ion Etching)	DRIE装置
6 再熱酸化		スチーム酸化 (1100°C) 1.5μm	酸化炉
7 メタルスパッタ		Au/Pt/Ti (300/250/500nm)	3元スパッタ装置
8 リソグラフィ(メタライズ)		ミリング(Arドライエッチング)	ミリング装置
9 洗浄・小片化		カッティング	ダイシング装置
チップ寸法		チップ実物写真 (表・裏)	
			

H19-2. W線の製作

<鍼先の先鋭化処理>

W鍼は $50\mu\text{m}$ φの線材を用い、電解エッチングによって先端を針状に尖らせた。その原理を下図に示す。



Wの電解エッチング液は、KOH水溶液(40wt%)を用いた。電極板は導通が取れてアルカリに強い金属であれば良いため、Crメッキされた薄い鉄板を使用した。W線に定電流源のプラス極からリード線をワニ口クリップなどで接続し、マイナス電極板の入ったKOH水溶液に先端2mm程度を投入し通電する。WはKOH水溶液中にWイオンとして溶解し、先端から細くなり、先鋭化される。反応中は泡が発生する。水溶液から取り出す目安は先端が尖ってくると電圧表示が急に高くなるのでその時点で取り出すとほぼ同じ形状の針が得られる。

<絶縁被覆>

W鍼に絶縁膜を形成した。絶縁膜は、撥水性、耐薬品性にも優れて安定な有機膜として医療器具分野、電子回路分野などに広く使われているポリパラキレン(バリレン)樹脂を使用した。これはCVD(Chemical Vapor Deposition)によるので、分子レベル

でのコンフォーマルな膜付けが可能である。プロセスは以下の通りである。

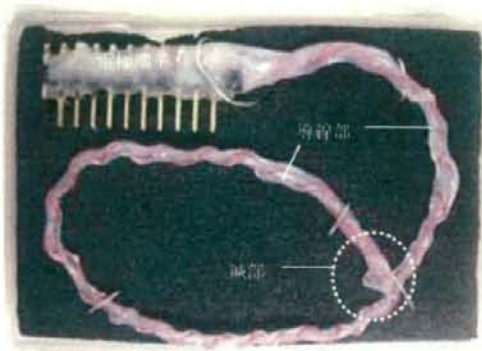
- 原料ダルマー(粉末・パラキシリレン2量体)を気化室に入れて加熱する。
- 加熱蒸発したダルマーは、高温の熱分解室に導かれて、ここで反応性の高いラジカルなモノマー(バラキシリレン)になる。
- ラジカル化した蒸気が蒸着室内で物体に接し、そこで重合して高分子膜(バリレン樹脂膜)を生成する。

下図に、W鍼に $5\mu\text{m}$ 厚でCVDしたバリレン膜を鍼先端のみ被覆除去した状態の写真を示す。



H19-3. 鍼デバイスの製作

鍼デバイスは、Si台座の中央部にバリレンコートW鍼(W線 $50\mu\text{m}$ φ、バリレン $5\mu\text{m}$ 厚)を挿入固定した鍼部と、同じくSi台座にウレタンコートAu線(Au線 $60\mu\text{m}$ φ、ウレタン $7.5\mu\text{m}$ 厚)を導通接続した導線部(約15cm)と電極端子(差動アンプとの接続端子)を主な構成部材としている。下図に完成したデバイスの写真を示す。



組立て手順の概要を、以下に示す。

(A) W鍼のSiベースへの取り付け (表A)

W鍼は、Si台座表面から、0.3~0.5mm程度突き出るように長さを調整した。またSiベースの鍼受け部にパリレン被覆を除去して根元を90度折り曲げて、Siベースに固定・接着できるようにした。鍼受け部にAgペーストを満たし、~150℃で数分間乾燥・固化により、鍼と後のリード線への電気的導通経路を保ちつつしっかり固定する。

(B) Au配線の接続と伸縮機構の製作 (表B)

ウレタン被覆を約20mm程度除去したAu線を、Siベースの両端に形成したリード線固定孔へ挿入し、孔に巻きつけて仮固定する。次にAgペーストでAu線のあるパッド部全体を満たし、固化させる。乾燥後、Agペーストによる電気的リークがないことを確認し、余分なAu線を取り除き、Si樹脂をSi台座全体に塗布して絶縁を兼ねた保護を兼ねた処理を施す。

次に、図B 3-①に示すように、神経固定用のSiチューブを準備し、針デバイスを一部をくり抜いたSiチューブへ写真に示したように挿入・接着固定する。最後にチューブの長さを5mm程度にし、神経鞘を投入する切れ目を入れる。

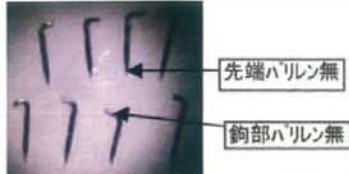





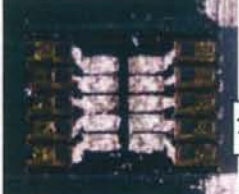

(C) 電極分岐端子の接続と固定 (表C)

Auワイヤーは、10本のW鍼と電気的にそれぞれ独立接続される必要があるため、電極端子のNo.と鍼の関係が明確である必要がある。このため、Au線1本1本にNo札をつけ、電極端子に順番に接続される。また10本のAu線に伸縮性をもたせるために、Siチューブに螺旋状に巻き付け固定した。Siチューブは、鍼デバイス部のSiチューブと電極端子にしっかり接着固定される。








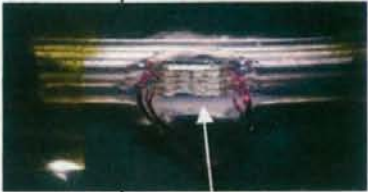


(D) 配線 (表D)

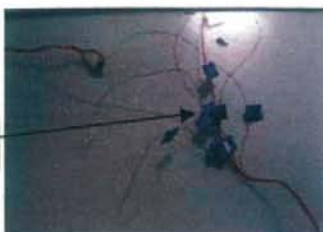
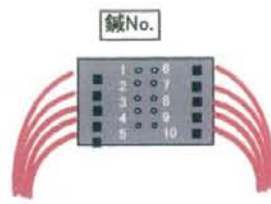

マウントベース治具に対し、Au線の末端を表Dに示す手順で接続して行く。基本的にAgペーストで導通を取り、固定する方法は変わらない。最後にAu線を巻き付けているSiチューブとマウントベースを接着固定し、完成となる。

表A

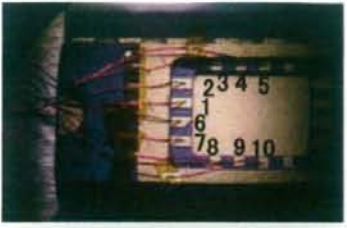





大工程	断面鳥瞰図・写真	プロセス・写真
1 W鍍の形成		<p>鍍先端のバリレンコート を除去し、先端から400 μm ~600 μmの長さで曲げ 曲げたところを150 μm 程度残してカットし、バリレン も除去する。</p>
2 Si台座アセンブリ		Si台座断面
①Agペースト		Agペースト注入
②鍍挿入		
③Agペースト充填 乾燥・硬化	  <p>上から見た実際の写真 10本の植え込み終了</p>	Agペーストで完全に埋込み
④ Agペースト		150°C乾燥・固化

表B

<p>⑤Au線挿入巻付け</p>		
<p>リード線引き出しパッド部</p>	 <p>150°C乾燥・固化</p>	
<p>⑦Au線調整・樹脂被覆</p>	 <p>Si樹脂</p>	
<p>3 神経固定治具形成 ①Siチューブと一体化</p>	 <p>Siチューブ(1×2mm φ or 1.5×2.5mm φ)に穴を開け、鍍デバイス本体をSi樹脂で固定</p>	 <p>Si樹脂</p>
<p>②神経挿入用の切れ目を入れる</p>		 <p>チューブ孔側から見た状</p>

4	Auワイヤー処理 ① 鍼とNo.が一致するようにAu線に番号札をつける 1~10まで1枚ずつNo.が振ってある	 
② Auワイヤーを束ねて振り合わせ1束のリード線とし、Si樹脂を塗って保護する。 更に外径1mm程度のSiチューブを少し伸ばした状態で固定し、これにリード線の束を巻きつけ、Si接着材で固定する。固まったら伸ばしていたSiチューブを開放する。リード部は伸縮可能なリード線になっている。リード線は、真直ぐな状態で280mm、Siチューブに巻き付けた状態で140~150mm程度になる。30~40mmはSiチューブごと引き伸ばせる構造になっている。		
③ 鍼デバイス部とSiチューブを、エポキシ樹脂及びSi接着剤により固着する。		
④ Au端子と電極端子との接続 ※引き出し電極端子として用いたIC電極端子類		
IC用マウントベース 16ピンタイプ IC用マウントベース 12ピンタイプ		


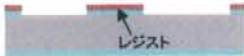





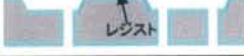

表D

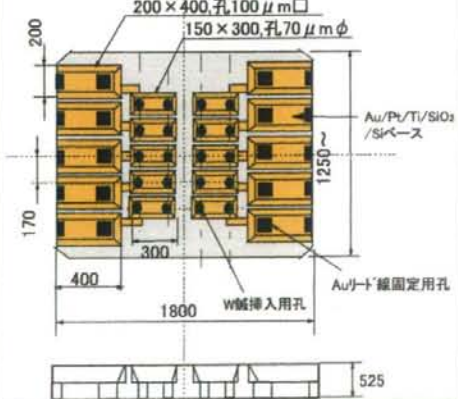
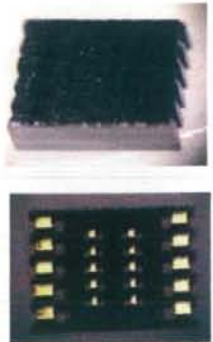
<p>④-1. 配線の仮固定 (ICマウントベース)</p>		<p>片側の端子5本づつ使用 マウント面の端子パッドへ Au線1本づつテープで仮止め</p>
<p>④-2. Agペースト固定 エポキシ樹脂</p>		<p>Agペーストで接続し、固化させる エポキシ樹脂で被覆し、更に Si樹脂でベース部分全体を コート</p>
<p>(配線接続ターミナル)</p> <p>⑤-1Au線の巻き付け</p> <p>⑤-2配線固定・まとめ</p> <p>⑤-3電極端子固定一体化</p>	  	<p>短い端子側にAu線を巻き付ける Agペーストで固定</p> <p>Siチューブを電極端子へ接着</p> <p>余ったリード線の束をまとめて Siチューブへ巻き付けしっかり 接着・固定</p>
<p>(完成例)</p>		

H20-1. W鍍デバイス用Si製鍍ベースの製作

Wの鍍を立てて固定し、配線を取り出すベース部分をSiウエハを使ったリソグラフ技術とエッチング及び成膜技術により作成した。表1にプロセスフローを示す。

表1 Si製鍍ベース部材製作プロセス

大工程	断面図	プロセス	使用装置
1 Siウエハ熱酸化		(100)高抵抗(1kΩcm) 4インチ, 0.525mmt スチーム酸化(1100°C)	酸化炉
2 リソグラフ(段差形成)		酸化膜パターンニング BHF処理	ウエットエッチング器具
3 異方性ウエットエッチング		THAH処理 (アルカリエッチング)	アルカリエッチング処理装置
4 リソグラフ(貫通孔形成)		表面酸化膜パターンニング BHF処理	ウエットエッチング器具
5 異方性ドライエッチング		DRIE処理 (Deep Reactive Ion Etching)	DRIE装置
6 再熱酸化		スチーム酸化 (1100°C) 1.5 μm	酸化炉
7 リソグラフ(メタライズ)			
8 メタルスパッタ		Au/Pt/Ti (300/25/50nm)	3元スパッタ装置
9 メタライズ		リフトオフ	
10 洗浄・小片化		カッティング	ダイシング装置

チップ寸法	チップ実物写真(表・裏)
	

H20-2. W鍼の製作

<線材の先鋭化の原理>

W鍼は、50 μ m ϕ の線材を用い、電解エッチングによって先端を針状に尖らせた。図1に、電解エッチング法の原理とW線のエッチング例を示す。

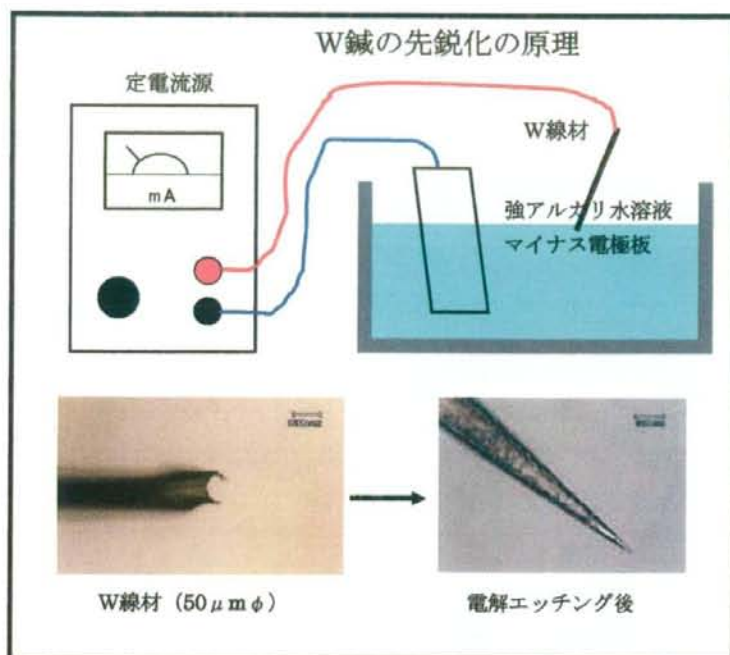


図1 電解エッチング法によるW鍼形成

Wの電解エッチング液は、KOH水溶液(40wt%)を用いた。電極板は導通が取れてアルカリに強い金属であれば良い。今回はCrめっきされた薄い鉄板を使用した。

W線に定電流源のプラス極からリード線をワニ口クリップなどで接続し、マイナス電極板の入ったKOH水溶液に先端2mm程度を投入し通電する。WはKOH水溶液中にWイオンとして溶解し、先端から細くなり、最終的に図1右下の写真のように先鋭化される。反応中は泡が発生する。水溶液から取り出す目安は先端が尖ってくると電圧表示が急に高くなるのでその時点で取り出すとほぼ同じ形状の針が得られる。

<有機コーティング(パリレンコート)>

W鍼に絶縁膜を形成する。絶縁膜は、撥水性、耐薬品性にも優れて安定な有機膜として医療器具分野、電子回路分野などに広く使われているポリパラキシレン(パリレン)樹脂を使用した(アウトソースにて製作)。これはCVD(Chemical Vapor Deposition)によるので、分子レベルでのコンフォーマルな膜付けが可能である。プロセスは以下の通りである。

- 原料ダルマー(粉末・パラキシレン2量体)を気化室に入れて加熱する。
- 加熱蒸発したダルマーは、高温の熱分解室に導かれて、ここで反応性の高いラジカルなモノマー(パラキシレン)になる。
- ラジカル化した蒸気が蒸着室内で物体に接し、そこで重合して高分子膜(パリレン樹脂膜)を生成する。

図2に、W鍼に5 μ m厚でCVDしたパリレン膜を鍼先端のみ被覆除去した状態の写真を示す。



図2 パリレンコートW鍼(先端部リリース)

<鍼デバイス>

鍼デバイスは、Si台座の中央部にパリレンコートW鍼(W線50 μ m ϕ 、パリレン5 μ m厚)を挿入固定した鍼部と、同じくSi台座にウレタンコートAu線(Au線60 μ m ϕ 、ウレタン7.5 μ m厚)を導通接続した導線部(約15cm)と電極端子(差動アンプとの接続端子)を主な構成部材としている。図3にデバイス全体の写真を示す。

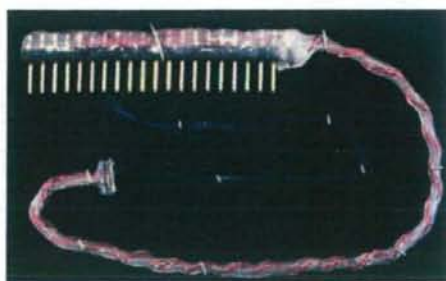


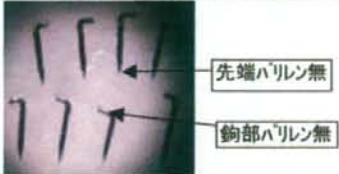
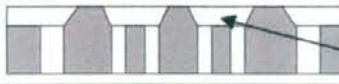
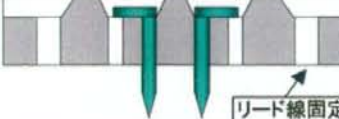

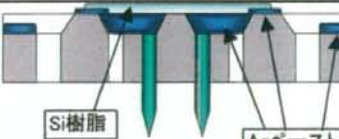
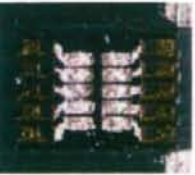
図3

鍍デバイス組立プロセスは、下記のとおりである。

組立プロセス（1） W鍍のSiベースへの取り付け(表3-1)

W鍍は、Si台座表面から、0.25~0.4mm程度突き出るように長さを調整した。またSiベースの鍍受け部にパリエレン被覆を除去して根元を90度折り曲げて、Siベースに固定・接着できるようにした。鍍受け部にAgペーストを満ちし、~150℃で数分間乾燥・固化により、鍍と後のリード線への電気的導通経路を保持しつつ固定する。

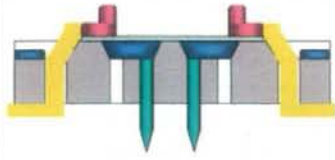

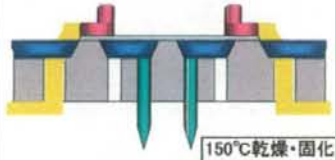




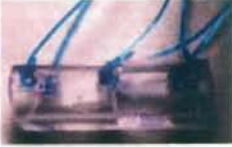


表 3-1 W線鍍形成と Si ベースへの取り付け

大工程	断面鳥瞰図・写真	プロセス・写真
1 W鍍の形成		<p>鍍先端のパリエレンコート を除去し、先端から650 μm ~800 μmの長さで曲げ 曲げたところを150 μm 程度残してカットし、パリエレン も除去する。</p>
2 Si台座アセンブリ		<p>Si台座断面 鍍受け部</p>
①鍍挿入		 <p>リード線固定孔</p>
②Agペースト充填 乾燥・硬化 ③硬化後 樹脂被覆		<p>Agペーストで完全に埋込み 150℃乾燥・固化</p>
	 <p>上から見た実際の写真 10本の挿え込み終了</p>	

組立てプロセス (2) Au配線の接続と伸縮機構の製作(表3-2)

ウレタン被覆を約2mm程度除去したAu線を、Siベースの両端に形成したリード線固定孔へ挿入し、孔に巻きつけて仮固定する(⑤)。次にAgペーストでAu線のあるパッド部全体を満たし、固化させる。乾燥後、Agペーストによる電氣的リークがないことを確認し、余分なAu線を取り除き、Si樹脂をSi台座全体に塗布して絶縁を兼ねた保護を兼ねた処理を施す(⑦)。

表 3-2 リード線の処理と神経固定用チューブの取り付け

⑤Au線挿入巻付け		
⑥Agペースト注入	 <p>150°C乾燥・固化</p>	
⑦Au線調整・樹脂被覆	 <p>Si樹脂</p>	
<p>3 神経固定治具形成</p> <p>①Siチューブに ナイロン糸取り付け</p>	 <p>Siチューブ</p> <p>糸抜け留め</p>	<p>Siチューブ(1.5×2.5mmφ)の 上部を90°切り取る。 台座固定部分を切り取る。 約40μm厚の糸抜け留めを通し ナイロン糸を6箇所に取り付ける。</p> 
②Siチューブと一体化	 <p>Siチューブ鍼デバイス本体を Si樹脂で固定</p>	 <p>チューブ横から見た状態</p>

次に、図3-2 3-①に示すように、神経固定用のSiチューブを準備し、上部90度を切り取る。鍼デバイス固定部分を切り抜き、手術糸プロリン6-0に糸抜け留めを通しチューブ6箇所10cmの長さで取り付け。最後に鍼デバイスをSiチューブへ挿入・接着固定する。