Verfahren zur Herstellung einer Elektrodenstruktur

Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Herstellung einer Elektrodenstruktur gemäß den Merkmalen des Anspruchs 1 sowie eine Elektrodenstruktur nach dem Oberbegriff des Anspruchs 15.

EP 1 488 827 A1 beschreibt ein Verfahren zur Herstellung einer Elektrodenstruktur, insbesondere einer Cochlea-Elektrode zur Einführung in ein Innenohr, bei dem eine ebene Schicht aus einem Elektrodenmaterial einem ebenen Trägermaterial aufgebracht ist und zu einzelnen, in einer Längsrichtung verteilt angeordneten Elektroden mit einstückig daran anschließenden Kontaktbahnen strukturiert wird.

Es ist die Aufgabe der Erfindung, ein Verfahren zur Herstellung einer Elektrodenstruktur anzugeben, das die Herstellung von Elektrodenstrukturen hoher Qualität ermöglicht.

Diese Aufgabe wird erfindungsgemäß gelöst durch ein Verfahren zur Herstellung einer Elektrodenstruktur, umfassend die Schritte:

a. Herstellen eines Längskörpers mit einem Kern und zumindest einer den Kern umgebenden Schicht aus einem Elektrodenmaterial;

b. Entfernen eines Teils der Schicht aus Elektrodenmaterial unter Ausformung einer Mehrzahl von in der Längsrichtung verteilt angeordneten und voneinander separierten Elektroden sowie von an die Elektroden jeweils einstückig anschließenden, in der Längsrichtung verlaufenden Kontaktbahnen;

c. Aufbringen einer Schicht aus einem polymeren Material unter zumindest teilweiser Einbettung der in Schritt b. ausgeformten Elektroden und/oder Kontaktbahnen.

Im Sinne der Erfindung sind die Elektroden und die Kontaktbahnen zumindest nach Schritt b. als einstückige Strukturen ausgebildet, die sich in Ihrer Form und/oder Funktion voneinander unterscheiden. Die Kontaktbahnen dienen dabei vorrangig einer elektrisch leitenden Verbindung der Elektroden über eine räumliche Distanz in der Längsrichtung, zum Beispiel mit weiteren Leitern, einer Versorgungsschaltung oder Ähnlichem. Die Elektroden haben dagegen eine im Vergleich zu den Kontaktbahnen andere Funktion. Zum Beispiel dienen sie einer elektrischen Verbindung mit biologischem Gewebe, zum Beispiel Nervenzellen, oder auch als Bestandteil eines insbesondere mehrschichtig aufgebauten Sensors.

Unter einem Verlauf der Kontaktbahnen in der Längsrichtung ist jede Überbrückung einer Distanz in dieser Richtung zu verstehen. Beispiele hierfür sind ein gerader, zu der Längsrichtung paralleler Verlauf oder ein helixförmigen Verlauf um die Längsrichtung.

Durch das erfindungsgemäße Verfahren ist es grundsätzlich möglich, die Elektroden unmittelbar in ihrer räumlichen Position bezüglich einer Umfangsrichtung um den Kern zu strukturieren. Dies ermöglicht bei Bedarf zudem eine in der Umfangsrichtung nahtfreie Ausbildung der die Elektroden einfassenden Schicht.

Häufig bzw. in besonders einfacher Ausführung wird das Elektrodenmaterial einen hohlzylindrischen Querschnitt aufweisen, zum Beispiel unter deckender Anlage um einen kreisrunden Kern. Allgemein können im Sinne der Erfindung je nach Anforderungen beliebige hohle Formen der Schicht um einen Kern mit entsprechendem Außenumfang vorliegen, zum Beispiel mit elliptischem oder vieleckigem Querschnitt.

Allgemein bevorzugt wird die Schicht aus Elektrodenmaterial als massives Material mechanisch auf den Kern aufgebracht, wodurch eine gute Festigkeit sowie Biegsamkeit und Wechselbiegsamkeit der resultierenden Elektroden und Kontaktbahnen erzielt wird. Grundsätzlich sind aber auch andere Arten der Aufbringung möglich, zum Beispiel Aufdampfen, galvanische Abscheidung etc.

Erfindungsgemäße Elektrodenstrukturen werden allgemein bevorzugt, aber nicht notwendig am menschlichen Körper eingesetzt. Eine typische Anwendung ist die Verwendung als Cochlea-Elektrode bei Innenohr-Implanten. Eine weitere Anwendung besteht als Stimulations-Elektrode im zentralen Nervensystem, etwa in den Verfahren „Deep Brain Stimulation“ im Hirnbereich oder „Spinal Chord Stimulation“ im Rückenmarksbereich (Schmerztherapie).

Des Weiteren können erfindungsgemäße Elektrodenstrukturen als Basis für sensorische Anwendungen dienen, etwa indem die Elektroden durch weitere Schichten und/oder überlappenden Aufbau zu Sensoren ausgebildet werden.

Allgemein vorteilhaft haben erfindungsgemäße Elektrodenstrukturen Längen im Bereich von 1 cm bis über 10 cm bei einem relativen geringen Durchmesser in der Größenordnung von 1 mm. Das hohe Aspektverhältnis von Länge und Durchmesser sowie die Kleinheit der Strukturen tragen zur besonderen Eignung des erfindungsgemäßen Verfahrens bei. Bevorzugte Dicken der Schicht aus Elektrodenmaterial hängen von den Anforderungen ab und liegen zum Beispiel im Bereich 0,05 mm bis 0,3 mm. Dies kann etwa für typische Anwendungen zur elektrischen Verbindung mit Nervenzellen vorgesehen sein. Es sind aber auch erheblich geringere Dicken denkbar, zum Beispiel bis unter 0,001 mm. Solche dünnen Strukturen können insbesondere Bestandteil eines Sensors sein.

Besonders bei Verwendung am menschlichen Körper besteht das Elektrodenmaterial bevorzugt aus einem biokompatiblen Metall. Beispiele hierfür sind Platin und seine Legierungen, insbesondere PtIr-Legierungen, PtW-Legierungen, Gold und Goldlegierungen, Tantal, Titan, Niob oder andere geeignete Materialien. Je nach Anforderungen kann die Schicht aus Elektrodenmaterial auch mehrschichtig aus verschiedenen Materialien aufgebaut sein.

Bei einer bevorzugten Ausführungsform der Erfindung wird der Kern nach Schritt c entfernt, und der entstehende Hohlraum wird zumindest teilweise durch ein bevorzugt polymeres Material unter Ausbildung eines neuen Kerns gefüllt. Dies ermöglicht eine einfache Herstellung, da das Kernmaterial den Anforderungen der Herstellung bezüglich mechanischer und/oder chemischer Eigenschaften angepasst werden kann. Bevorzugt besteht der später zu entfernende Kern dabei aus einem Metall, insbesondere Kupfer. Bezüglich der Bereitstellung des Längskörpers sind zum Beispiel aus dem Bereich kardiovaskulärer Elektroden Verfahren bekannt und etabliert, biokompatible Metalle wie PtIr über einen Ziehstein auf einen runden Kupferkern aufzubringen, um einen zweilagigen Draht mit biokompatibler Außenschicht herzustellen. Ein solcher Draht kann zum Beispiel als Ausgangsmaterial im Sinne des Schrittes a dienen. Nach der Einbettung der Elektroden und Kontaktbahnen in ein polymeres Material kann der Kern zum Beispiel durch Ätzen entfernt werden. Die entstehende Hohlstruktur wird zweckmäßig mit einem neuen Kern gefüllt, um eine gewünschte mechanische Eigenschaft herzustellen und/oder die Elektroden auch von der Innenseite zu isolieren. Der neue Kern kann zum Beispiel durch ausgießen mit

thermisch oder anders härtendem Polymer erfolgen oder auch durch einschieben eines unterkalibrigen Rohres mit nachfolgendem Aufweiten.

Bei einer alternativen Ausführungsform wird der Kern nach Schritt c nicht entfernt. Solche Kerne bestehen bevorzugt, aber nicht notwendig aus einem elektrisch isolierenden, polymeren Material, zum Beispiel demselben Material wie die äußere Polymerschicht. Es ist aber auch vorstellbar, dass der Kern inhomogen aufgebaut ist. Ein solcher Kern kann z.B. innen aus einem Metall oder auch aus Glasfasern etc. bestehen und von einer isolierenden Schicht umhüllt ist, auf die die Schicht aus Elektrodenmaterial aufgebracht ist.

Bei einer bevorzugten Ausführungsform der Erfindung erfolgt Schritt b. durch erodierenden Abtrag des Elektrodenmaterials. Besonders vorteilhaft kann der erodierende Abtrag mittels eines Lasers, insbesondere eines Ultrakurzpuls-Lasers, oder mittels Funkenerosion erfolgen. Unter einem bevorzugt zu verwendenden Ultrakurzpuls-Laser wird im Sinne der Erfindung ein Laser verstanden, dessen Energiedichte durch zeitliche Komprimierung seiner Pulsdauer erhöht ist. Bei einer besonders bevorzugten Detailgestaltung handelt es sich bei dem Ultrakurzpuls-Laser um einen Femtosekunden-Laser. Hierdurch werden rasternde, rechnergesteuerte Verfahren eingesetzt, die effektiv und in wenigen oder nur einem Schritt darstellbar sind. Besonders gut sind moderne Femtosekunden-Laser zur Metallbearbeitung geeignet, da durch die hohe Energiedichte eine unmittelbare Sublimation des abgetragenen Metalls erfolgt und so eine hohe Selektivität gegeben ist. Insbesondere wird der unter dem Elektrodenmaterial befindliche Kern minimal beeinflusst, so dass ungewünschte Effekte wie eine Degenerierung eines polymeren Kerns oder eine Verunreinigung des Elektrodenmaterials durch einen metallischen Kern minimiert werden.

Bei einer hierzu alternativen Ausführungsform ist es vorgesehen, dass Schritt b mittels eines photochemischen Verfahrens erfolgt. Unter einem photochemischen Verfahren ist vorliegend jedes Verfahren zu verstehen, bei dem eine strukturierte Änderung einer Materialeigenschaft mittels einer Belichtung erzeugt wird, so dass durch nachfolgende chemische Verfahrensschritte eine Materialstrukturierung ausgebildet werden kann. Beispiele sind fotolithografische Verfahren aus der Halbleiterherstellung. Das photochemische Verfahren umfasst bevorzugt die Belichtung einer auf dem Elektrodenmaterial befindlichen Schicht durch einen Laser. Zum Beispiel kann der Laser einen auf das Elektrodenmaterial aufgebrachten Photoresist rasternd und rechnergesteuert strukturiert belichten. Als alternatives photochemisches Verfahren ist an Stelle eines gerasterten Lichtstrahls auch eine abbildende Belichtung denkbar. Alternativ zur Verwen-

dung eines Photoresist mit Belichtung bzw. alternativ zur Anwendung eines photochemischen Verfahrens ist es auch denkbar, dass eine für nachfolgende Ätzverfahren maskierende Schicht unmittelbar durch rasternde Druckverfahren auf das Elektrodenmaterial aufgebracht wird. Zur weiteren Bearbeitung des mit einer strukturierten bzw. belichteten Maske versehenen Elektrodenmaterials wird auch auf die Druckschrift EP 1 488 827 A1 verwiesen.

Allgemein vorteilhaft ist es vorgesehen, dass Schritt c durch Extrusion des polymeren Materials, durch Aufdrucken des Materials, durch vollflächigen Auftrag aus flüssiger Phase oder durch Anlagerung aus der Gasphase erfolgt. Das polymere Material kann je nach Anforderungen beliebig sein, bevorzugt biokompatibel. Beispiele für geeignete Stoffe sind Silikon, Polyimid (PI), Polyurethan (PU) oder Parylene, insbesondere Parylene C. Letztere werden in einer entsprechenden Vorrichtung unmittelbar aus der Gasphase abgeschieden und haben bekannte Anwendungen im Bereich biokompatibler Implantate. Polyimid kann zum Beispiel bei einer besonders einfachen Ausführungsform nach Art einer Tauchlackierung aufgebracht werden. Silikon und auch andere geeignete Stoffe können zum Beispiel durch Extrusion oder durch Aufdrucken aufgebracht werden. Insbesondere strukturiert rasternder Druckverfahren können dabei bevorzugt sein, da hierdurch eine Belegung der Elektrodenflächen mit dem polymeren Material vermieden werden kann.

Allgemein vorteilhaft umfasst eine Ausführungsform der Erfindung den Schritt des selektiven Entfernens der in Schritt c. aufgebrachten Schicht zumindest in Bereichen der Elektroden. Bevorzugt, aber nicht notwendig kann dies mittels eines Lasers erfolgen. Insbesondere kann es sich dabei um denselben Laser handeln, mittels dessen die Schicht in Schritt b abgetragen wurde, gegebenenfalls unter Anpassung von Betriebsparametern des Lasers. Hierdurch wird ein galvanischer Kontakt der Elektroden mit der Umgebung ermöglicht. Der Schritt ist in diesem Sinne nur dann erforderlich, wenn die Einbettung der ausgeformten Strukturen in die polymere Schicht vollflächig und nicht selektiv erfolgte, kann aber auch dann zu Zwecken der Qualitätsoptimierung gewünscht sein.

Allgemein vorteilhaft umfasst die Erfindung den Schritt des Biegens des Längskörpers um die Längsrichtung in eine Verlaufsform, insbesondere nach Schritt b oder nach Schritt c. Die Verlaufsform kann etwa im Fall von Cochlea-Elektroden die definierte Vorbiegung in eine Spirale sein.

Bei einer möglichen Weiterbildung der Erfindung ist es vorgesehen, dass die Schicht aus Elektrodenmaterial von einer zweiten Schicht aus einem Elektrodenmaterial umfangen wird, wobei die Schichten aus Elektrodenmaterial durch eine Isolierschicht getrennt sind. Hierdurch wird ein mehrlagiger Aufbau ermöglicht, der zum Beispiel eine besonders große Zahl an Elektroden und Kontaktbahnen möglich macht. So kann ein Teil der Elektroden und Kontaktbahnen in einer ersten, radial inneren Ebene isolierender Schichten eingebettet sein und ein anderer Teil in einer radial äußeren Schicht.

Bei einer möglichen Weiterbildung der Erfindung kann es vorgesehen sein, dass der Längskörper sich zumindest über einen Abschnitt in der Längsrichtung verjüngt. Eine solche Verjüngung kann zum Beispiel bei Cochlea-Elektroden vorgesehen sein, um die Elektrodenstruktur im inneren Ohrbereich besonders biegsam und minimal invasibel auszugestalten. Zum Beispiel kann die Elektrode sich in einem Endbereich über eine Strecke von rund 1 cm von 1,5 mm Durchmesser auf 0,5 mm Durchmesser verjüngen.

Es versteht sich, dass eine erfindungsgemäße Elektrodenstruktur weitere Merkmale und Verfahrensschritte aufweisen kann, zum Beispiel Reinigungsschritte, die Anbringung einer Spitze an einem Ende der Elektrodenstruktur oder die Anbindung der Kontaktbahnen an eine anschließende Struktur, z.B. an eine Zuleitung oder unmittelbar an ein Steuergerät. Im Fall von Cochlea-Elektroden ist es aus Kostengründen besonders vorteilhaft, wenn die Elektrodenstruktur nebst den Kontaktbahnen über eine ausreichende Länge, zum Beispiel in der Größenordnung von 10 cm, ausgebildet ist, um einen unmittelbaren Anschluss an ein Steuergerät zu ermöglichen.

Die Aufgabe der Erfindung wird zudem gelöst durch eine Elektrodenstruktur, umfassend
einen Längskörper mit einer nicht leitfähigen Schicht, die eine hohle Form aufweist, und
eine Mehrzahl von Elektroden, die isoliert voneinander in der Schicht eingebettet sind, und
eine Mehrzahl von n der Längsrichtung erstreckten und durch die Schicht nach außen isolierten Kontaktbahnen, die jeweils einstückig mit einer der Elektroden verbunden sind,
wobei die nicht leitfähige Schicht in Umfangsrichtung nahtfrei ausgebildet ist.

Die Herstellung einer solchen Elektrodenstruktur erfolgt bevorzugt, aber nicht notwendig durch ein erfindungsgemäßes Verfahren.

Unter einer hohlen Form im Sinne der Erfindung ist eine beliebige Querschnittsform zu verstehen, die je nach Anwendung gewählt werden kann. Für viele Anwendungen wird es sich um eine hohlzylindrische Form der isolierenden Schicht handeln, so dass der Querschnitt der Schicht aus konzentrischen Kreisen besteht. Bei anderen Beispielen kann die Querschnittsform aber auch polygonal oder elliptisch sein.

Die in Umfangsrichtung nahtlose Ausbildung der die Elektroden isoliert einbettenden Schicht begünstigt die Stabilität bzw. Sicherheit gegen Beschädigung sowie die Verträglichkeit aufgrund des Fehlens störender Nähte. Unter einer Nahtfreiheit in Umfangsrichtung ist zu verstehen, dass die Elektrodenstruktur zumindest über einen wesentlichen Teil ihrer funktionell relevanten Bereiche keine in Längsrichtung verlaufende Naht aufweist, die in der Umfangsrichtung betrachtet eine Störung darstellt.

Bei einer bevorzugten Weiterbildung der Elektrodenstruktur ist es vorgesehen, dass die Elektroden jeweils eine Oberfläche aufweisen, die von der Oberfläche der Schicht aus polymerem Material überragt wird. Bevorzugt, aber nicht notwendig ist dabei ein Kantenbereich der Elektroden von der Schicht eingefasst. Da die isolierende Schicht regelmäßig aus einem weicheren Material als die Elektroden besteht, wird hierdurch eine Verträglichkeit verbessert. Die Einfassung der Kanten verringert zudem die Gefahr eines ungewollten Vorspringens der Elektroden aus der isolierenden Schicht, was bei Verwendung im menschlichen Körper Gefahren mit sich bringen kann.

Weitere Vorteile und Merkmale der Erfindung ergeben sich aus dem nachfolgend beschriebenen Ausführungsbeispiel sowie aus den abhängigen Ansprüchen.

Nachfolgend wird ein bevorzugtes Ausführungsbeispiel der Erfindung beschrieben und anhand der anliegenden Zeichnungen näher erläutert.

Fig. 1 zeigt eine schematische räumliche Darstellung einer erfindungsgemäßen Elektrodenstruktur, vorliegend zur Verwendung als Cochlea-Elektrode.

Fig. 1a zeigt die Elektrodenstruktur aus Fig. 1 mit versteckten Linien.

Fig. 2 zeigt eine Vorstufe der Elektrodenstruktur aus Fig. 1a.

Fig. 3 zeigt die Vorstufe aus Fig. 2 nach einem weiteren Verfahrensschritt.

Fig. 4 zeigt die Vorstufe aus Fig. 3 nach einem weiteren Verfahrensschritt.

Fig. 5 zeigt die Vorstufe aus Fig. 4 nach einem weiteren Verfahrensschritt.

Eine erfindungsgemäße Elektrodenstruktur gemäß Fig. 1 wird als Cochlea-Elektrode zur Implantation in einem menschlichen Innenohr verwendet. Fig. 1 zeigt einen vorderen Abschnitt 1 der Elektrode, der in das Innenohr eingeführt wird. Die Elektrode ist bezüglich Durchmesser und Material auf eine definierte Steifigkeit ausgelegt, um sich der schneckenförmigen Windung im Innenohr anzupassen. Hierzu kann die Elektrodenstruktur auch vorgebogen sein und/oder sich zu ihrem vorderen Ende hin verjüngen.

Die Elektrodenstruktur 1 erstreckt sich in einer Längsrichtung, wobei eine Mehrzahl von Elektroden 2 in der Längsrichtung beabstandet zueinander angeordnet sind. Die Elektroden 2 sind vorliegend als flache metallische Plättchen von rechteckigem Umfang ausgebildet, können aber auch eine hiervon abweichende Form aufweisen.

Mit jeder der Elektroden 2 ist eine Kontaktbahn 3 materialeinheitlich einstückig verbunden. Die Kontaktbahnen verlaufen ausgehend von der Elektrode zunächst um einen definierten Weg in Umfangsrichtung und nachfolgend im Wesentlichen parallel zueinander und in der Längsrichtung. Die Elektroden 2 und Kontaktbahnen 3 bestehen vorliegend aus einer biokompatiblen PtIr-Legierung. Bei alternativen Ausführungsformen ist auch ein anderer Verlauf der Kontaktbahnen, zum Beispiel ein wendelförmiger Verlauf, denkbar. In jedem Fall bewirken die Kontaktbahnen dabei eine elektrische Verbindung der jeweiligen Elektrode über einen in der Längsrichtung orientierten Abstand.

Die Elektroden 2 und die Kontaktbahnen 3 sind in eine äußere, isolierende Schicht 4 der Elektrodenstruktur eingebettet. Dabei liegen die Oberflächen der Elektroden 2 nach außen frei, wogegen die Kontaktbahnen mit einer ausreichenden Dicke der Schicht 4 zur Isolation überzogen sind.

Die Elektrode hat an ihrem vorderen Ende eine geeignet geformte Spitze 5, die vorliegend in einem separaten Verfahrensschritt angebracht wird.

Es versteht sich, dass die Elektrode sich an ihrem der Spitze abgewandtem Ende über eine im Prinzip beliebige Länge fortsetzen kann. Es kann auch vorgesehen sein, dass sich nur die Kontaktbahnen über einen definierten Abschnitt fortsetzen, um einen Anschluss an ein Verlängerungsstück oder einen unmittelbaren Anschluss an ein Steuergerät zu ermöglichen.

Die isolierende Schicht 4 mit den Elektroden 2 und den Kontaktbahnen 3 hüllt zudem einen Kern 6 von kreisförmigem Querschnitt ein. Der Kern 6 besteht aus einem isolierenden Material. Vorliegend bestehen sowohl die Schicht 4 als auch der Kern 6 aus bioverträglichem Silikon. Die Schicht 4 hüllt den Kern in Umfangsrichtung nahtfrei ein, wie sich auch aus dem nachfolgend beschriebenen, bevorzugten Herstellungsverfahren ergibt.

Ein erster Verfahrensschritt a zur Herstellung der vorstehend beschriebenen Elektrodenstruktur umfasst das Bereitstellen eines Längskörpers 7 aus einem Kern 8 und einer geschlossenen, den Kern 8 umgebenden Schicht 9 aus dem Elektrodenmaterial PtIr (siehe Fig. 2).

Der Kern besteht vorliegend aus Kupfer und ist zylindrisch. Das Aufbringen des Elektrodenmaterials als hohlzylindrische Schicht 9, die fest auf dem Kupferkern 8 aufliegt bzw. anhaftet, kann auf bekannte Weise mittels eines Ziehsteins erfolgen. Der Durchmesser des Längskörpers nach Fig. 2 beträgt typisch etwa 1 mm bei einer Dicke der Schicht 9 von etwa 0,1 mm und entspricht einem an sich bekannten Draht, wie er für spezielle Anwendungen im kardiologischen Bereich Verwendung findet.

Der Längskörper wird in eine Halterung eingespannt (nicht dargestellt) und nachfolgend die fest anhaftende Schicht 9 mittels eines Ultrakurzpuls-Lasers zur Metallbearbeitung strukturiert. Vorliegend handelt es sich um einen Femtosekunden-Laser. Der Ultrakurzpuls-Laser bewirkt im Idealfall eine überwiegend unmittelbare Sublimation des beschossenen Materials, ohne dass ein Verdampfen aus einer zuvor erzeugten flüssigen Phase erfolgt. Dies wird durch die hohe Energiedichte im Laserpuls erreicht und hat den positiven Effekt, dass weniger Wärmeenergie in tiefer liegende Schichten eingebracht wird. Dabei wird die Schicht 9 durch rasternden Beschuss des Lasers bis zum Kupferkern 8 abgetragen, wobei die Elektroden 2 und die Kontaktbahnen 3 stehenbleiben bzw. ausgeformt werden. Ein Längskörper 7 nach diesem Bearbeitungsschritt b ist in Fig. 3 gezeigt.

Nachfolgend wird die polymere Schicht 4 aus Silikon auf den gemäß Fig. 3 strukturierten Längskörper 7 aufgebracht. Dies kann zum Beispiel durch Extrusion erfolgen oder durch Aufdrucken der Schicht 4 mittels eines strukturierenden oder auch vollflächigen Druckverfahrens. Ein Längskörper 7 nach diesem Bearbeitungsschritt c ist in Fig. 4 gezeigt.

Nachfolgend wird der Kupferkern 8 aus dem Längskörper entfernt, zum Beispiel durch ein chemisches Ätzverfahren. Es verbleibt (siehe Fig. 5) die im Wesentlichen hohlzylindrische Schicht 4

mit den darin eingebetteten und gemäß der fertigen Elektrodenstruktur positionierten Elektroden 2 und Kontaktbahnen 3.

In diese hohlzylindrische Schicht 4 wird nachfolgend der neue Kern 6 aus isolierendem Material, vorliegend ebenfalls Silikon, eingebracht.

Nachfolgend kann die Spitze 5 angesetzt werden, so dass insgesamt die Elektrodenstruktur gemäß Fig. 1 hergestellt wurde.

Falls die Aufbringung des Silikons in Schritt c vollflächig erfolgte, so dass die Elektroden 2 mit einer dünnen Polymerschicht überzogen sind, werden die Elektroden an geeigneter Stelle nach Schritt c wieder freigelegt. Dies kann etwa unmittelbar nach Schritt c erfolgen, zum Beispiel mittels rasterndem Abtrag des Polymers mit einem Laser. Im Prinzip kann es sich um denselben Laser bzw. dieselbe Vorrichtung handeln wie zur Herstellung der Elektroden 2 in Schritt b. Es kann sich alternativ auch um eine mechanische Entfernung handeln. Weiterhin alternativ ist es möglich, das Polymer, vorliegend Silikon, mit geeigneter Wellenlänge, z.B. im UV-Bereich, strukturiert zu degenerieren und nachfolgend chemisch von den Elektroden zu entfernen.

Ja nach Wahl der Parameter bei Aufbringung der Schicht 4 sind dann die Oberflächen der Elektroden um die Dicke der entfernten Abdeckung unter der Oberfläche der Schicht 4 angeordnet. Bei Bedarf kann dabei auch ein gezielter Überlapp der Schicht 4 über die Kanten der Elektroden 2 erfolgen.

Patentansprüche

1. Verfahren zur Herstellung einer Elektrodenstruktur, umfassend die Schritte:
   a. Herstellen eines Längskörpers (7) mit einem Kern (8) und zumindest einer den Kern (8) umgebenden Schicht (9) aus einem Elektrodenmaterial;
   b. Entfernen eines Teils der Schicht (9) aus Elektrodenmaterial unter Ausformung einer Mehrzahl von in der Längsrichtung verteilt angeordneten und voneinander separierten Elektroden (2) sowie von an die Elektroden jeweils einstückig anschließenden, in der Längsrichtung verlaufenden Kontaktbahnen (3);
   c. Aufbringen einer Schicht (4) aus einem polymeren Material unter zumindest teilweiser Einbettung der in Schritt b. ausgeformten Elektroden und/oder Kontaktbahnen (2, 3).

2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass der Kern (8) nach Schritt c entfernt wird, und dass der entstehende Hohlraum zumindest teilweise durch ein Material unter Ausbildung eines neuen Kerns (6) gefüllt wird.

3. Verfahren nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, dass der Kern (8) aus einem Metall besteht.

4. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass der Kern (8) nach Schritt c nicht entfernt wird.

5. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass Schritt b durch erodierenden Abtrag des Elektrodenmaterials (9) erfolgt.

6. Verfahren nach Anspruch 5, dadurch gekennzeichnet, dass der erodierende Abtrag mittels eines Lasers oder mittels Funkenerosion erfolgt.

7. Verfahren nach Anspruch 6, dadurch gekennzeichnet, dass der Abtrag mittels eines Ultrakurzpuls-Lasers erfolgt.

8. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass Schritt b mittels eines photochemischen Verfahrens erfolgt.

9. Verfahren nach Anspruch 8, dadurch gekennzeichnet, dass die Belichtung einer auf dem Elektrodenmaterial befindlichen Schicht durch einen Laser erfolgt.

10. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass Schritt c durch Extrusion des polymeren Materials, durch Aufdrucken des Materials, durch vollflächigen Auftrag aus flüssiger Phase oder durch Anlagerung aus der Gasphase erfolgt.

11. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, gekennzeichnet durch den Schritt:
Selektives Entfernen der in Schritt c. aufgebrachten Schicht zumindest in Bereichen der Elektroden (2).

12. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, umfassend den Schritt:
Biegen des Längskörpers (7) um die Längsrichtung in eine Verlaufsform.

13. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die Schicht aus Elektrodenmaterial (9) von einer zweiten Schicht aus einem Elektrodenmaterial umfangen wird, wobei die Schichten aus Elektrodenmaterial durch eine Isolierschicht getrennt sind.

14. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass der Längskörper (7) sich zumindest über einen Abschnitt in der Längsrichtung verjüngt.

15. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die Elektrodenstruktur als Cochlea-Elektrode zur Anordnung in einem Innenohr ausgebildet ist.

16. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 12, dadurch gekennzeichnet, dass zumindest einige der Elektroden (2) als Teil eines Sensors ausgebildet sind.

17. Elektrodenstruktur, umfassend
einen Längskörper (7) mit einer nicht leitfähigen Schicht (4), die eine hohle Form aufweist, und

eine Mehrzahl von Elektroden (2), die isoliert voneinander in der Schicht eingebettet sind, und

eine Mehrzahl von in der Längsrichtung erstreckten und durch die Schicht nach außen isolierten Kontaktbahnen (3), die jeweils einstückig mit einer der Elektroden (2) verbunden sind,

dadurch gekennzeichnet,

dass die nicht leitfähige Schicht (4) in Umfangsrichtung nahtfrei ausgebildet ist.

18. Elektrodenstruktur nach Anspruch 17, hergestellt nach einem Verfahren gemäß einem der Ansprüche 1 bis 16.

19. Elektrodenstruktur nach Anspruch 17 oder 18, dadurch gekennzeichnet, dass die Elektroden (2) jeweils eine Oberfläche aufweisen, die von der Oberfläche der Schicht (4) aus polymerem Material überragt wird.

20. Elektrodenstruktur nach Anspruch 19, dadurch gekennzeichnet, dass ein Kantenbereich der Elektroden (2) von der Schicht (4) eingefasst ist.