

**8. Workshop  
Automatisierungstechnische  
Verfahren für die Medizin vom  
20.-21. März 2009 in Berlin**



**„Ultraflexible Elektroden für die kortikale Ableitung von  
bio-elektrischen Signalen zur Anwendung bei Brain-  
Computer-Interfaces“**

Siegfried Steltenkamp, Thomas Dörge, Wigand Poppendieck, Markus Hanauer, Klaus-Peter Hoffmann

Abteilung für Medizintechnik & Neuroprothetik am Fraunhofer Institut für Biomedizinische Technik, St. Ingbert, Deutschland

E-Mail: klaus.hoffmann@ibmt.fraunhofer.de

Copyright: VDI Verlag GmbH  
Band: Fortschritt-Bericht VDI Reihe 17 Nr. 274 „Automatisierungstechnische  
Verfahren für die Medizin, 8. Workshop, Tagungsband“  
Editors: Thomas Schauer, Henning Schmidt, Marc Kraft  
ISBN: 978-3-18-327417-8  
Pages: 15-16

## Ultraflexible Elektroden für die kortikale Ableitung von bio-elektrischen Signalen zur Anwendung bei *Brain-Computer-Interfaces*

Siegfried Steltenkamp, Thomas Dörge, Wigand Poppendieck, Markus Hanauer und Klaus-Peter Hoffmann

Abteilung für Medizintechnik & Neuroprothetik am Fraunhofer Institut für Biomedizinische Technik

Kontakt: klaus.hoffmann@ibmt.fraunhofer.de

### Einleitung

*Brain-Computer-Interfaces* gewinnen immer stärker an Bedeutung beispielsweise zur Steuerung technischer Systeme mittels bioelektrischer Potentiale cerebralen Ursprungs oder zur Aufrechterhaltung der Kommunikation mit der Außenwelt bei *Locked-In* Patienten. Die hierfür oftmals eingesetzten Oberflächenelektroden erweisen sich hinsichtlich Langzeitstabilität, Artefaktanfälligkeit und eingeschränkten Frequenzbereich nachteilig.

Daher bestand die Anforderung auf der Grundlage implantierbarer Mikroelektroden auf Polyimid Basis für das periphere Nervensystem ultraleichte, flexible Flächenelektroden aufzubauen und zu testen, die eine Ableitung des *ElectroCorticoGramms* (ECoG) ermöglichen. Grundanforderung für diese Elektrode sollte sein, dass sie ultraleicht, flexibel, mechanisch stabil, biokompatibel und langzeitstabil ist, sich den Bewegungen des Gehirns anpasst und eine dem ECoG angepasstes Übertragungsverhalten aufweist.

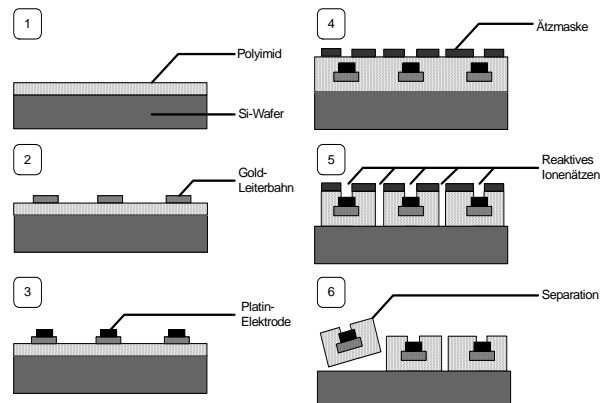
### Elektroden-Herstellungsprozess

Diese Eigenschaften erfüllen auf der Basis von Polyimid hergestellte Elektrodenstrukturen, die in einem photolithographischen Prozess mit Leiterbahnen aus 0,3µm dicken Gold und Einzelelektroden aus 0,2µm dickem Platin hergestellt werden. Polyimid als Träger ist flexibel, 10-15µm dünn und hat mit 1,42g/cm<sup>3</sup> ein außerordentlich geringes Gewicht. Die geringe Wasseraufnahme liegt unter 0,5% und die Biostabilität konnte für 12 Monate gezeigt werden.

Um lokal aufgelöste Informationen vom Gehirn zu erlangen benötigt man für das ECoG eine ultraflexible Multikanal-Elektrode. Sie bietet nicht nur die Möglichkeit der Kartographierung unter freier Bewegung, sondern auch eine extrem hohe mechanische Stabilität und Sicherheit während des Messvorgangs. Dabei ist die Entwicklung einer solchen Elektrode keineswegs trivial [1,2]. Speziell für diese Anwendung wird im Folgenden ein Verfahren für die Herstellung einer im Gehirn fest verankerten und mit 32 Kanälen ausgestatteten Mikroelektrode beschrieben, die selektiv kortikale Biosignale im Gehirn ableiten kann [2].

Auf den Anspruch der Biokompatibilität wurde bei der Entwicklung dieses Verfahren besonders Rücksicht genommen. In Abbildung 1 ist der Herstellungsprozess schematisch dargestellt. Zunächst wird auf einem Silizium *Wafer* eine dünne Schicht des Polymers mittels *Spin-*

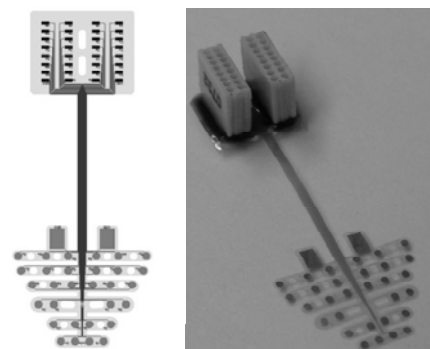
*Coating* aufgetragen. Im nächsten Schritt wird durch *Sputtern* das leitende Material für die Leiterbahnen, Kontaktflächen und Elektroden aufgebracht. Die gewünschte



**Abbildung 1:** Schematische Darstellung des Herstellungsprozesses einer polyimidbasierten Mikroelektrode.

Strukturierung wird mittels optischer Lithographie realisiert. Im letzten Schritt wird eine weitere Polyimid-Schicht aufgebracht. Die Kontaktflächen und Elektroden werden durch eine spezielle Aluminium-Maske mittels reaktivem Ionenätzen geöffnet. Zu guter Letzt wird die gewonnene Struktur von dem *Wafer* abgelöst.

Zur Anbindung der Elektrodenkontakte an eine externe Schnittstelle werden zwei 16-Kanal-Omnitronics-Stecker assembliert (NPD-16-VV). Hierfür wird auf jeder einzelnen Kontaktfläche (auf der flexiblen Struktur) Leitkleber aufgebracht. Der Stecker wird über den Kontakten positioniert und auf den Leitkleber gedrückt. Nach erfolgtem Aushärten der leitenden Verbindung wird, zur mechanischen Stabilisierung, eine Epoxydharzschicht um den Steckerbereich aufgebracht.

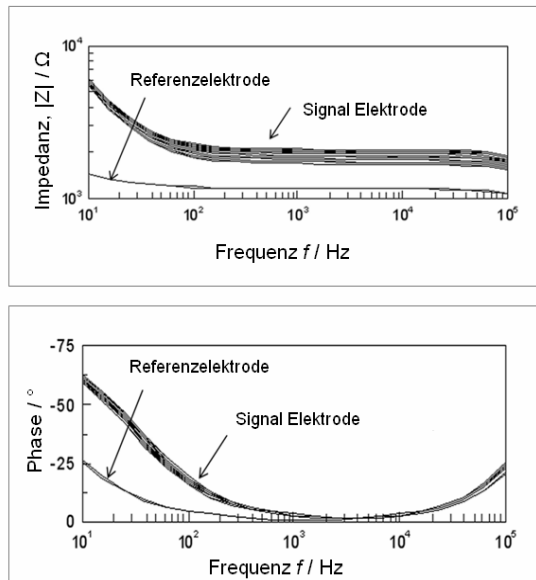


**Abbildung 2:** Schematische und photographische Darstellung der hochflexiblen Multikanal-Elektrode inklusive der Steckverbindung.

## Charakterisierung der Elektroden

Eine sehr verbreitete Methode zum Charakterisieren von Elektroden vor einem medizinischen Einsatz ist die Impedanzspektroskopie.

Das typische Hochpassverhalten der Platin-Mikroelektrode ist in Abbildung 3 gezeigt. Generell kann



**Abbildung 3:** Charakterisierung der implantierbaren Elektrode. Beispielhaft sind einige Kanäle der Signalelektroden sowie die Referenzelektroden mit ihrer absoluten Impedanz und der Phase gezeigt.

ein solches Hochpassverhalten mit einem vereinfachten Ersatzschaltbild, Parallelschaltung von kapazitiver Helmholtzschicht und Faraday-Widerstand mit einem in Reihe geschalteten Widerstand (Elektrolytwiderstand) beschrieben werden [2]. Die einzelnen Elektrodenkontakte weisen einen vergleichbaren Impedanzverlauf, was auf einen guten Reproduzierbarkeit der einzelnen Elektroden schließen lässt.

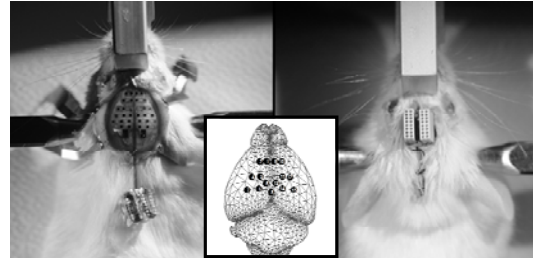
Ferner liegt die Impedanz der Referenzelektroden deutlich unter der der Signalelektroden. Als charakteristischer Wert ist die Impedanz der Signalelektroden bei  $f=1\text{kHz}$  und  $2\text{k}\Omega$  zu nennen. Die Phase zeigt zusätzlich den zu erwartenden Verlauf, bei dem der Betrag des Phasenwinkels für niedrige Frequenzen wegen der Zunahme des kapazitiven Anteils steigt.

## In-Vivo Einsatz der Elektroden

Abbildung 4 zeigt das Implantat im *Cerebellum* der Maus kurz nach dem Einsatz und nach vollständiger Implantation. Diese Elektrode ermöglicht es im Folgenden, kortikale Biosignale der Maus bei freier Bewegung abzuleiten. Zusätzlich zeigt Abbildung 4 im *Inset* die Lage der einzelnen Kontakte und visualisiert die hervorragende lokale Auflösung. Typische Studien, die mittels Schraubenelektroden durchgeführt werden, können nur schwerlich

eine hohe lokale Auflösung der abgeleiteten Biosignale im *Cerebellum* erreichen [3].

Es konnte eine Reihe von erfolgreichen Experimenten durchgeführt werden, bei denen eine Ableitung von lokal ausgelösten, epileptischen kortikalen Biosignalen durchgeführt wurden.



**Abbildung 4:** Implantierung der hochflexiblen Multikanalelektrode im Cortex der Maus. Links mit offenem Cortex und rechts nach der Implantation. Das *Inset* zeigt die hervorragende Auflösung, die mittels der ultraflexiblen Mikroelektrode erreicht werden kann, und die Lage der Kontakte im *Cerebellum*.

## Zusammenfassung

Die hier vorgestellten ultraflexiblen Multikanal-Elektroden auf Polyimid Basis bilden einen hervorragenden Ansatz für die kortikale Ableitung von Biosignalen mit hoher lokaler Auflösung. Sie ermöglicht es Ableitungen von einem Maus-Gehirn durchzuführen. Diese neuartige, hochflexible Elektrode öffnet ein weites Feld, um in Zukunft die neuronalen, molekularen und zellulären Vorgänge im Gehirn noch besser studieren zu können. Mit dieser ultraflexiblen Multikanal-Elektrode ist es erstmalig möglich, ein lokal aufgelöstes EEG einer Maus unter freier Bewegung zu kartographieren [4].

Der gezeigte Fabrikationsprozess ermöglichte eine gute Biokompatibilität und einen einfachen Zugang für die Ableitung von kortikalen Signalen. Die exzellenten Eigenschaften der erhaltenen ultraflexiblen Elektroden bezüglich der Impedanz bilden die Grundlage für multikanalige Messungen von ECoGs und ermöglichen ein funktionales Kartographieren des *Cerebellums*.

## Literatur

- [1] Hoffmann, et al. „New Technologies in Manufacturing of Different Implantable Microelectrodes as an Interface to the Peripheral Nervous System“. IEEE/RAS-EMBS Intern. Conf. on Biomedical Robotics and Biomechanics, 414-419 (2006)
- [2] Poppendieck, W., et al. „Optimization of microporous platinum coatings for neural microelectrodes“, Proc. 13<sup>th</sup> Ann. Conf. Int. FES Soc (2008)
- [3] H.S. Shin “T-type  $\text{Ca}^{2+}$  channels and absence epilepsy”. Cell, 40, 191-196, 2006
- [4] Choi, J.H., et al. “A Flexible Multichannel Electrode for Mouse Brain and Its Application to Mouse EEG” Proc. of NFSI & ICFBI (2007)