



(12)

Patentschrift

(21) Deutsches Aktenzeichen: **11 2019 000 533.2**
(86) PCT-Aktenzeichen: **PCT/IB2019/050291**
(87) PCT-Veröffentlichungs-Nr.: **WO 2019/145821**
(86) PCT-Anmeldetag: **15.01.2019**
(87) PCT-Veröffentlichungstag: **01.08.2019**
(43) Veröffentlichungstag der PCT Anmeldung
in deutscher Übersetzung: **08.10.2020**
(45) Veröffentlichungstag
der Patenterteilung: **06.02.2025**

(51) Int Cl.: **A61N 5/06** (2006.01)

Innerhalb von neun Monaten nach Veröffentlichung der Patenterteilung kann nach § 59 Patentgesetz gegen das Patent Einspruch erhoben werden. Der Einspruch ist schriftlich zu erklären und zu begründen. Innerhalb der Einspruchsfrist ist eine Einspruchsgebühr in Höhe von 200 Euro zu entrichten (§ 6 Patentkostengesetz in Verbindung mit der Anlage zu § 2 Abs. 1 Patentkostengesetz).

(30) Unionspriorität:
15/881,211 **26.01.2018** **US**

(73) Patentinhaber:
International Business Machines Corporation,
Armonk, NY, US

(74) Vertreter:
Laux, Felix, Dr., 71032 Böblingen, DE

(72) Erfinder:
Deligianni, Hariklia, Yorktown Heights, N.Y., US;
Lee, Ko-Tao, Yorktown Heights, NY, US; **Li, Ning,**
Yorktown Heights, N.Y., US; **Sadana, Devendra,**
Yorktown Heights, NY, US

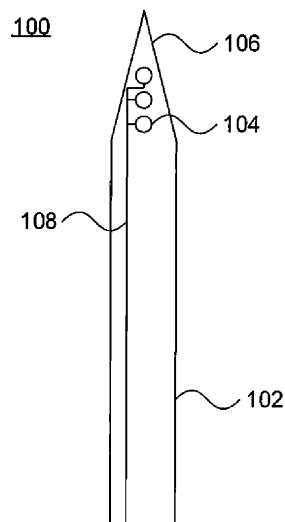
(56) Ermittelter Stand der Technik:

DE	11 2010 003 700	T5
WO	2017/ 004 576	A1

SUN, Xiaojuan, et al. Short-wavelength light beam in situ monitoring growth of InGaN/GaN green LEDs by MOCVD. Nanoscale research letters, 2012, 7. Jg., S. 1-6.

(54) Bezeichnung: **Mehrere in eine Neuralsonde integrierte Lichtquellen zum Aktivieren mit mehreren Wellenlängen**

(57) Hauptanspruch: Sonde (100), die aufweist:
einen Sondenkörper (102), der zum Eindringen in biologisches Gewebe geeignet ist; und
eine Mehrzahl innerhalb des Sondenkörpers (102) angeordneter Hochleistungs-Lichtquellen,
wobei es sich bei der Mehrzahl der Hochleistungs-Lichtquellen um Leuchtdioden (LEDs) handelt, wobei mindestens eine LED Licht in einem roten oder Infrarotbereich des elektromagnetischen Spektrums und mindestens eine LED Licht in einem blauen, gelben oder grünen Bereich des elektromagnetischen Spektrums emittiert, wobei die mindestens eine LED, die Licht in dem roten oder Infrarotbereich des elektromagnetischen Spektrums emittiert, aufweist:
ein Germaniumsubstrat;
mindestens eine dotierte Schicht aus $\text{In}_{0.49}\text{Ga}_{0.51}\text{P}$ vom n-Typ;
mindestens eine undotierte Schicht aus $\text{In}_{0.49}\text{Ga}_{0.51}\text{P}$;
eine Trogschicht aus $\text{In}_x\text{Ga}_{(1-x)}\text{P}$, wobei x gleich einem Wert zwischen ungefähr 0,50 und ungefähr 0,60 ist; und
mindestens eine dotierte Schicht aus $\text{In}_{0.49}\text{Ga}_{0.51}\text{P}$ vom p-Typ.



Beschreibung**KURZDARSTELLUNG****HINTERGRUND DER ERFINDUNG**

Technisches Gebiet

[0001] Die vorliegende Erfindung betrifft allgemein Optogenetik und insbesondere Neuralsonden mit mehreren leistungsfähigen Lichtquellen zum Aktivieren von Neuronen, ohne lokales Gewebe zu überhitzen.

Beschreibung des Standes der Technik

[0002] Das Gebiet der Optogenetik umfasst genetisches Verändern von Organismen, um diese lichtempfindlich zu machen und die Fähigkeit zu erzeugen, Neuronen in lebenden Organismen selektiv zu steuern. Auf diese Weise wird durch Optogenetik die Fähigkeit erzeugt, bestimmte biologische Prozesse innerhalb eines Organismus direkt anzuregen und zu beobachten.

[0003] Zum Anregen von Neuronen wird eine Neuralsonde verwendet, die zum Beispiel eine Leuchtdiode enthält. Mit der Leuchtdiode werden nahe gelegene Neuronen bestrahlt, wodurch diese Neuronen aktiviert werden. Diese Technik ist jedoch durch das Erzeugen von Wärme in der Leuchtdiode begrenzt. Insbesondere kann durch einen Temperaturanstieg von nur 2 °C das Verhalten des Nervengewebes nachteilig beeinflusst werden.

[0004] Deshalb besteht ein Bedarf, das oben erwähnte Problem zu lösen.

[0005] WO 2017 / 004 576 A1 bezieht sich auf implantierbare, injizierbare und/oder oberflächenmontierte biomedizinische Geräte und verwandte Methoden zur Verbindung mit einem Zielgewebe. Die Geräte verfügen über ein Substrat, einen oder mehrere mikrofluidische Kanäle, die in das Substrat eingebettet oder von diesem getragen werden, und einen Fluidaktuator, der mit einem oder mehreren Reservoirs in Betriebskommunikation steht und auf ein drahtloses Steuersignal reagiert.

[0006] DE 11 2010 003 700 T5 bezieht sich auf eine bei einer Wellenlänge von 390-415 nm emittierende Leuchtdiode, die ein gallium- und stickstoffhaltiges Grundmaterial mit einem aktiven Bereich aufweist.

[0007] SUN, Xiaojuan, et al. „Short-wavelength light beam in situ monitoring growth of InGaN/GaN green LEDs by MOCVD“ Nanoscale research letters, 2012, bezieht sich auf das Herstellen von "five-period InGaN/GaN multiple quantum well green light emitting diodes (LEDs) durch metallorganische chemische Gasphasenabscheidung.

[0008] Gemäß einem ersten Aspekt der vorliegenden Erfindung wird eine Sonde bereitgestellt, die aufweist: einen Sondenkörper, der zum Eindringen in biologisches Gewebe geeignet ist; und eine Mehrzahl innerhalb des Sondenkörpers angeordneter Hochleistungs-Lichtquellen, wobei jede Hochleistungs-Lichtquelle eine ausreichend hohe optische Ausgangsleistung zum Anregen einer lichtempfindlichen Reaktion in benachbarten Geweben und die Ausgangsleistung hingegen nicht so hoch sein darf, dass eine gesamte Wärmemenge der mehreren Lichtquellen zu einem störenden Temperaturanstieg in den benachbarten Geweben führen könnte.

[0009] Gemäß einem weiteren Aspekt der vorliegenden Erfindung wird eine Sonde bereitgestellt, die aufweist: einen Sondenkörper, der zum Eindringen in biologische Gewebe geeignet ist; und eine Mehrzahl innerhalb des Sondenkörpers angeordneter Hochleistungs-Leuchtdioden (LEDs), wobei mindestens eine LED Licht in einem roten oder Infrarot-Bereich des elektromagnetischen Spektrums emittiert und mindestens eine LED Licht in einem blauen, gelben oder grünen Bereich des elektromagnetischen Spektrums emittiert, wobei jede Hochleistungs-LED eine ausreichend hohe optische Ausgangsleistung zum Anregen einer lichtempfindlichen Reaktion in benachbarten Geweben und die Ausgangsleistung jeder LED hat nicht so hoch sein darf, dass eine gesamte Wärmemenge der mehreren LEDs zu einem störenden Temperaturanstieg in den benachbarten Geweben führen könnte.

[0010] Gemäß einem weiteren Aspekt der vorliegenden Erfindung wird eine Sonde bereitgestellt, die aufweist: einen Sondenkörper, der zum Eindringen in biologische Gewebe geeignet ist; und eine Mehrzahl innerhalb des Sondenkörpers angeordneter Hochleistungs-Lichtquellen mit einer optischen Ausgangsleistung von mindestens 10 mW/mm² und mit einer ausreichend niedrigen Ausgangsleistung derart, dass jede aus der Mehrzahl Hochleistungs-Lichtquellen im aktiven Zustand einen Temperaturanstieg in benachbartem Gewebe zwischen ungefähr 0,022 °C und ungefähr 0,041 °C bewirkt.

[0011] Eine Sonde enthält einen Sondenkörper, der zum Eindringen in biologisches Gewebe geeignet ist. Innerhalb des Sondenkörpers sind Hochleistungs-Lichtquellen angeordnet. Jede Hochleistungs-Lichtquelle hat eine ausreichend hohe optische Ausgangsleistung zum Anregen einer lichtempfindlichen Reaktion in benachbarten Geweben und eine ausreichend niedrige optische Ausgangsleistung derart, dass eine gesamte Wärmemenge der mehreren Lichtquellen nicht zu einem störenden Temperaturanstieg in den benachbarten Geweben führt.

DETAILLIERTE BESCHREIBUNG

[0012] Eine Sonde enthält einen Sondenkörper, der zum Eindringen in biologisches Gewebe geeignet ist. Innerhalb des Sondenkörpers sind Hochleistungs-Leuchtdioden (LEDs) angeordnet. Mindestens eine LED emittiert Licht in einem roten oder Infrarot-Bereich des elektromagnetischen Spektrums, und mindestens eine LED emittiert Licht in einem blauen, gelben oder grünen Bereich des elektromagnetischen Spektrums. Jede Hochleistungs-LED hat eine ausreichend hohe optische Ausgangsleistung zum Anregen einer lichtempfindlichen Reaktion in benachbarten Geweben, und jede LED hat eine ausreichend niedrige Ausgangsleistung derart, dass eine gesamte Wärmemenge mehrerer LEDs nicht zu einem störenden Temperaturanstieg in den benachbarten Geweben führt.

[0013] Eine Sonde enthält einen Sondenkörper, der zum Eindringen in biologisches Gewebe geeignet ist. Innerhalb des Sondenkörpers sind Hochleistungs-Lichtquellen angeordnet. Jede Hochleistungs-Lichtquelle hat eine optische Ausgangsleistung von mindestens 10 mW/mm² und eine ausreichend niedrige Ausgangsleistung derart, dass jede der Hochleistungs-Lichtquellen im aktiven Zustand einen Temperaturanstieg in benachbarten Geweben zwischen ungefähr 0,022 °C und ungefähr 0,041 °C bewirkt.

[0014] Diese sowie weitere Merkmale und Vorteile werden aus der folgenden detaillierten Beschreibung anschaulicher Ausführungsformen derselben in Verbindung mit den beiliegenden Zeichnungen deutlich.

[0015] Die Erfindung wird durch die Merkmale des unabhängigen Anspruchs beschrieben.

KURZBESCHREIBUNG DER ZEICHNUNGEN

[0016] Die folgende Beschreibung stellt Einzelheiten bevorzugter Ausführungsformen unter Bezugnahme auf die folgenden Figuren bereit, wobei:

Fig. 1 ein Schaubild einer Neuralsonde mit mehreren Hochleistungs-Lichtquellen gemäß einer Ausführungsform der vorliegenden Erfindung ist;

Fig. 2 eine Querschnittsansicht einer Hochleistungs-Lichtquelle gemäß einer Ausführungsform der vorliegenden Erfindung ist;

Fig. 3 eine Querschnittsansicht einer Hochleistungs-Lichtquelle gemäß einer Ausführungsform der vorliegenden Erfindung ist;

Fig. 4 ein Blockschaubild eines Sonden-Steuer-systems gemäß einer Ausführungsform der vorliegenden Erfindung ist; und

Fig. 5 ein Blockschaltplan eines Verarbeitung-systems gemäß einer Ausführungsform der vorliegenden Erfindung ist.

[0017] Ausführungsformen der vorliegenden Erfindung stellen Neuralsonden mit Hochleistungs-Lichtquellen bereit. Diese leistungsfähigen Lichtquellen erzeugen weniger Wärme als herkömmliche Leuchtdioden und ermöglichen, mehrere solcher Lichtquellen in einer einzigen Sonde zusammenzuführen, wobei jede Lichtquelle eine andere Wellenlänge emittiert. Demgemäß können gleichzeitig mehrere unterschiedliche Wellenlängenempfindlichkeiten genutzt und somit die Fähigkeit zum selektiven Aktivieren verschiedener Sätze von Neuronen mittels einer einzigen Sonde geschaffen werden, ohne störende Erhöhungen der Gewebetemperatur zu bewirken.

[0018] In den folgenden Zeichnungen, die eine Neuralsonde 100 zeigen, stellen gleiche Bezugsnummern dieselben oder ähnliche Elemente wie erstmals in **Fig. 1** gezeigt dar. Die Sonde 100 enthält einen Sondenkörper 102 mit mehreren Hochleistungs-Lichtquellen 104. Es sollte klar sein, dass die Lichtquellen 104 von einem beliebigen geeigneten Typ sein und an einer beliebigen geeigneten Stelle entlang der Längenausdehnung des Sondenkörpers 102 angeordnet sein können, jedoch wird insbesondere davon ausgegangen, dass die Lichtquellen 104 in Form von Hochleistungs-Leuchtdioden (LEDs) nahe der Sondenspitze 106 liegen können. Auch Steuer/Stromversorgungs-Leitungen 108 sind gezeigt, die elektrischen Strom zum Anregen der Lichtquellen 104 und wahlweise zum Bereitstellen von Steuersignalen für die Lichtquellen 104 zuführen.

[0019] Es sollte klar sein, dass die Sonde 102 aus einem beliebigen geeigneten biokompatiblen Material aufgebaut sein kann, darunter zum Beispiel Glas, Saphir oder Titan, und in Form und Größe so beschaffen ist, dass es in lebendes biologisches Gewebe eindringen kann. Die Lichtquellen 104 und Steuer/Stromversorgungs-Leitungen 108 können durch einen beliebigen geeigneten biokompatiblen Mechanismus (z.B. Klebstoff oder Zement) an der Sonde 100 angebracht werden und können gemäß einigen Ausführungsformen unmittelbar auf der Sonde 100 hergestellt werden. Gemäß einer alternativen Ausführungsform kann die Sonde auf einer Leiterplatte gebildet werden, die dann von einem transparenten biokompatiblen Material umhüllt wird, damit Licht von den Lichtquellen 104 zu den umgebenden Geweben gelangen kann. Insbesondere ist es denkbar, dass die Sonde 100 zum Eindringen in lebende Gewebe geeignet ist, insbesondere in Nervengewebe. Somit sollte der Durchmesser der Sonde 100 ziemlich klein und die Spitze 106 der Sonde scharf sein. Außerdem sollte der Sondenkörper 102 ausreichend haltbar sein, damit er beim Eindringen in solche Gewebe nicht beschädigt wird.

[0020] Es ist gelungen, verschiedene Nervengewebe durch verschiedene Wellenlängen und mit unterschiedlichen Lichtintensitäten zu aktivieren. Beispielhafte Wellenlängen für die Lichtquellen 104 reichen von ungefähr 1.850 nm bis ungefähr 2.120 nm, jedoch sollte klar sein, dass auch Wellenlängen oberhalb oder unterhalb dieses Bereichs verwendet werden können. Ein Anregungsschwellenwert entspricht der zum Aktivieren eines Neurons erforderlichen Energiedichte und kann je nach Art des Neurons zwischen ungefähr 1,6 mJ/cm² und ungefähr 16,904 mJ/cm² liegen. Das Licht kann zum Auslösen von Änderungen in Proteinen verwendet werden, die durch anregende oder hemmende Membranströme Membranpotenziale in den Zellen regulieren. Diese Fähigkeit zum Steuern von Zellen hat sich in vorklinischen Studien als hilfreich erwiesen und weist beträchtliches Potenzial bei der Behandlung unter anderem von Krankheiten wie Parkinson, Epilepsie, chronische Schmerzen, Suchtkrankheiten und Depressionen auf. Es sollte klar sein, dass die vorliegende Sonde 100 sowohl bei Menschen als auch bei Tieren angewendet werden kann.

[0021] Fig. 2 zeigt eine beispielhafte Struktur der Lichtquellen 104. Gemäß dieser Ausführungsform wird als Lichtquelle 104 eine Niederleistungs-LED eingesetzt. Die Schichten der Lichtquelle 104 können nacheinander durch einen beliebigen geeigneten Abscheidungsprozess abgeschieden werden, darunter zum Beispiel chemische Dampfabscheidung (CVD), physikalische Dampfabscheidung (PVC), Atomlagenabscheidung (ALD) oder Gascluster-Ionenstrahlabscheidung (GCIB).

[0022] CVD ist ein Abscheidungsprozess, bei dem eine abgeschiedene Substanz infolge einer chemischen Reaktion zwischen gasförmigen Reaktionspartnern bei einer höheren Temperatur als Raumtemperatur (z.B. von ungefähr 25 °C bis ungefähr 900 °C) gebildet wird. Das feste Reaktionsprodukt wird auf der Oberfläche abgeschieden, auf der eine Dünnschicht, ein Schichtsystem oder eine Schicht des festen Stoffes gebildet werden soll. Als Varianten von CVD-Prozessen kommen infrage, ohne darauf beschränkt zu sein, Atmosphärendruck-CVD (APCVD), Niederdruck-CVD (LPCVD), plasmagestützte CVD (PECVD) und metallorganische CVD (MOCVD), außerdem können auch deren Kombinationen verwendet werden. Gemäß alternativen Ausführungsformen unter Verwendung von PVD kann eine Sputtervorrichtung Gleichstrom-Diodensysteme, Hochfrequenz-Sputtern, Magnetron-Sputtern oder Sputtern mit ionisiertem Metallplasma aufweisen. Gemäß alternativen Ausführungsformen unter Verwendung von ALD reagieren chemische Ausgangsstoffe gleichzeitig mit einer Oberfläche eines Materials, sodass eine Dünnschicht auf der Oberfläche abgeschieden wird. Gemäß alternativen Ausführungsformen unter Verwendung von GCIB-Abschei-

dung wird ein unter hohem Druck stehendes Gas in einem Vakuum expandiert, das sich anschließend in Form von Clustern niederschlägt. Diese Cluster können ionisiert und auf eine Oberfläche gerichtet werden, was zu einer stark anisotropen Abscheidung führt.

[0023] Ein Halbleitersubstrat 202 wird aus einem geeigneten Halbleitermaterial gebildet. Gemäß den vorliegenden Ausführungsformen wird in erster Linie davon ausgegangen, dass das Halbleitersubstrat 202 aus einem III-V-Verbindungs-Halbleitermaterial gebildet wird, jedoch ist klar, dass stattdessen ein Halbleitermaterial der Gruppe IV verwendet werden kann. Mit dem Begriff „III-V-Verbindungs-Halbleiter“ wird ein Halbleitermaterial bezeichnet, das mindestens ein Element aus der Gruppe III des Periodensystems der Elemente (d.h. Gruppe 13 gemäß IUPAC (International Union of Pure and Applied Chemistry)) und mindestens ein Element aus der Gruppe V des Periodensystems der Elemente (d.h. Gruppe 15 gemäß IUPAC) enthält. Im Gegensatz hierzu werden Halbleiter der Gruppe IV aus einem einzigen Element aus der Gruppe IV des Periodensystems der Elemente (d.h. Gruppe 14 gemäß IUPAC) wie z.B. Silicium, Germanium und deren Verbindungen gebildet. Normalerweise handelt es sich bei den III-V-Verbindungs-Halbleitern um binäre, ternäre oder quaternäre Legierungen, die III/V-Elemente enthalten. Als Beispiele für III-V-Verbindungs-Halbleiter, die in der vorliegenden Erfindung verwendet werden können, kommen infrage, ohne darauf beschränkt zu sein, Legierungen aus Gallium-Arsen, Aluminium-Arsen, Indium-Gallium-Arsen, Indium-Aluminium-Arsen, Indium-Aluminium-Arsen-Antimon, Indium-Aluminium-Arsen-Phosphor, Indium-Gallium-Arsen-Phosphor, Cadmium-Tellurid, Zinkselenid und deren Kombinationen. Als Beispiel für Halbleiter der Gruppe IV, die in der vorliegenden Erfindung verwendet werden können, kommen infrage, ohne darauf beschränkt zu sein, Silicium, Germanium, Silicium-Germanium, Silicium-Germaniumcarbid, Siliciumcarbid, Polysilicium, epitaxial abgeschiedenes Silicium, amorphes Silicium und Mehrschichten derselben.

[0024] Dann wird auf dem Halbleitersubstrat 102 ein Stapel Halbleiterschichten gebildet. Die übereinander gestapelten Schichten können gemäß einem von drei Leitfähigkeitstypen dotiert sein: p-dotiert, undotiert oder n-dotiert. Die einzelnen Schichten können während des Abscheidungsprozesses dotiert werden. Bei einem undotierten Halbleitermaterial handelt es sich um ein Material ohne Dotanden. Der hierin verwendete Begriff „p-Typ“ bezieht sich auf das Hinzufügen von Verunreinigungen zu einem undotierten Halbleiter, durch die ein Mangel an Valenzelektronen erzeugt wird. In einem siliciumhaltigen Substrat kommen als beispielhafte Dotanden, d.h. Verunreinigungen, vom p-Typ infrage: Bor, Aluminium, Gallium und Indium. Der hierin verwendete

Begriff „n-Typ“ bezieht sich auf das Hinzufügen von Verunreinigungen, durch die in einem undotierten Halbleiter ein Überschuss an freien Elektronen erzeugt wird. In einen siliciumhaltigen Substrat kommen als beispielhafte Dotanden, d.h. Verunreinigungen, vom n-Typ infrage, ohne darauf beschränkt zu sein: Antimon, Arsen und Phosphor. Wenn III-V-Verbindungs-Halbleitermaterialien verwendet werden, dienen Atome aus der Gruppe II als Akzeptoren, d.h. vom p-Typ, wenn diese den Gitterplatz eines Atoms aus der Gruppe III einnehmen, und Atome aus der Gruppe VI dienen als Donatoren, d.h. vom n-Typ, wenn diese Atome aus der Gruppe V ersetzen. Dotandatome aus der Gruppe IV wie Silicium haben die Eigenschaft, dass sie in Abhängigkeit davon, ob sie den Gitterplatz von Atomen aus der Gruppe III oder der Gruppe V einnehmen, als Akzeptoren beziehungsweise als Donatoren dienen können.

[0025] Auf dem Substrat 202 wird eine stark dotierte Halbleiterschicht 204 vom n-Typ gebildet. Insbesondere wird davon ausgegangen, dass die stark dotierte Halbleiterschicht 204 vom n-Typ z.B. aus Galliumarsenid mit einer Dotandkonzentration von ungefähr 10^{18} cm^{-3} gebildet sein kann. Auf der stark dotierten Halbleiterschicht 204 vom n-Typ wird eine Halbleiterschicht vom n-Typ aus Indium-Gallium-Phosphor mit einer niedrigeren Dotandkonzentration von ungefähr 10^{18} cm^{-3} gebildet. Die Schicht 206 vom n-Typ mit der niedrigeren Dotandkonzentration hat eine beispielhafte Dicke von ungefähr 200 nm.

[0026] Auf den Schichten 204 und 206 vom n-Typ wird dann ein Satz undotierter Schichten gebildet. Eine erste undotierte Schicht 208 mit einer Dicke von ungefähr 50 nm wird aus undotiertem Indium-Gallium-Phosphor gebildet. Aus undotiertem Indium-Gallium-Arsen wird eine zweite undotierte Schicht 210 gebildet. Eine dritte undotierte Schicht 212 mit einer Dicke von ungefähr 50 nm wird aus undotiertem Indium-Gallium-Phosphor gebildet.

[0027] Dann wird auf den undotierten Schichten 208, 210 und 212 ein Satz Schichten vom p-Typ gebildet. Auf der dritten undotierten Schicht 212 wird eine erste Schicht 214 vom p-Typ aus p-dotiertem Indium-Gallium-Phosphor mit einer Dotandkonzentration von ungefähr 10^{18} cm^{-3} gebildet. Die erste Schicht vom p-Typ hat eine Dicke von ungefähr 200 nm. Auf der ersten Schicht 214 vom p-Typ wird eine zweite stark dotierte Schicht 216 vom p-Typ aus p-dotiertem Galliumarsenid mit einer Dotandkonzentration von ungefähr 10^{18} cm^{-3} gebildet. Die zweite Schicht 216 vom p-Typ hat eine Dicke von ungefähr 30 nm und dient als oberer elektrischer Kontakt für die LED 104.

[0028] Mit dieser LED-Struktur wird eine besonders stromsparende Hochleistungs-Lichtquelle bereitge-

stellt. Insbesondere wurde gemessen, dass der Wirkungsgrad der LED im Bereich zwischen $1 \mu\text{A}$ und ungefähr 1 mA am höchsten ist. Insbesondere liefert die gezeigte Lichtquelle 10 in diesem Strombereich eine externe Quantenausbeute zwischen ungefähr 0,9 und 1. Unter der externen Quantenausbeute ist das Verhältnis zwischen der Anzahl der von einer LED emittierten Photonen und der Anzahl der durch die Einheit fließenden Elektronen zu verstehen, was den Wirkungsgrad der Einheit für die Umwandlung eingespeister Ladungen in emittierte Photonen ausdrückt, wobei ein Wert gleich 1 einen idealen Wirkungsgrad ausdrückt. Aufgrund dieses ausgezeichneten Wirkungsgrades tritt bei den Lichtquellen 104 der vorliegenden Ausführungsformen eine Temperaturänderung in umliegenden Geweben auf, die 100-mal geringer als bei herkömmlichen Sonden ist.

[0029] Fig. 3 zeigt eine andere Ausführungsform der Struktur für die Lichtquellen 104. Diese Struktur kommt insbesondere für eine biokompatible Hochleistungs-LED in Betracht, die nur einen schwachen Injektionsstrom zieht und blaues, gelbes oder grünes Licht (d.h. Licht im blauen, gelben oder grünen Bereich des elektromagnetischen Spektrums) emittiert. Ebenso wie oben können die Schichten der Lichtquelle 104 nacheinander durch einen geeigneten Abscheidungsprozess abgeschieden werden, darunter zum Beispiel CVD-, PVD-, ALD- oder GCIB-Abscheidung. Die Lichtquelle 104 gemäß Fig. 3 kann Quantenausbeuten haben, die den mit der in Fig. 2 gezeigten Lichtquelle erzielten Quantenausbeuten nahe kommen.

[0030] Ein Substrat 302 wird aus einem Material wie z.B. Galliumnitrid oder Saphir (z.B. Aluminiumoxid) gebildet. Auf dem Substrat 302 wird eine stark n-dotierte Pufferschicht 304 zum Beispiel aus Galliumnitrid mit einer Dicke zwischen ungefähr 20 nm und ungefähr 1.000 nm gebildet. Die stark n-dotierte Pufferschicht 304 kann als unterer elektrischer Kontakt der Einheit dienen. Dann wird auf der Pufferschicht 304 eine Halbleiterschicht 306 vom n-Typ mit einer niedrigeren Dotandkonzentration als bei der stark dotierten Pufferschicht 304 und mit einer Dicke zwischen ungefähr 100 nm und ungefähr 1.000 nm gebildet. Es sollte klar sein, dass ein Halbleitermaterial vom III-V-Typ wie Galliumnitrid unter Verwendung von Silicium als Dotand mit einer Dotandkonzentration in der Größenordnung von ungefähr 10^{18} cm^{-3} bis ungefähr 10^{20} cm^{-3} dotiert werden kann. Eine „stark dotierte“ Schicht hat aufgrund einer größeren Anzahl freier Ladungsträger eine höhere Leitfähigkeit. Anstelle von Silicium kann ein beliebiges anderes geeignetes herkömmliches Dotierungsmaterial verwendet werden.

[0031] Dann wird auf dem Satz Schichten vom n-Typ ein Satz undotierte Schichten gebildet. Es kann eine Sperrschicht 308 aus undotiertem Galliumnitrid

mit einer Dicke zwischen ungefähr 20 nm und ungefähr 100 nm gebildet werden. Dann wird eine aktive Schicht 310 aus Indium-Galliumnitrid ($\text{In}_x\text{Ga}_{(1-x)}\text{N}$ mit $x = 0,10$ bis $0,50$) mit einer Dicke von ungefähr 2 nm bis ungefähr 10 nm oberhalb der Sperrschicht 208 gebildet. Auf der aktiven Schicht 310 wird eine zweite Sperrschicht 312 aus undotiertem Galliumnitrid mit einer Dicke von ungefähr 20 nm bis ungefähr 100 nm gebildet. Dann wird auf der Sperrschicht 312 eine Schicht 314 z.B. vom p-Typ aus Galliumnitrid mit einer Dicke zwischen ungefähr 100 nm und ungefähr 1.000 nm gebildet. Die obere Schicht 314 vom p-Typ kann die Rolle eines oberen elektrischen Kontakts der Einheit spielen. Zum Bilden der p-dotierten Schichten kann ein beliebiges geeignetes herkömmliches Dotierungsmaterial verwendet werden.

[0032] Gemäß einer alternativen Ausführungsform kann die Struktur von **Fig. 3** mit verschiedenen Materialien verwendet werden, um eine Niederleistungs-LED zu erzeugen, die rotes oder Infrarotlicht (d.h. Licht im roten oder Infrarotbereich des elektromagnetischen Spektrums) emittiert. Bei einer solchen Ausführungsform kann das Substrat 302 aus Germanium gebildet werden. Die Pufferschicht 304 kann aus stark dotiertem Indium-Gallium-Phosphor ($\text{In}_{0,49}\text{Ga}_{0,51}\text{P}$) vom n-Typ gebildet werden, und die schwächer dotierte Halbleiterschicht 306 vom n-Typ kann aus $\text{In}_{0,49}\text{Ga}_{0,51}\text{P}$ mit einer niedrigeren Dotandkonzentration gebildet werden. Ebenso können die erste undotierte Sperrschicht 308 und die zweite undotierte Sperrschicht 312 aus $\text{In}_{0,49}\text{Ga}_{0,51}\text{P}$ gebildet werden, während die Trogschicht 310 aus Indium-Gallium-Phosphor mit einer geringfügig abweichenden Zusammensetzung (z.B. $\text{In}_x\text{Ga}_{(1-x)}\text{P}$ mit $x = 0,50$ bis $0,60$) gebildet werden kann. Dann kann die stark dotierte Halbleiterschicht 314 vom p-Typ aus $\text{In}_{0,49}\text{Ga}_{0,51}\text{P}$ gebildet werden.

[0033] Bei dieser Ausführungsform der Lichtquellen 104 werden biokompatible Materialien (z.B. Galliumnitrid oder Indium-Gallium-Phosphor) verwendet und biologisch gefährliche Materialien (z.B. Arsen) vermieden. Die zum Aktivieren eines 100 μm großen Neurons erforderliche Ausgangsleistung beträgt ungefähr 10 mW/mm^2 . Bei diesem Leistungsniveau sind die durch die Struktur von **Fig. 3** verkörperten Lichtquellen 104 ungefähr 10-mal bis 100-mal effizienter als herkömmliche LEDs, sodass die Erwärmung benachbarter Gewebe deutlich verringert wird. Während der durch herkömmliche LEDs verursachte Temperaturanstieg ungefähr 2,2 °C bis ungefähr 4,1 °C beträgt, ist der durch die vorliegenden Ausführungsformen verursachte Temperaturanstieg ungefähr 100-mal geringer (z.B. ungefähr 0,022 °C bis ungefähr 0,041 °C).

[0034] Es sollte klar sein, dass Aspekte der vorliegenden Erfindung in Form einer bestimmten anschaulichen Architektur beschrieben werden;

jedoch können innerhalb des Geltungsbereichs von Aspekten der vorliegenden Erfindung andere Architekturen, Strukturen, Substratmaterialien und Prozessmerkmale sowie -schritte variiert werden.

[0035] Es ist auch klar, dass ein Element wie eine Schicht, ein Bereich oder ein Substrat, das als „auf“ oder „oberhalb“ eines anderen Elements liegend bezeichnet wird, sich direkt auf dem anderen Element befinden kann oder auch weitere Elemente dazwischen liegen können. Wenn ein Element hingegen als „direkt auf“ oder „direkt oberhalb“ eines anderen Elements liegend bezeichnet wird, liegen keine weiteren Elemente dazwischen. Es ist auch klar, dass ein Element, wenn es als mit einem anderen Element „verbunden“ oder „gekoppelt“ bezeichnet wird, direkt mit dem anderen Element verbunden oder gekoppelt sein kann oder dass dazwischen auch weitere Elemente sein können. Wenn ein Element hingegen als mit einem anderen Element „direkt verbunden“ oder „direkt gekoppelt“ bezeichnet wird, sind keine weiteren Elemente dazwischen.

[0036] Die vorliegenden Ausführungsformen können einen Entwurf für einen integrierten Schaltkreis-Chip umfassen, der in einer grafischen Computer-Programmiersprache erzeugt und in einem Computer-Speichermedium (beispielsweise einer Diskette, einem Magnetspeicherband, einem physischen Festplattenlaufwerk oder einem virtuellen Festplattenlaufwerk wie in einem Netzwerk mit Speicherzugriff) gespeichert werden kann. Wenn der Entwickler keine Chips oder zum Fertigen von Chips verwendete fotolithografische Masken herstellt, kann er den fertigen Entwurf durch physische Mittel (z.B. durch Bereitstellen einer Kopie des zum Speichern des Entwurfs verwendeten Speichermediums) oder elektronisch (z.B. über das Internet) direkt oder indirekt an solche Institutionen übertragen. Der gespeicherte Entwurf wird dann in das geeignete Format (z.B. GDSII) zum Fertigen der fotolithografischen Masken konvertiert, die üblicherweise mehrere Exemplare des betreffenden Chip-Entwurfs enthalten, der auf einem Wafer gebildet werden soll. Die fotolithografischen Masken werden zum Definieren von Bereichen des Wafers (und/oder der darauf befindlichen Schichten) verwendet, die geätzt oder anderweitig bearbeitet werden sollen.

[0037] Verfahren wie die hierin beschriebenen können zur Fertigung integrierter Schaltkreis-Chips verwendet werden. Die dabei hergestellten integrierten Schaltkreis-Chips können vom Hersteller in Form eines unbearbeiteten Wafers (das heißt als Wafer, der mehrere ungekapselte Chips hat), als Einzelplättchen oder in einer konfektionierten Form vertrieben werden. Im letzteren Fall wird der Chip in ein Einzel-Chip-Gehäuse (wie einen Kunststoffträger mit Leiterbahnen, die an einer Hauptplatine oder einem anderen übergeordneten Träger befestigt

sind) oder in ein Mehrfach-Chip-Gehäuse (wie einen Keramikträger mit Oberflächen- und/oder eingebetteten Verbindungsleitungen) eingebaut. In jedem Fall wird der Chip dann mit anderen Chips, diskreten Schaltkreiselementen und/oder anderen Signalverarbeitungseinheiten als Teil entweder (a) eines Zwischenprodukts wie einer Hauptplatine oder (b) eines Endprodukts verknüpft. Bei dem Endprodukt kann es sich um ein beliebiges Produkt handeln, das integrierte Schaltkreis-Chips enthält, von Spielzeugen und anderen einfachen Anwendungen bis zu leistungsfähigen Computerprodukten mit einem Bildschirm, einer Tastatur oder einer anderen Eingabeinheit und einem Zentralprozessor.

[0038] Es sollte auch klar sein, dass Materialverbindungen in Form von aufgeführten Elementen beschrieben werden, z.B. SiGe. Diese Verbindungen enthalten unterschiedliche Anteile der Elemente innerhalb der Verbindung, sodass SiGe z.B. $\text{Si}_x\text{Ge}_{1-x}$ enthält, wobei x kleiner als oder gleich 1 ist, usw. Außerdem können in der Verbindung auch andere Elemente enthalten sein und ebenfalls gemäß der vorliegenden Erfindung funktionieren. Die Verbindungen mit zusätzlichen Elementen werden hierin als Legierungen bezeichnet.

[0039] Bezugnahmen in der Beschreibung auf „eine bestimmte Ausführungsform“ oder „eine Ausführungsform“ sowie weitere derartige Varianten bedeuten, dass ein bestimmtes in Verbindung mit der Ausführungsform beschriebenes Merkmal, eine Struktur oder Eigenschaft und so weiter in mindestens einer Ausführungsform enthalten ist. Somit ist beim Vorkommen des Ausdrucks „gemäß einer bestimmten Ausführungsform“ oder „gemäß einer Ausführungsform“ sowie beliebiger anderer Varianten an verschiedenen Stellen in der Beschreibung nicht gemeint, dass diese unbedingt alle dieselbe Ausführungsform betreffen.

[0040] Es sollte einsichtig sein, dass die Verwendung zum Beispiel von „/“, „und/oder“ und „mindestens eins von“ in den Fällen „A/B“, „A und/oder B“ und „mindestens eins von A und B“ nur die Auswahl der ersten aufgeführten Option (A), nur die Auswahl der zweiten aufgeführten Option (B) oder die Auswahl beider Optionen (A und B) gemeint ist. Ein weiteres Beispiel besagt, dass in den Fällen „A, B und/oder C“ und „mindestens eins von A, B und C“ nur die Auswahl der ersten aufgeführten Option (A) oder nur die Auswahl der zweiten aufgeführten Option (B) oder nur die Auswahl der dritten aufgeführten Option (C) oder nur die Auswahl der ersten und der zweiten aufgeführten Optionen (A und B) oder nur die Auswahl der ersten und der dritten aufgeführten Optionen (A und C) oder nur die Auswahl der zweiten und der dritten aufgeführten Optionen (B und C) oder die Auswahl aller drei Optionen (A und B und C) gemeint ist. Dem Fachmann auf diesem oder verbundenen

Technikgebieten ist offensichtlich, dass dies auf viele aufgeführte Posten erweitert werden kann.

[0041] Die hierin verwendeten Begriffe dienen nur zum Beschreiben einzelner Ausführungsformen und sollen keine Einschränkung auf beispielhafte Ausführungsformen bedeuten. Die hierin verwendeten Einzahlformen „ein“, „eine“ und „der, die, das“ sollen gleichermaßen auch die Mehrzahlformen umfassen, sofern nicht aus dem Zusammenhang eindeutig anderes hervorgeht. Ferner ist klar, dass die hierin verwendeten Begriffe „umfasst“, „enthält“ und/oder „enthaltend“ das Vorhandensein angegebener Merkmale, Ganzzahlen, Schritte, Operationen, Elemente und/oder Komponenten angeben, jedoch nicht das Vorhandensein oder Hinzukommen eines oder mehrerer anderer Merkmale, Ganzzahlen, Schritte, Operationen, Elemente und/oder Gruppen derselben ausschließen.

[0042] Räumliche Relativangaben wie „darunter“, „unterhalb“, „unterer“, „oberhalb“, „oberer“ und dergleichen können hierin zum einfacheren Beschreiben einer Beziehung eines Elements oder Merkmals zu einem oder mehreren anderen in den FIGUREN dargestellten Elementen oder Merkmalen verwendet werden. Es ist klar, dass die räumlichen Relativangaben zusätzlich zu der in den FIGUREN dargestellten Ausrichtung verschiedene Ausrichtungen beim Gebrauch oder Betrieb umfassen sollen. Wenn zum Beispiel die Einheit in den FIGUREN auf den Kopf gestellt wird, befinden sich Elemente, die als „unterhalb“ anderer Elemente oder Merkmale oder „darunter“ beschrieben sind, „oberhalb“ der anderen Elemente oder Merkmale. Somit kann der Begriff „darunter“ die beiden Ausrichtungen oberhalb und unterhalb umfassen. Die Einheit kann anderweitig ausgerichtet (um 90 Grad oder in andere Richtungen gedreht) werden, und die hierin verwendeten räumlichen Relativbezeichnungen können dementsprechend ausgelegt werden. Außerdem ist klar, dass eine Schicht, wenn sie als „zwischen“ zwei Schichten befindlich bezeichnet wird, die einzige Schicht zwischen den beiden Schichten ist oder dass auch eine oder mehrere Zwischenschichten vorhanden sein können.

[0043] Es ist klar, dass hierin zum Beschreiben verschiedener Elemente zwar die Begriffe erster, zweiter usw. verwendet werden können, diese Elemente aber nicht durch diese Begriffe darauf beschränkt sein sollen. Diese Begriffe werden nur dazu verwendet, ein Element von einem anderen Element zu unterscheiden. Somit kann ein im Folgenden erörtertes erstes Element auch als zweites Element bezeichnet werden, ohne vom Schutzzumfang der vorliegenden Erfindung abzuweichen.

[0044] Fig. 4 zeigt ein Sondensteuersystem 400. Das Sondensteuersystem 400 enthält einen Hard-

ware-Prozessor und -Speicher 404. Eine SONDENSCHNITTSTELLE 406 stellt eine physische Datenübertragungsschnittstelle zwischen dem SONDENSTEUERSYSTEM 400 und der Sonde 100 bereit. Eine Stromquelle 408 führt der Sonde 100 elektrischen Strom über die SONDENSCHNITTSTELLE 406 zu und kann die Form eines Akkus oder einer anderen Gleichstromquelle haben oder alternativ eine geeignete Schaltung zum Umwandeln von Wechselstrom in eine für die Sonde 100 geeignete Form enthalten. Insbesondere ist es denkbar, dass die SONDENSCHNITTSTELLE 406 über eine Verbindungsleitung zu der Sonde 100 verfügt, die elektrischen Strom und Steuersignale bereitstellt, es ist jedoch auch denkbar, dass eine drahtlose Schnittstelle bei Ausführungsformen verwendet werden kann, bei denen die Sonde über eine lokale Stromquelle verfügt. Gemäß anderen Ausführungsformen kann das SONDENSTEUERSYSTEM 400 direkt in den Körper der Sonde 100 eingebaut sein.

[0045] Gemäß einigen Ausführungsformen wird ein SONDENSTEUERMODUL 408 in Form von Software realisiert, die in dem Speicher 404 gespeichert ist und durch den Prozessor 402 ausgeführt wird. Gemäß anderen Ausführungsformen kann das SONDENSTEUERMODUL 408 durch eine oder mehrere diskrete Hardwarekomponenten z.B. in Form von anwendungsspezifischen integrierten Chips oder anwenderprogrammierbaren Gate-Arrays realisiert werden. Das SONDENSTEUERMODUL 408 sendet Befehlssignale über die SONDENSCHNITTSTELLE 406 an die Sonde(n) 100 und kann zum Aktivieren und Deaktivieren einzelner Lichtquellen 104 und zum Steuern deren optischer Ausgangsleistung verwendet werden. Es sollte klar sein, dass das SONDENSTEUERMODUL 408 diese Befehle auf Veranlassung einer Bedienperson oder alternativ auch automatisch ausgeben kann.

[0046] Fig. 5 zeigt ein beispielhaftes Verarbeitungssystem 500, das die Sendeeinheit 100 oder die Empfangseinheit 120 darstellen kann. Das Verarbeitungssystem 500 enthält mindestens einen Prozessor (CPU) 504, der durch einen Systembus 502 funktionell mit anderen Komponenten verbunden ist. Ein Cache-Speicher 506, ein Nurlese-Speicher (ROM) 508, ein Direktzugriffs-Speicher (RAM) 510, ein Eingabe/Ausgabe- (E/A-) Adapter 520, ein Sound-Adapter 530, ein Netzwerk-Adapter 540, eine Benutzeroberflächen-Adapter 550 und ein Bildschirm-Adapter 560 sind funktionell mit dem Systembus 502 verbunden.

[0047] Eine erste Speichereinheit 522 und eine zweite Speichereinheit 524 sind durch den E/A-Adapter 520 mit dem Systembus 502 verbunden. Bei den Speichereinheiten 522 und 524 kann es sich um ein Platten-Speicherlaufwerk (z.B. ein magnetisches oder optisches Platten-Speicherlaufwerk), einen magnetischen Halbleiter-Speicherdatenträger

und so weiter handeln. Bei den Speicherlaufwerken 522 und 524 kann es sich Speicherlaufwerke vom selben Typ oder von verschiedenen Typen handeln.

[0048] Ein Lautsprecher 532 ist durch den Sound-Adapter 530 funktionell mit dem Systembus 502 verbunden. Ein Sende-Empfänger 542 ist durch den Netzwerkadapter 540 mit dem Systembus 502 verbunden. Eine Bildschirmeinheit 562 ist durch den Bildschirm-Adapter 560 mit dem Systembus 502 verbunden.

[0049] Eine erste Benutzereingabeeinheit 552, eine zweite Benutzereingabeeinheit 554 und eine dritte Benutzereingabeeinheit 556 sind durch Benutzeroberflächen-Adapter 550 funktionell mit dem Systembus 502 verbunden. Bei den Benutzereingabeeinheiten 552, 554 und 556 kann es sich um eine Tastatur, eine Maus, einen Nummernblock, eine Bilderfassungseinheit, eine Bewegungsverfolgungseinheit, ein Mikrofon, eine Einheit zum Ausführen der Funktionalität von mindestens zwei der vorhergehenden Einheiten und so weiter handeln. Natürlich können auch andere Typen von Eingabeeinheiten verwendet werden, solange der Schutzzumfang der vorliegenden Erfindung aufrechterhalten bleibt wird. Bei den Benutzereingabeeinheiten 552, 554 und 556 kann es sich um Benutzereingabeeinheiten vom selben Typ oder von verschiedenen Typen handeln. Die Benutzereingabeeinheiten 552, 554 und 556 werden zum Eingeben von Informationen in das System 500 und zu Ausgeben aus diesem verwendet.

[0050] Dem Fachmann ist plausibel, dass das Verarbeitungssystem 500 natürlich auch andere (nicht gezeigte) Elemente enthalten sowie auf bestimmte Elemente verzichten kann. Dem Fachmann ist auch plausibel, dass je nach der konkreten Gestaltung des Verarbeitungssystems 500 verschiedene andere Eingabeeinheiten und/oder Ausgabeeinheiten in diesem enthalten sein können. Zum Beispiel können verschiedene Typen von drahtlosen und/oder leitungsgebundenen Eingabe- und/oder Ausgabeeinheiten verwendet werden. Dem Fachmann ist plausibel, dass außerdem weitere Prozessoren, Controller, Speicher und so weiter in verschiedenen Anordnungen verwendet werden können. Anhand der hierin bereitgestellten Lehren der vorliegenden Erfindung sind diese sowie weitere Varianten des Verarbeitungssystems 500 einleuchtend.

[0051] Nach dem Beschreiben bevorzugter Ausführungsformen mehrerer in eine Neuralsonde integrierter Lichtquellen zum Aktivieren mit mehreren Wellenlängen (die nur der Veranschaulichung dienen und keine Einschränkung darstellen sollen) wird darauf hingewiesen, dass ein Fachmann anhand der obigen Lehren Modifikationen und Varianten erstellen kann. Es sollte deshalb klar sein, dass an den einzelnen Ausführungsformen Änderungen vorgenommen

werden können, die innerhalb des durch die beiliegenden Ansprüche dargelegten Schutzzumfangs liegen.

Patentansprüche

1. Sonde (100), die aufweist:
einen Sondenkörper (102), der zum Eindringen in biologisches Gewebe geeignet ist; und
eine Mehrzahl innerhalb des Sondenkörpers (102) angeordneter Hochleistungs-Lichtquellen,
wobei es sich bei der Mehrzahl der Hochleistungs-Lichtquellen um Leuchtdioden (LEDs) handelt,
wobei mindestens eine LED Licht in einem roten oder Infrarotbereich des elektromagnetischen Spektrums und mindestens eine LED Licht in einem blauen, gelben oder grünen Bereich des elektromagnetischen Spektrums emittiert,
wobei die mindestens eine LED, die Licht in dem roten oder Infrarotbereich des elektromagnetischen Spektrums emittiert, aufweist:
ein Germaniumsubstrat;
mindestens eine dotierte Schicht aus $\text{In}_{0,49}\text{Ga}_{0,51}\text{P}$ vom n-Typ;
mindestens eine undotierte Schicht aus $\text{In}_{0,49}\text{Ga}_{0,51}\text{P}$;
eine Trogsschicht aus $\text{In}_x\text{Ga}_{(1-x)}\text{P}$, wobei x gleich einem Wert zwischen ungefähr 0,50 und ungefähr 0,60 ist; und
mindestens eine dotierte Schicht aus $\text{In}_{0,49}\text{Ga}_{0,51}\text{P}$ vom p-Typ.

Es folgen 3 Seiten Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

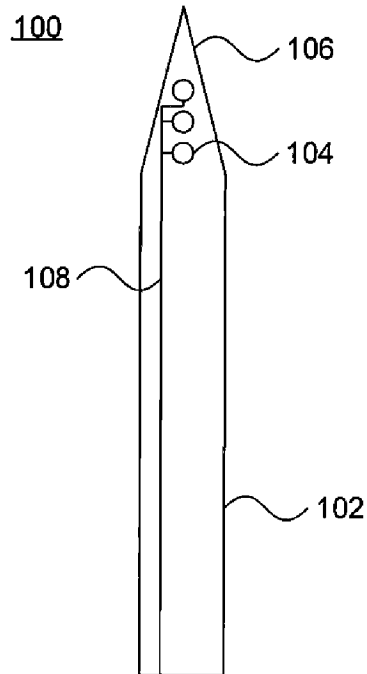


FIG. 1

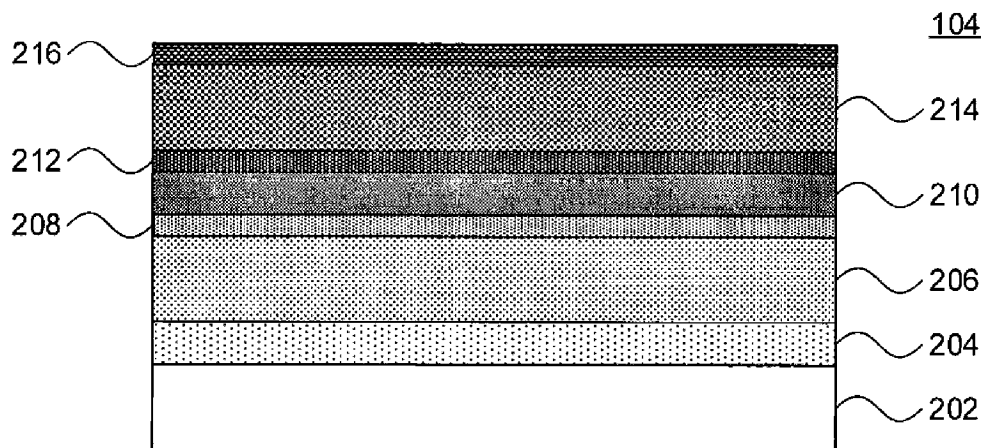


FIG. 2

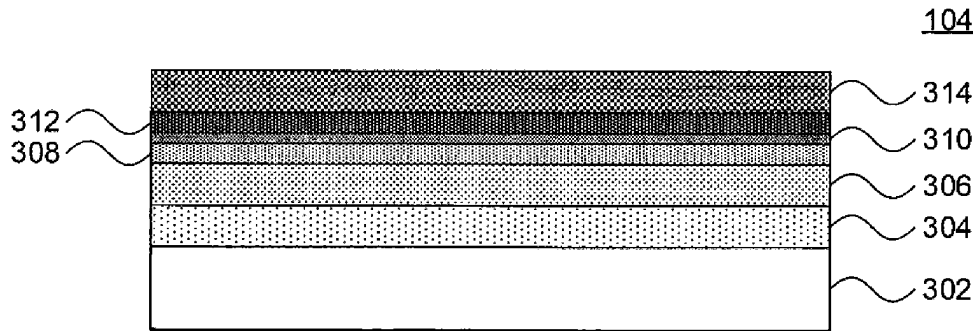


FIG. 3

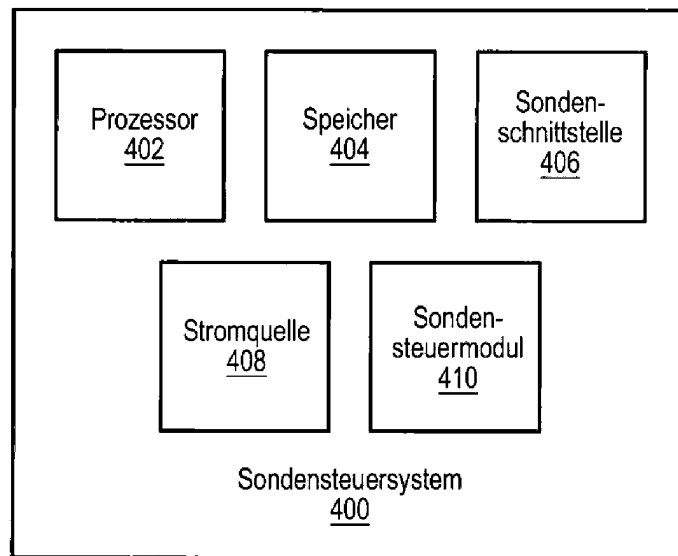


FIG. 4

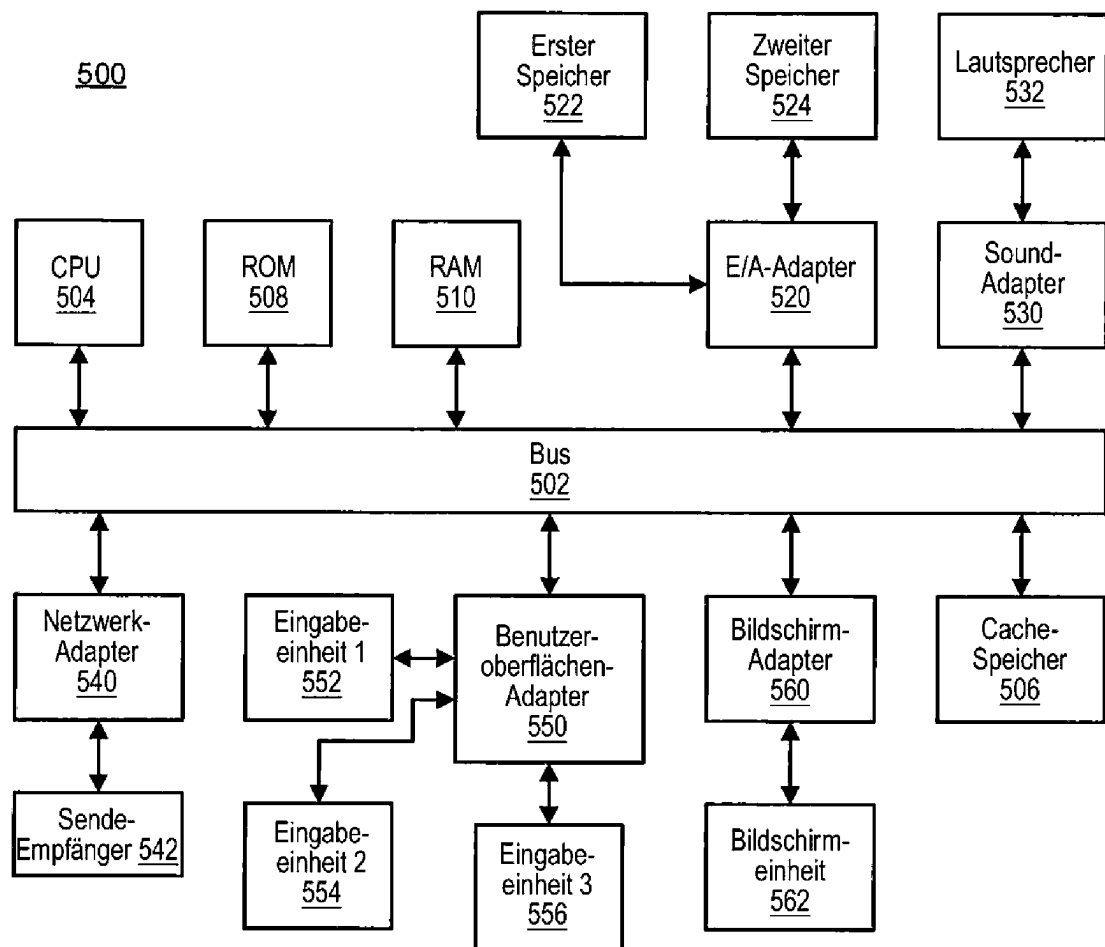


FIG. 5