

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特許公報(B2)

(11) 特許番号

特許第6951254号
(P6951254)

(45) 発行日 令和3年10月20日(2021.10.20)

(24) 登録日 令和3年9月28日(2021.9.28)

(51) Int. Cl. F I
A 6 1 N 1/05 (2006.01) A 6 1 N 1/05
A 6 1 N 1/36 (2006.01) A 6 1 N 1/36
A 6 1 F 9/007 (2006.01) A 6 1 F 9/007 1 9 0 B

請求項の数 7 (全 22 頁)

(21) 出願番号	特願2017-559070 (P2017-559070)	(73) 特許権者	515328853 ピクシウム ビジョン エスエー
(86) (22) 出願日	平成28年4月28日 (2016. 4. 28)		フランス国 7 5 0 1 2 パリ, リュ
(65) 公表番号	特表2018-514338 (P2018-514338A)		ドゥ フォールブル サンタントワーヌ
(43) 公表日	平成30年6月7日 (2018. 6. 7)		7 4
(86) 国際出願番号	PCT/EP2016/000690	(74) 代理人	100107515 弁理士 廣田 浩一
(87) 国際公開番号	W02016/180517	(74) 代理人	100107733 弁理士 流 良広
(87) 国際公開日	平成28年11月17日 (2016. 11. 17)	(74) 代理人	100115347 弁理士 松田 奈緒子
審査請求日	平成31年4月3日 (2019. 4. 3)	(72) 発明者	マーティン・ドテール フランス共和国 7 5 0 1 2 パリ ルー
(31) 優先権主張番号	15001427. 2		デ ワティニー 3 6
(32) 優先日	平成27年5月12日 (2015. 5. 12)		
(33) 優先権主張国・地域又は機関	欧州特許庁 (EP)		

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 シヤント抵抗体を有する感光性画素

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

少なくとも1つのダイオードと、刺激電極と、対向電極と、シヤント抵抗体とを有する少なくとも1つの画素を含む感光性インプラントであって、

前記シヤント抵抗体の抵抗が、次式によって決定され、

【数 1】

$$R = a \cdot (D_{\text{area}}^n) \cdot E_{\text{area}}$$

(式中、

R は、前記シヤント抵抗体の抵抗 (k Ohm) であり、

E_{area} は、前記刺激電極の面積 (μm²) であり、

D_{area} は、前記画素における全ダイオード面積と前記ダイオードの数との比によって表される有効ダイオード面積 (μm²) であり、

n は、指数であり、

a は、定数 (k Ohm · μm⁻²⁽ⁿ⁺¹⁾) である。) 10

前記式における前記定数 a が、 $3 \cdot 10^5$ (k Ohm · μm⁻²⁽ⁿ⁺¹⁾) $a \geq 2 \cdot 10^6$ (k Ohm · μm⁻²⁽ⁿ⁺¹⁾) を満たし、前記式における前記指数 n が、 $-2 \leq n \leq 5$ を満たすことを特徴とする感光性インプラント。

【請求項 2】

前記指数 n が、n = - 1 , 8 1 を満たし、前記定数 a が、 $3 \cdot 10^5$ (k Ohm · μm 20

$\cdot 2(n+1) \cdot a \cdot 10^6 (k\Omega \cdot \mu m^{-2(n+1)})$ を満たし、又は、前記定数 a が、 $a = 10^6$ を満たし、前記指数 n が、 $-2n - 1, 5$ を満たす請求項 1 に記載の感光性インプラント。

【請求項 3】

前記対向電極が、前記刺激電極の周り及び / 又は前記少なくとも 1 つのダイオードの周りに配置される請求項 1 から 2 のいずれかに記載の感光性インプラント。

【請求項 4】

画素アレイ状に配置される複数の画素を含む請求項 1 から 3 のいずれかに記載の感光性インプラント。

【請求項 5】

前記少なくとも 1 つの画素が、実質的に六角形状を有する、又は、前記刺激電極が、実質的に円形状を有する請求項 1 から 4 のいずれかに記載の感光性インプラント。

【請求項 6】

網膜下インプラントである請求項 1 から 5 のいずれかに記載の感光性インプラント。

【請求項 7】

請求項 1 から 6 のいずれかに記載の感光性インプラントを製造するための方法であって、

- 基板を提供する工程と、
- 前記基板の上に、少なくとも、電極と、ダイオードと、シャント抵抗体とを含む画素構造体を設ける工程とを含み、

前記シャント抵抗体の抵抗が、次式によって決定され、

【数 2】

$$R = a \cdot (D_{\text{area}}^n) \cdot E_{\text{area}}$$

(式中、

R は、前記シャント抵抗体の抵抗 ($k\Omega$) であり、

E_{area} は、前記刺激電極の面積 (μm^2) であり、

D_{area} は、前記画素における全ダイオード面積と前記ダイオードの数との比によって表される有効ダイオード面積 (μm^2) であり、

n は、指数であり、

a は、定数 ($k\Omega \cdot \mu m^{-2(n+1)}$) である。) 30

前記式における前記定数 a が、 $3 \cdot 10^5 (k\Omega \cdot \mu m^{-2(n+1)})$ $a \cdot 2 \cdot 10^6 (k\Omega \cdot \mu m^{-2(n+1)})$ を満たし、前記式における前記指数 n が、 $-2n - 1, 5$ を満たすことを特徴とする方法。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、少なくとも 1 つの感光性画素を有する感光性インプラントに関する。

【背景技術】

【0002】

例えば、網膜色素変性症などの変性疾患により視力を失った患者の視覚の少なくとも一部の回復を助けるインプラントシステムが知られている。変性した網膜組織をバイパスすることができ、網膜を依然として、直接刺激することができるという事実に基づくことで、視覚は、インプラントで少なくともある程度回復させることができる。この電気刺激は、インプラントシステムによって与えることができる。そのようなシステムは、通常、患者の眼の前方に配置される特別なゴーグルと、インプラント、特に、複数の電極を含む網膜下インプラントとを含む。

【0003】

ゴーグルには、通常、カメラが設けられる。カメラは、患者の前方の場面を撮像するようになっている。この撮像された場面は、視覚情報から所定の IR 光パルス信号に変換さ 40

10

20

30

40

50

れる。インプラントは、I R 光パルスを受領するようになっており、これにตอบสนองして、カメラによって受領された場面内容に基づいてインプラントが刺激される。次いで、インプラントは、受領した光を、網膜に残存している細胞を刺激して電流に変換する。

【0004】

その目的のために、インプラントは、画素アレイを含み、各画素が、1つ以上のダイオード領域と、刺激電極と、対向電極とを含む。刺激電極は、通常、画素の中心に配置される。特定の領域をそれぞれ分離するために、画素の個々のダイオード間及び画素間に溝が設けられている。各コンポーネントを相互接続するために、ダイオードと電極との間の電氣的接続が設けられる。

【0005】

I R パルスが、画素又は画素の感光性領域に向けられると、これにตอบสนองして、光ダイオード回路によって電気パルスが発生する。

【0006】

W a n g ら（非特許文献1）は、シャント抵抗体の追加が、刺激波形の放電位相の速度上昇を助けることを記載する。L o u d i n ら（非特許文献2）は、網膜補綴における光ダイオード回路のためのシャント抵抗体の使用を示唆する。同様に、M a n d e l ら（非特許文献3）及びB o i n a g r o v ら（非特許文献4）は、光起電力画素の網膜下アレイによる光学的に活性化された神経刺激を記載する。M a t h i e s o n ら（非特許文献5）は、また、網膜下光ダイオードアレイを有する網膜補綴システムを記載する。

【0007】

一方で、残存細胞を高い信頼性で刺激するためには、電流密度、即ち、電磁パルス当たり（例えば、I R パルス当たり）の位相当たりの、所定時間で実際に運ばれる電荷をできる限り高くして、残存細胞を十分に刺激する必要がある。他方、電流密度は、高くし過ぎるべきではない。さもないと、組織損傷又は電極若しくは複数の電極に対する損傷が生じることがある。更に、個々の電極を横切る電圧は、加水分解限界を超えるべきではない。これは、そうでないと、周りの水が解離してしまうからである。再度言及するが、周囲組織に対する潜在的な損傷と電極劣化とが、その結果である場合がある。更に、インプラントの電極に印加される電圧は、理想的には、刺激パルスの後と後続のパルスの前は、ゼロボルトに戻るべきであり、インプラントによって印加される正電荷及び負電荷のバランスをとることができる。そうでないと、電極が、周囲組織と電極自体とを損傷させ得る残存DC電流を運ぶことがある。先行技術のシステムは、高い電荷をもたらすことができない若しくは十分な電荷のバランスをとることができない、又はその両方を行うことができない場合が多い。先行技術のシステムの更なる問題点は、インプラントの画素におけるダイオードの感光性領域が、前記画素の電極のサイズ及び容量に理想的な状態で適合しないことが多い点に見られる。

【0008】

したがって、本発明の目的は、向上された電荷輸送を可能にしつつ、先行技術のシステムの欠点の少なくとも1つを解消するインプラントを提供することである。

【0009】

特に、本発明の目的は、電荷の輸送を向上させるために、感光性に関して最適化された構造、及び電極サイズを有するインプラントを提供することである。

【0010】

本発明に係る電極アレイを有するインプラントは、電極、即ち、刺激又は作用電極及び対向電極（リターン電極とも称する）を、これらの電極間の電気回路に設けられる更なる抵抗体と共に含むことが更に知られている。この更なる抵抗体は、シャント抵抗体と称することもある。シャント抵抗体は、I R パルスの第1位相において運ばれる電荷の速やかな放出を可能にし、且つ実際に組織に運ばれる電荷の制御を可能にする。シャント抵抗体が高い抵抗を有する場合又はシャント抵抗体がない場合、パルスの第1の位相において運ばれる電荷が、速やかに放出されない場合がある。そのため、電圧がゼロに戻るのに要する時間が長くなる。更なるパルスの前に十分に早く電荷のバランスがとれない場合がある

10

20

30

40

50

。シャント抵抗体の高抵抗は、そのため、次のパルスにおける利用可能なキャパシタンスを制限することがあり、これにより、安定な状態にある輸送電荷が減少することがある。

【0011】

一方、シャント抵抗体の低抵抗は、電荷の迅速且つ十分な放出を可能にするが、著しい割合の光発生電荷がシャント抵抗体で失われることがあり、組織に運ばれる電荷が減少することがある。

【先行技術文献】

【非特許文献】

【0012】

【非特許文献1】 Photovoltaic retinal prosthesis: implant fabrication and performance; J Neural Eng. 2012 August; 9(4) 10

【非特許文献2】 IEEE transactions on biomedical circuits and systems; volume 5

【非特許文献3】 Cortical responses elicited by photovoltaic sub-retinal prostheses exhibit similarities to visually evoke potentials; Nature Communications

【非特許文献4】 Photovoltaic Pixels for Neural Stimulation: Circuit Models and Performance; IEEE 20

【非特許文献5】 Photovoltaic retinal prosthesis with high pixel density; nature photonics

【発明の概要】

【0013】

したがって、本発明の具体的な目的は、電極及びダイオード用に選択された具体的な設計のために、理想的に寸法が決められたシャント抵抗体を提供することである。

【0014】

問題点は、本発明にしたがって、独立請求項1に記載のデバイスで解決される。有利な形態は、従属請求項の主題にしたがう。更に、問題点は、請求項16に係る方法によって解決される。 30

【0015】

本発明に係る感光性インプラントは、少なくとも1つのダイオードと、刺激電極と、対向電極と、前記刺激電極と前記対向電極との間に設けられる抵抗体とを有する少なくとも1つの画素を含む。前記抵抗体は、好ましくは、画素のダイオード又は複数のダイオードに並列に電気的に接続されている。抵抗体の抵抗は、抵抗、刺激電極のサイズ、及び少なくとも1つのダイオードのサイズの所定の関係にしたがって決められる。

【0016】

本発明に関して、本発明の最も好ましい実施形態として、感光性インプラントが言及される。他の実施形態においては、インプラントを表す構造体を、少なくとも1つのダイオード、刺激電極、対向電極、及び抵抗体を有する基板として設けることができるが、この基板は埋め込まれない。そのような実施形態においては、高度に定義された場分布を有する電場を生成するために、ダイオード又は複数のダイオードの光生成電荷が刺激電極を励起することができる。これにより、例えば、体の外部から組織を刺激すること、又は組織とは別の他の構造を刺激することを可能にすることができる。 40

【0017】

刺激電極のサイズ及び少なくとも1つのダイオードのサイズとの関係に応じて、抵抗体の抵抗を関連付けることによって、本発明者らは、シャント抵抗体が最大電荷を提供するように最適に構成され、それと同時に、信頼性のある電荷バランスを可能にするインプラ 50

ントを提供することを可能にする。これにより、電極サイズ及びダイオードサイズに応じて予測可能なシャント抵抗値によって複数のパラメータに適合されるインプラントの提供を可能にすることができる。

【0018】

ここで画素サイズとは、2つの隣接する画素間のピッチとして理解されるものとする。本願の文脈における、特に画素、電極、又はダイオードの「サイズ」は、相互に関連させて又は絶対数として、そのコンポーネントの寸法を特性付けることが可能な任意の寸法を意味することができる。より具体的な実施形態においては、本発明に係るコンポーネントのいずれかのサイズは、例えば、そのコンポーネントの表面積、可視面積、又は活性面積などによって表すことができる。

10

【0019】

本発明の好ましい実施形態に係る本発明が、シャント抵抗体が設けられるインプラントに言及していたとしても、電極とダイオードを、それらのサイズの具体的且つ所定の関係で設けるといふ本発明の思想は、画素にシャント抵抗体が設けられない場合にも適用することができる（即ち、無限抵抗を有する抵抗体）。

【0020】

電極、ダイオードのサイズ又は抵抗体の抵抗の選択は、既に述べた幾つかの因子によって影響される。電荷入力について適合される、好ましくは最適に適合される電極サイズの場合、名目上最適な電極サイズを有する電極の電荷密度は、しかしながら、電極劣化及び/又は組織損傷の値を超える場合がある。本発明の幾つかの実施形態においては、したがって、電極サイズは、最適な電極サイズの最大2倍のサイズを有することができる。電極サイズの上昇は、電荷密度を低下させることがあり、したがって、組織又は電極を損傷させるリスクを低減するのに役立つことができる。

20

【0021】

刺激電極を含む本発明に係る感光性インプラントは、生体細胞又は組織を刺激するように構成されていると理解される。特に、神経細胞（例えば、ニューロンなど）又は体の各種組織の刺激を達成することができる。この目的のため、感光性インプラントは、組織に埋め込むことができる。インプラントの電極、特に刺激電極は、刺激電極上の電気パルスが周囲組織の1つ以上の細胞を刺激できるように配置させることができる。また、電極は、インプラントを囲む組織の1つ以上の細胞に、直接接触するように設けることもできる。

30

【0022】

これに関して、基本的には、任意の神経組織、神経、又は細胞をインプラントで刺激することができる。特に、インプラントは、網膜インプラント、脳のインプラント、心臓インプラント、任意の他の生体組織（耳、特に内耳）のインプラント、又は特に電氣的に刺激することができる筋肉用のインプラントであることができる。本発明によれば、光活性画素領域（即ち、画素のダイオード又は複数のダイオード上）が十分な光刺激を検出すると、刺激電極上の本発明に係る画素によって電荷が発生する。したがって、少なくとも1つのダイオードの光励起、即ち、このダイオードに接続された刺激電極を実現することができれば、組織内の任意の位置がインプラントを受容するのに好適であることができる。

40

【0023】

画素上のダイオードを介する光によるそのような励起は、外部光源（即ち、インプラントが設けられる体に対して外部にある光源）によって適用することができる。或いは、更なるインプラント又は更なる手段により、インプラントが設けられる体の内部から光源を設けることができる。特に、赤外光又は光パルスを用いて、画素の感光性領域に照射することができる。そのようなIR光を、例えば、刺激すべき器官又は生体組織の外側から、組織の幾つかの層（特に、インプラントを有する患者の皮膚又は更なる組織層）を貫通するようにすることもできる。

【0024】

本発明の態様によれば、刺激電極のサイズとダイオードのサイズは、それぞれ刺激電極

50

とダイオードの面積によって表される。これは、シャント抵抗体の抵抗が、刺激電極の面積とダイオードの面積の両方に依存する、特に、刺激電極の面積とダイオードの面積の関係に依存することを意味する。これにより、電極及びダイオードに通常用いられる実際の寸法及びジオメトリにとって、より良好な寸法を可能にすることができる。なお、ダイオードの面積は、好ましくは、ダイオード領域の感光性部分、即ち、活性なダイオード領域を意味する。同様に、電極の面積は、好ましくは、活性な電極領域を意味する。したがって、1つ以上のダイオード、電極及び/又は全画素は、また、本発明にしたがって非対称又は任意の形状で適用することができる。

【0025】

本発明の更なる態様においては、1つの画素において、複数のダイオード、例えば、2つのダイオード又は3つのダイオードが設けられる。電極サイズ及び抵抗体の抵抗に関連して言及されるダイオードサイズは、有利には、有効ダイオードサイズである。この有効ダイオードサイズは、好ましくは、画素におけるダイオードの数で除される全ダイオードサイズの比として定義することができる。したがって、有効ダイオードサイズは、画素内の平均ダイオードサイズの寸法である。この定義は、特に、画素上の複数のダイオードが同一又は類似のサイズを有する場合に適切である。これにより、一般に、画素又はインプラントの構造パラメータのより良好な特性づけを可能にすることができる。幾つかの実施形態においては、画素は、1超のダイオードを含み、したがって、画素の個々のダイオードは、サイズが等しい又は少なくとも類似することができる。しかしながら、画素の個々のダイオードのサイズが異なる、又は少なくとも1つのダイオードのサイズが残りのダイオードと異なることも可能である。これにより、インプラントの電気的性質のより緻密な調節を可能にすることができ、インプラントのより良好な性能をもたらすことができる。特に、そのような場合、特に直列接続されたダイオードの有効ダイオードサイズの他の定義、例えば、ダイオードのうち最も小さいもののサイズなど、又は、例えば、画素上のダイオードの位置及びダイオードの形状などに関する加重平均なども可能である。

【0026】

ダイオード又は複数のダイオード及び電極の真のジオメトリ、即ち、画素全体としての実際のジオメトリを考慮することによって、より正確な性能予測と、より好適な抵抗体の提供が可能になる。これにより、インプラントの機能性を更に向上させることができる。

【0027】

幾つかの実施形態においては、電極面積は、最大 $100000\mu\text{m}^2$ 又はそれ以上であることができる。幾つかの実施形態においては、電極面積は、 $5\sim 10\mu\text{m}^2$ であることができる。より好ましい実施形態においては、電極面積は、 $20\mu\text{m}^2$ 以上、より好ましくは $50\mu\text{m}^2$ 以上、特に $100\mu\text{m}^2$ 以上である。更により好ましい実施形態においては、電極面積は、 $100\mu\text{m}^2\sim 10000\mu\text{m}^2$ である。最も好ましくは、電極面積は、約 $500\mu\text{m}^2\sim 3300\mu\text{m}^2$ である。より小さい電極サイズにより、組織又は個々の細胞のより小さい領域の接触を可能にすることができる。電極面積を広げることで、製造を容易にすることを可能にする。 $5\mu\text{m}^2$ の面積を有する電極を含む画素は、例えば、約 $20\mu\text{m}^2$ の合計画素面積を有することができる。したがって、画素の絶対的なサイズとは独立して、幾つかの実施形態においては、電極サイズは、画素の $2\sim 50\%$ 、好ましくは $5\sim 20\%$ 、より好ましくは $10\sim 15\%$ であることができる。具体的な実施形態においては、電極サイズは、画素サイズの $12, 5\%$ であることができる。なお、前記上下限値は、また、サイズが電極及び画素それぞれの面積を表す特定の場合にも適用することができる。

【0028】

したがって、ダイオード面積は、最大 $100000\mu\text{m}^2$ であることができる。具体的な実施形態においては、ダイオードは、 $50\mu\text{m}^2\sim 100000\mu\text{m}^2$ の面積を有することができる。幾つかの実施形態においては、ダイオード面積は、 $100\mu\text{m}^2$ 超、好ましくは $200\mu\text{m}^2$ に等しい又はそれより大きい。本発明の好ましい実施形態においては、ダイオード面積は、 $500\mu\text{m}^2\sim 10000\mu\text{m}^2$ である。

【 0 0 2 9 】

ダイオード及び電極のサイズ、即ち面積は、本発明の保護の範囲内で広範囲に変わり得ることに留意すべきである。電極又はダイオードのサイズの上限は、本発明のインプラントが埋め込まれる眼の生理的条件によって設定することができる。同様に、電極又はダイオードのサイズ、即ち面積の下限は、技術的境界によって、即ち、数平方ミクロン以下のオーダの信頼性のある構造体を製造するように設定することができる。

【 0 0 3 0 】

本発明の実施形態においては、抵抗体の抵抗の所定の関係は、次の関係にしたがって、ダイオードサイズの電極サイズに対する関係によって決定される。

【 数 1 】

$$R \sim D^m \cdot E \quad (\text{式 1})$$

式中、Rは、シャント抵抗体の抵抗 [kOhm] であり、Dは、ダイオードサイズ [μm]、Eは、電極サイズ [μm]、mは、指数である。

【 0 0 3 1 】

本発明の好ましい実施形態においては、式(1)に係る前記関係は、式(2)に係る関係によって、より詳細に表されることができる。

【 数 2 】

$$R = a \cdot D_{area}^n \cdot E_{area} \quad (\text{式 2})$$

$$[kOhm] = [kOhm \cdot \mu m^{-2(n+1)}] \cdot [(\mu m^2)^n] \cdot [\mu m^2] \quad (\text{式 2 a})$$

式中、Rは、シャント抵抗体の抵抗 [kOhm] であり、E_{area}は、電極の有効電極面積 [μm²] であり、D_{area}は、ダイオードの有効ダイオード面積 [μm²] であり、前記式(1)のmと同様に、nは指数であり、aは定数である。

【 0 0 3 2 】

パラメータa及びnは、前記式(2a)によって示されるように、各画素、画素アレイ、及びインプラントの物理的パラメータの次元に対応する次元を有することに留意すべきである。式(2)の場合、指数nは、無次元である。しかしながら、このアプローチは、画素又はその性質の数学的記述ではないことが理解される。むしろ、前記式(1)及び(2)は、前記パラメータで最もよく反映することができる特定の技術的性質を有する画素又は画素アレイを有するインプラントを定義することができる。これは、指数nの大きさに依存する定数aが非整数の次元を有することがある場合を含む。これまで、本発明者らは、この現象の満足のゆく物理的説明を着想できなかった。しかしながら、これは、本発明、即ち、インプラント、特に、少なくとも1つの画素又は全画素アレイの技術的性質を定義するパラメータの適性に影響しない。

【 0 0 3 3 】

指数nと定数aは、通常、ダイオードサイズ、電極、及び抵抗の間の相互関係を決定する。それぞれが画素サイズ、ダイオード、及び抵抗体の抵抗のパラメータセットを決定する、これらのパラメータにしたがって設計されるデバイスが、大多数の可能な他の任意のパラメータセットよりも有利であるというのが本発明の発明者の知見である。したがって、本発明に係る関係を有する画素を実現するインプラントを、特定用途に対してより良好に適したものとし、且つ、それに指向させることができる。これにより、各インプラントの性能を向上させることができる。特に、本発明にしたがって定義されるパラメータに係る技術的特徴を有する画素及び画素アレイは、特にインプラント、好ましくは網膜インプラントにおける用途によく適したものとして、生体細胞又は組織を刺激することができる。

【 0 0 3 4 】

この特定された関係は、最適なシャント抵抗体を予測する、即ち、インプラントの製造

10

20

30

40

50

を容易にする方法も提供する。

【0035】

本発明の幾つかの実施形態においては、電極サイズは、所定の全感光性ダイオード面積について、全感光性ダイオード面積と電極面積との比が、 $0.1 \sim 10$ 、好ましくは $1 \sim 9$ 、最も好ましくは $3 \sim 6$ であるように選択することができる。

【0036】

本発明に係るインプラントのそのような画素構造は、特に有利である。これは、それらが、電荷バランスの観点で電極の性能を低下させずに、最大限の電荷密度を提供することができるからである。

【0037】

本発明の幾つかの実施形態においては、所定の感光性ダイオード面積について、感光性ダイオード面積と電極面積との間の関係において、定数 a が、区間 $[3 \cdot 10^5 ; 2 \cdot 10^6]$ から選択されるように選択される。好ましくは、定数 a は、区間 $[7 \cdot 10^5 ; 1,5 \cdot 10^6]$ から選択される。最も好ましくは、定数 a は、 $a = 10^6$ を満たす。

【0038】

幾つかの実施形態においては、所定の感光性ダイオード面積について、感光性ダイオード面積と電極面積との間の関係において、指数 n が、区間 $[-1, 5 ; -2]$ から選択されるように選択される。より好ましくは、指数 n は、区間 $[-1, 75 ; -1, 85]$ から選択される。最も好ましくは、 n は、 $n = -1, 81$ を満たす。

【0039】

本発明の特定の実施形態においては、指数 n が、 $n = -1, 81$ を満たし、定数 a が、区間 $[3 \cdot 10^5 ; 2 \cdot 10^6]$ 、好ましくは区間 $[7 \cdot 10^5 ; 1,5 \cdot 10^6]$ から選択される。

【0040】

本発明の更に特定の実施形態においては、定数 a が、 $a = 10^6$ を満たし、指数 n が、区間 $[-1, 5 ; -2]$ 、好ましくは区間 $[-1, 75 ; -1, 85]$ から選択される。

【0041】

パラメータのそのような選択により、各種用途のための簡易な製造プロセスを可能とすることができる。

【0042】

定数 a 及び / 又は指数 n のそのような値によって特徴付けられる抵抗体を有するインプラントは、電荷注入及び電荷バランスなどのインプラントの複数の要件を充足するのに有利である。これまでの試みは、せいぜい、これらのパラメータの1つだけについてインプラントの特性を向上させることに向けられていた。これまでは、複数パラメータの評価を可能にする簡便な手法がなかった。したがって、本発明は、生体組織に接続されたときに向上した機能性を有するインプラントであるデバイスを提供することを可能とすることができる。

【0043】

当業者に知られているように、サイズと抵抗の正確な値は、依然として公差を含む。これは、本発明の範囲に有効でない更なるパラメータは、インプラントの最終構造に関して更なる妥協を必要とする場合があるという事実のためである。したがって、本発明の前述した有利な態様は、本発明の問題を解決するために、許容可能な抵抗のための値の範囲を提供する。これは、任意の組のパラメータ、即ち、ダイオードサイズ及び電極サイズについて、抵抗体のための許容可能な抵抗値の範囲が、本発明の範囲内で許容可能であることを意味する。

【0044】

本発明の更なる態様によれば、対向電極は、刺激電極の周りに配置される。これに加えて又はこれに代えて、対向電極は、少なくとも1つのダイオードの周りに配置されることができる。本発明の文脈における「周りに配置される」という用語は、対向電極が横方向の寸法を有し、この横方向の寸法において、刺激電極又は少なくとも1つのダイオードに

10

20

30

40

50

よって画定される領域を囲む、好ましくは完全に囲むと理解されるものとする。複数のダイオードが設けられる場合、対向電極は、1つ又は全てのダイオードの周りに配置されることができる。この配置によって、改善した光検出及び刺激プロセスが、刺激電極によって形成された電場の均一な場分布で達成されることができる。また、対向電極は、刺激電極の感光性領域又は画素の周りに部分的にのみ配置されることができる。

【0045】

本発明の実施形態に係るインプラントは、複数の画素を含むことができる。複数の画素は、画素アレイ状に配置することができ、特に、インプラントの基板上的利用可能なスペースが最適に用いられるように配置することができる。これは、通常、個々の画素を、1つの画素が6個の周囲の別の画素に隣接するように、六角形状に設けることにより達成される。このようにして、インプラントの解像度を上げることができる。

10

【0046】

各画素の周囲が環状六角形状格子の場合、対向電極の幅は、例えば、画素サイズの1%~30%の範囲であることができ、好ましくは5 μ m~25 μ mの範囲である。

【0047】

なお、本発明に係る実施形態においては、フォトダイオードを活性電極と対向電極に、アノード又はカソードのいずれかの極性で接続することができる。

【0048】

好ましい実施形態においては、感光性インプラントは、網膜下インプラントである。これにより、損傷した網膜組織をバイパスするために、患者の眼の中、即ち、網膜下にインプラントを埋め込むことができる。その結果、網膜において依然として機能する感受性神経細胞の近傍で電気インパルスを発生させることができる。或いは、インプラントは、網膜上インプラントであることができる。

20

【0049】

本発明の更なる態様は、そのような感光性インプラントを製造するための方法に関する。この方法は、基板を提供する工程と、基板の上に、画素構造体を設ける工程を含む。この画素構造体は、少なくとも、電極と、ダイオードと、抵抗体とを含む。抵抗体の抵抗は、抵抗、刺激電極のサイズ、及びダイオードのサイズの所定の関係にしたがって選択される。網膜又は別の組織の中又はその上に埋め込むためのインプラントを提供するために、例えば、基板上的複数の画素からなる画素アレイを設けることができる。製造は、半導体の製造で利用できる技術と同様に行うことができる。

30

【0050】

方法は、画素上及び/又は画素アレイ上に少なくとも1つ以上の溝を設けることを更に含むことができる。溝は、画素及び/又は画素アレイの特定の領域を互いに電氣的に絶縁するために設けることができる。例えば、1つの画素上に設けられた異なるダイオード間に溝を設けることができる。更に、刺激電極又は1つ以上のダイオードを画素の周りの対向電極から電氣的に絶縁するために溝を設けることができる。また、画素アレイの1つ以上の領域を、画素アレイの他の領域又は中心に設けられた対向電極から電氣的に絶縁するために溝を設けることもできる。

【0051】

インプラントの製造におけるパラメータ及びパラメータセットの選択は、上で示した検討にしたがうことができる。

40

【0052】

上で概要を述べたように、刺激電極のサイズとダイオードのサイズは、それぞれ刺激電極の面積とダイオードの面積で表わされる。これは、シャント抵抗体の抵抗が、刺激電極の面積とダイオードの面積の両方に依存する、特に、刺激電極の面積とダイオードの面積の関係に依存することを意味する。これにより、電極及びダイオードに通常用いられる実際の寸法及びジオメトリにとって、より良好な寸法を可能にすることができる。なお、ダイオードの面積は、好ましくは、ダイオード領域の感光性部分、即ち、活性なダイオード領域を意味する。同様に、電極の面積は、好ましくは、活性な電極領域を意味する。した

50

がって、1つ以上のダイオード、電極及び/又は全画素は、また、本発明にしたがって非対称又は任意の形状で適用することができる。

【0053】

電極サイズ及び抵抗体の抵抗に関連して言及されるダイオードサイズは、有利には、有効ダイオードサイズである。この有効ダイオードサイズは、好ましくは、画素におけるダイオードの数で除される全ダイオードサイズの比として定義することができる。したがって、有効ダイオードサイズは、画素内の平均ダイオードサイズの寸法である。この定義は、特に、画素上の複数のダイオードが同一又は類似のサイズを有する場合に適切である。

【0054】

本発明方法の実施形態においては、抵抗体の抵抗の所定の関係は、次の関係にしたがって、ダイオードサイズの電極サイズに対する関係によって決定される。

【数3】

$$R \sim D^m \cdot E \quad (\text{式1})$$

式中、Rは、シャント抵抗体の抵抗 [kOhm] であり、Dは、ダイオードサイズ [μm]、Eは、電極サイズ [μm]、mは、指数である。

【0055】

好ましくは、式(1)に係る前記関係は、式(2)に係る関係によって、より詳細に表されることができる。

【数4】

$$R = a \cdot D_{area}^n \cdot E_{area} \quad (\text{式2})$$

$$[\text{kOhm}] = [\text{kOhm} \cdot \mu\text{m}^{-2(n+1)}] \cdot [(\mu\text{m}^2)^n] \cdot [\mu\text{m}^2] \quad (\text{式2a})$$

式中、Rは、シャント抵抗体の抵抗 [kOhm] であり、 E_{area} は、電極の有効電極面積 [μm^2] であり、 D_{area} は、ダイオードの有効ダイオード面積 [μm^2] であり、前記式(1)のmと同様に、nは指数であり、aは定数である。

【0056】

本発明方法の幾つかの実施形態においては、所定の感光性ダイオード面積について、感光性ダイオード面積と電極面積との間の関係において、定数aが、区間 [$3 \cdot 10^5$; $2 \cdot 10^6$] から選択されるように選択される。好ましくは、定数aは、区間 [$7 \cdot 10^5$; $1, 5 \cdot 10^6$] から選択される。最も好ましくは、定数aは、 $a = 10^6$ を満たす。

【0057】

本発明方法の幾つかの実施形態においては、所定の感光性ダイオード面積について、感光性ダイオード面積と電極面積との間の関係において、指数nが、区間 [-1, 5; -2] から選択されるように選択される。より好ましくは、指数nは、区間 [-1, 75; -1, 85] から選択される。最も好ましくは、nは、 $n = -1, 81$ を満たす。

【0058】

本発明方法の特定の実施形態においては、指数nが、 $n = -1, 81$ を満たし、定数aが、区間 [$3 \cdot 10^5$; $2 \cdot 10^6$]、好ましくは区間 [$7 \cdot 10^5$; $1, 5 \cdot 10^6$] から選択される。

【0059】

本発明方法の更に特定の実施形態においては、定数aが、 $a = 10^6$ を満たし、指数nが、区間 [-1, 5; -2]、好ましくは区間 [-1, 75; -1, 85] から選択される。

【0060】

本発明方法の幾つかの実施形態においては、電極面積は、最大 $100000 \mu\text{m}^2$ 又はそれ以上であることができる。幾つかの実施形態においては、電極面積は、 $5 \sim 10 \mu\text{m}^2$ であることができる。より好ましい実施形態においては、電極面積は、 $20 \mu\text{m}^2$ 以上

10

20

30

40

50

、より好ましくは $50\ \mu\text{m}^2$ 以上、特に $100\ \mu\text{m}^2$ 以上である。更により好ましい実施形態においては、電極面積は、 $100\ \mu\text{m}^2 \sim 10000\ \mu\text{m}^2$ である。最も好ましくは、電極面積は、約 $500\ \mu\text{m}^2 \sim 3300\ \mu\text{m}^2$ である。より小さい電極サイズにより、組織又は個々の細胞のより小さい領域の接触を可能にすることができる。

【0061】

したがって、ダイオード面積は、最大 $100000\ \mu\text{m}^2$ であることができる。具体的な実施形態においては、ダイオードは、 $50\ \mu\text{m}^2 \sim 100000\ \mu\text{m}^2$ の面積を有することができる。幾つかの実施形態においては、ダイオード面積は、 $100\ \mu\text{m}^2$ 超、好ましくは $200\ \mu\text{m}^2$ に等しい又はそれより大きい。本発明の好ましい実施形態においては、ダイオード面積は、 $500\ \mu\text{m}^2 \sim 100000\ \mu\text{m}^2$ である。

10

【0062】

本発明の更なる詳細、好ましい実施形態、及び利点は、図面を参照しつつ以下に記載する。

【図面の簡単な説明】

【0063】

【図1】図1は、本発明の一実施形態に係る、電極を有する感光性画素の例を示す。

【図2】図2は、本発明の実施形態に係る、2つの隣接する画素を有する半導体構造体の模式的横断面図を示す。

【図3】図3は、本発明の実施形態に係る電極アレイを示す。

【図4】図4は、配線回路の模式図と共に、図1の感光性画素の斜視図を示す。

20

【図5】図5は、刺激パルスを表す図を示す。

【図6】図6は、本発明の実施形態に係る、各種制約パラメータ a と n の図を示す。

【図7】図7は、本発明の実施形態に係る、各種制約パラメータ a と n の図を示す。

【図8】図8は、本発明の実施形態に係る、各種制約パラメータ a と n の図を示す。

【図9】図9は、本発明の実施形態に係る、各種制約パラメータ a と n の図を示す。

【図10】図10は、本発明の実施形態に係る、各種制約パラメータ a と n の図を示す。

【0064】

図1は、本発明の実施形態に係る感光性画素10を示す。感光性画素10（以下、画素と称する）は、感光性ダイオード12、中心電極14、及び抵抗体16を含む。画素の外周には、リターン電極ともしばしば称する対向電極18が設けられている。対向電極18は、各画素上、例えば、図1に示されるように、各画素の周囲に載置することができる。これは、リターン電極がローカルであり、画素アレイの異なる中心電極の間にあることを意味する。これは、通常、「バイポーラ」構成とも称される。

30

【0065】

そのようなバイポーラ配置の場合、2つの構成が可能である。リターン電極は、相互の接続を断つことができる。これは、この場合の画素は、互いから完全に独立していることを意味する。或いは、一種のグリッド様構造体を効果的に形成するために、個々の画素のリターン電極全てを互いに接続することができる。そのような構造体は、例えば、全画素アレイ上に延在することができる六角形状パターンを有することができる。

【0066】

40

更なる代替として、中心リターン電極を、中心電極の配置とは別に載置することができる。そのような中心リターン電極は、特に、インプラントの遠く離れた場所に設けることができる。そのような構成は、また、モノポーラ構成とも称することもある。リターン電極は、必ずしもインプラントの幾何学的中心にある必要はない。更に、複数のそのような中心電極は、インプラント又は画素アレイ上に分布させることが可能である。

【0067】

図1に示される実施形態における画素10は、略対称的な六角形状を有する。六角形の各辺に隣接して、更なる画素を設けることができる。画素のアレイ（本発明の文脈において、電極アレイとも称する）の一実施形態の例を図3に示す。他の実施形態においては、また、個々の画素の形状は、異なっていることができる。例えば、画素は、八角形状又は

50

矩形状を有することができる。画素は、また、本発明の保護の範囲から逸脱することなく、円形状又はダイヤモンド状又は他の形状、更に任意の形状を有することもできる。

【0068】

個々の画素は、溝20によって互いに分離されている。溝20は、電氣的絶縁材料を含む。個々の画素1は、互いに電氣的に絶縁されていることが好ましい。対向電極18は、図1に係る実施形態における画素1の周囲を囲む溝20の上に配置されている。

【0069】

図1に示される実施形態においては、画素10は、2つのダイオード12、12'を更に含む。ダイオード12、12'は、六角形状画素の領域内に彫られて配置されている。好ましくは、ダイオード12、12'は、対称的に配置される。ダイオード12と12'との間に、絶縁溝20'が設けられる。ダイオード12と12'との間の絶縁溝20'は、通常、絶縁溝20と同じ性質を有する。そのため、ダイオード12、12'は、互いに電氣的に絶縁される。画素内(即ち、感光性素子の基板)に配置された溝にかかわらず、溝20、20'によって分離絶縁された物体間の電氣的コンタクトは、依然として、電氣的コンタクトによって達成することができることが理解されるべきである。図1に係る実施形態においては、例えば、ダイオードは、電氣的コンタクト22によって接続される。図4に関連して更に詳述するが、このように、ダイオードは、図1に係る実施形態においては、互いに直列に接続されている。

【0070】

図1に係る実施形態の投影図において、ダイオード12、12'は、画素の感光性領域を表す。この実施形態においては、ダイオード12、12'の表面領域、即ち、感光性領域は、画素10の対称軸(図示せず)の周りに本質的に対称である。他の実施形態においては、ダイオードの数が異なることができる。特に、ダイオードを1つだけ設けることができる。これにより、画素10内の個々のダイオードを分離するために溝20'を設ける必要がないので、画素の感光性領域を広げることが可能になる。更なる実施形態においては、3つのダイオード又は3超のダイオードを、1つの画素に設けることができる。2超のダイオードを画素10に設ける場合、前記2ダイオード画素について既に述べたように、個々のダイオードを互いに直列に接続することもできる。

【0071】

受領した信号に対する応答として電圧を上げる必要がある場合、1つの画素について、複数のダイオード、例えば、2つ又は3つのダイオードを設けることができる。したがって、ダイオードは、直列に接続することができ、ここで、N個のダイオードの電圧は、1つのみのダイオードで生じる電圧よりもN倍高い。他方、ダイオードの個数を増やすことは、一画素当たり、各ダイオードが集める光がより少なくなることを意味する。直列接続されたダイオードのそれぞれによって生成される電流は、1つだけ又は数個のダイオードを有する場合に比べて、複数のダイオードを有する場合、著しく低下することがある。通常、N個のダイオードを有する回路の電流は、1つのダイオードの電流よりもN倍小さい。したがって、これは選択の問題であり、どのパラメータ(即ち、電流又は電圧)が、個々の用途にとってより望ましいかという問題である。神経刺激の具体的な場合においては、必要な刺激パラメータは、励起すべき組織及び個々の神経細胞、インプラントの位置、患者個々の具体的情報、年齢、疾患の状態、及び一般的な生理的状态に依存する場合がある。

【0072】

画素10の中心に、電極14が設けられる。その中心位置によって、電極14は、中心電極とも称する。更に、通常、この電極は刺激に用いられるので、この電極は、刺激電極とも称する。図示される実施形態においては、円形状を有する刺激電極14が設けられる。電極は、種々の形状、例えば、画素10の外形を反映するリターン電極18又は溝20の形状に類似した形状などを有することもできる。ここで図示された実施形態の円形状は、刺激電極14からの電場が均一になることができるように選択した。意図される用途によって、形状は、より均一ではない、局所的に上昇した場分布を可能とする形状も含むこ

10

20

30

40

50

とができる。

【0073】

本発明の幾つかの実施形態によれば、画素10の電極14は、周辺組織、好ましくは神経組織、特に *in vivo* における網膜の神経組織の刺激に適合されるものとする。通常、電極は、白金、酸化イリジウム及び/又は窒化チタンを含む。或いは、イリジウム、白金イリジウム、ドーパされたダイヤモンド、ダイヤモンドライクカーボン、PEDOT: PSS、他の知られた材料を、電極材料として用いることができる。電極材料の好ましい構造は、特に、高度な多孔質構造であることができ、例えば、多孔質又はフラクタルTiN又は白金構造がある。そのような構造は、例えば、「ブラックプラチナム」又は「多孔質白金」であると記述されていることが知られている。電極の厚みは、約100nm~3μmまで様々な厚みであることができる。しかしながら、電極厚みを10μmの範囲又は100nm未満にすることも可能である。

10

【0074】

図1に示される実施形態において、リターン電極18が、画素を囲み、画素周囲の外形に沿う細長い電極として設けられる。代替の実施形態においては、リターン電極は、複数の電極を含むこともでき、これらは、画素10の周り及び刺激電極14の周りに、規則的に又は任意の分布で分布される。これは、特に、電極アレイ1の周辺部で行うことができる。

【0075】

更に、刺激電極14と対向電極18との間に、抗体16が配置される。シャント抗体とも称する抗体16は、図2により詳細に示されるように、特に、画素10の2つのダイオード12、12'間の溝に設けることができる。

20

【0076】

図2は、電極アレイ1の一部の断面側面図であり、2つの隣接する画素10、10'を示す。画素10、10'は、図1に示される実施形態に係る画素に対応し、2つのダイオード12、12'を有する。2ダイオード画素のための図1に示されるのと同じ層構造を、本質的に、1ダイオード又は3ダイオード画素にも同様に設けることができる。ここで抗体16は、画素の表面に設けられる。本発明の実施形態によれば、抗体16は、画素10の表面上の導体である。幾つかの実施形態においては、この導体は、シリコンからなる又はシリコンを含むことができ、シリコンは、ドーパされたシリコン、特に、少量ドーピングされたシリコンである。画素アレイ1は基板2に設けられ、これは、図3に見ることができる。

30

【0077】

図3は、画素のアレイ(即ち、電極アレイ1)を示す。電極アレイ1は、複数の画素10を含む。電極アレイ1における画素のサイズは、異なることができ、したがって、各種用途に合わせて調整することができる。

【0078】

図4は、本発明の実施形態に係る画素10の模式的斜視図を示す。図示の画素10は、リターン電極20を六角形細長電極として示す。刺激電極14は、円形電極である。電圧が印加されると、即ち、刺激電極が電気パルスを生成すると、図4において電場線15で表される電場が生成する。最終的に、刺激パルスの具体的性質(例えば、強度、期間、極性など)に応じて、この場の近傍の細胞を刺激することができる。電極を、組織(即ち、組織内の細胞)が、直接、電極に接触できるように、組織に載置することができる。

40

【0079】

図4の画素10には、また、直列に接続される2つのダイオード12、12'が設けられている。抗体16(即ち、シャント抗体)は、ダイオード12、12'に並列に接続されている。このように、信頼性のある電荷バランスと刺激パラメータとを有する電気回路を達成することができる。

【0080】

図5は、画素上の光パルス100と、それに由来する刺激パルス110の例を示す。通

50

常、画素上の光パルスは、赤外光パルスである。赤外光の波長は、750 nm ~ 3000 nm、好ましくは800 nm ~ 1000 nm、最も好ましくは830 nm ~ 915 nmであることができる。光パルスは、通常、スクエアパルスである。別の光パルス形状であることもでき、例えば、鋸歯プロファイル又は光強度の非線形増加及び/又は減少などがある。感光性ダイオードの1つ以上によって光が検出されると、電流120が発生する。光パルスの印加時間が長いほど、刺激電極14の電圧110は高くなる。活性電極110の電圧が、正又は負領域で上昇するにつれて、対向電極130の電圧は、反対に、それぞれアノード又はカソード極性のために負又は正領域で上昇する。

【0081】

光刺激の終了後、電流120が低下し、刺激電極とリターン電極の電圧が低下する。しかしながら、主にシャント抵抗体16の抵抗に依存して、電圧は、等しくなるのに時間を要する。図5に係る例においては、光パルス終了後、電圧は、僅か約26ms後にゼロまで低下している。その後にはじめて、十分なキャパシタンスを有する次の刺激パルスが、各画素によって印加されることができる。

【0082】

抵抗体16の抵抗は、画素の機能及び性能に著しい影響を与える。ダイオードの1つによって、即ち、感光性領域上で光パルスが受け取られると、光パルスは、電気パルスに変換される。電気信号は、刺激電極14に送られる。刺激効率を上げるためには、光パルスの位相ごとに送られる電荷は、理想的には、最大とされるべきである。一方、組織損傷を防ぐためには、電荷密度は、あまり高くし過ぎることはできない。したがって、一般に、0.35 mC/cm² ~ 1.5 mC/cm²、典型的には1 mC/cm²の電荷密度が選択される。更に、電荷は、後続のパルスに先行して、印加電圧が理想的にはゼロに戻り、電荷の平衡を保つことができるように十分に早く放電する必要がある。これは、低値抵抗体を必要とする。他方、低値抵抗体は、最終的に電気信号の発生に使用することができる、光によって発生した電荷を減少させる。

【0083】

本発明者らは、シャント抵抗体の理想値が、刺激領域と感光性領域の面積に対応することを示すことができた。本発明を定義するために、保護を求める本発明の実施形態は、次式(1)を満たすようにすることができる。

【数5】

$$R \sim D^m \cdot E \quad (\text{式1})$$

式中、Rは、シャント抵抗体16の抵抗であり、Dは、ダイオードサイズ、Eは、電極サイズ、mは、指数である。

【0084】

【数6】

$$R = a \cdot D_{\text{area}}^n \cdot E_{\text{area}} \quad (\text{式2})$$

式中、Rは、シャント抵抗体16の抵抗(単位:kOhm)であり、E_{area}は、電極14の有効電極面積(単位:μm²)であり、D_{area}は、ダイオード12の有効ダイオード面積(単位:μm²)であり、nは指数であり、aは定数である。これは、抵抗体16の抵抗は、電極サイズとダイオードサイズから導出されることを意味する。特に、これらの実施形態によれば、抵抗体16の抵抗は、電極面積とダイオード面積、好ましくは有効ダイオード面積から導出される。本発明にしたがって定義される有効ダイオード面積は、類似したサイズのものである場合、ダイオード12、12'の1つの光感受性領域である。また、画素10におけるダイオード12、12'の光感受性領域の最小値であることもできる。

【0085】

以下、上の定義にしたがう本発明の最も好ましい実施形態の概要を述べる。シャント抵

10

20

30

40

50

抗体の抵抗、電極サイズ、ダイオードサイズ、及びダイオード数を含むパラメータの各種セットが、本発明に関連して示される要件を満たすことができることが当業者に明らかであろう。

【0086】

当業者は、更に、パラメータの絶対的又は相対的關係に関して又はパラメータそのものの値に関して本明細書に与えられる値はいずれも、統計的誤差及び/又は設計上の制約及びバリエーションの影響を受けることに気付くであろう。したがって、与えられた値は、与えられた値の周りの少なくとも+/-25%の範囲、又はサイズについて言及される場合には、少なくとも+/-10 μm の範囲の値を表すと考えるべきである。例えば、100 μm のサイズを有する3ダイオード画素は、約15 μm ~30 μm の範囲の電極サイズの最適値を許容する。

10

【0087】

シャント抵抗値に関して、値は、より著しく変化し得る。例えば、表示値の10%から最適値の最大10倍まで、好ましくは値の50%から表示値の最大5倍まで変化し得る。所定のパラメータ設定は、本発明にしたがって画素又は画素アレイを定義する、値、即ち、ダイオードのサイズ及び数、電極サイズ、及び抵抗の組合せであることが当業者に明らかであろう。

【0088】

各種パラメータセットの例によって示されるように、本発明の知見は、 $-1.5 < n < -2$ の係数にしたがう指数 n によって最もよく記述することができる。本発明のより好ましい実施形態においては、指数は、 $-1, 65 < n < -1, 95$ の間、より具体的には $-1, 75 < n < -1, 85$ の間で選択される。特に、指数 n は、 $n = -1, 81$ であることができる。

20

【0089】

表1及び表2は、電極及びダイオードの各面積(単位： μm^2)について、本発明にしたがう好ましいパラメータセットの概要を示す。各面積を考慮するアプローチにより、画素、ダイオード、及び電極のほぼ任意の形状を考慮することができる。

【0090】

表1及び表2に示されるパラメータについて、 $n = -1, 81$ の好ましい指数 n の場合、定数 a は、 $3 \cdot 10^5 < a < 2 \cdot 10^6$ の間にあることが好ましいことが分かった。より好ましくは、定数 a は、 $7 \cdot 10^5 < a < 1, 5 \cdot 10^6$ の間にある。更により好ましい実施形態においては、定数 a は、 $7, 5 \cdot 10^5 < a < 1, 25 \cdot 10^6$ の間にある。定数 a は、例えば、 $a = 10^6 \pm 20\%$ であることができる。より好ましくは、定数 a は、そのような設定において、 $a = 10^6 \pm 10\%$ である。なお、画素サイズ([μm])は、画素を特性付けるために一般に用いられる寸法である。画素サイズそのものは、電極サイズ(面積)、ダイオードサイズ(面積)、及び抵抗体の抵抗の観点で画素の各特性を定義するためには考慮されない。更に、与えられた例は、抵抗体16の抵抗、電極14のサイズ、及び1つ以上のダイオード12、12'によって画素又は画素アレイを定義する本発明思想を例示するに過ぎないことが理解されるべきである。具体例は、請求項に示される主題を限定するものではない。

30

40

【0091】

表1に示されるパラメータセットにしたがう画素構造を有する電極アレイは、約5mW/ mm^2 の出力と、約4msの光パルス時間で与えられる光について最適化した。

表1：5mW/ mm^2 の出力と4msの光パルスについて最適化されるシャント抵抗体の抵抗

【表 1】

ダイオード の#	画素サイズ [μm]	電極面積 [μm^2]	抵抗 [k Ω]
1	75	1650,8	520,6
2	75	554,8	1756,7
3	75	255,0	1543,0
1	100	3408,8	283,4
2	100	766,7	520,6
3	100	554,8	1296,2
1	140	7287,0	154,3
2	140	1650,8	384,1
3	140	1314,7	520,6
1	280	24911,0	45,7
2	280	7287,0	84,0
3	280	4536,0	113,8

10

20

【0092】

表 2 にしたがう画素構造を有する電極アレイは、約 $3 \text{ mW} / \text{mm}^2$ の出力と、約 4 ms の光パルス時間で与えられる光について最適化した。

表 2 : $3 \text{ mW} / \text{mm}^2$ の出力と 4 ms の光パルスについて最適化されるシャント抵抗体の抵抗

【表 2】

ダイオード の#	画素サイズ [μm]	電極サイズ [μm^2]	抵抗 [k Ω]
2	75	384,2	1815,4
3	75	255,0	3154,8
1	100	2907,2	345,9
2	100	766,7	1044,7
3	100	384,2	1377,1
1	140	5828,8	209,1
2	140	1650,8	520,6
3	140	1020,0	705,6

30

40

【0093】

表 3 は、多数の可能な構成のうちで特に有利な選択であると分かった、画素のためのパラメータセットを示す。表 3 に示されるパラメータは、約 $5 \text{ mW} / \text{mm}^2$ の出力と、約 4 ms の光パルス時間で与えられる光について最適化した。

表 3 : $5 \text{ mW} / \text{mm}^2$ の出力と 4 ms の光パルスについて最適化されるシャント抵抗体の好ましい抵抗

【表 3】

ダイオード の#	画素サイズ [μm]	電極面積 [μm ²]	抵抗 [kOhm]
2	75	384,2	1800
1	100	1650,8	250
2	100	766,7	900
3	100	384,2	1200
1	140	5828,8	130
1	140	2447,0	130
2	140	2907,2	450
2	140	1650,8	400
3	140	1020,0	600

10

【0094】

図6は、両対数プロット上で、「x」で表示される、画素アレイの画素のための、通常、合理的かつ技術的に可能なそのようなパラメータ構成を示す図を示す。図において、X軸は、ダイオードのサイズ（ここでは、面積）、例えば有効ダイオード面積を表す。図のY軸は、上に定義した式(2)から導出される電極面積によって除されるシャント抵抗値の対応する関係を示す。図6中「+」で表示されるこれらのパラメータ座標は、本発明の進歩した検討にしたがって制約されるパラメータセットを表す。

20

【0095】

これらの制約は、例えば、電極が特定の電荷密度で特定の電荷を提供することができることを要求する場合がある。この電荷密度は、特に、約0,35mC/cm²であることができる。電荷密度の上限は、好ましくは1mC/cm²である。電荷密度は、最大1,5mC/cm²であることができる。更に、これらの制約は、刺激インパルスに 응답して電極14と対向電極18との間の最大電圧を超えてはならないことを要求する場合がある。特に、電圧を、水の加水分解電圧未満に維持することが意図される場合がある。図6～図10に係る例示実施形態について検討される1つの例として、最大電圧を約0,8Vに限定することができる。他方、特定のライティングパラメータについてのこれらの実施形態にしたがって電極によって提供される最小電圧は、0,1V未満であると考えた。更に、これらの制約は、幾つかの実施形態においては、抵抗体16の抵抗が、刺激に利用可能な電荷を最大としつつ、十分に早い電荷バランスを可能とする、好ましくは0,1μA未満の残留DC電流に相当する、バランスされていない電荷を経時で反映することを要求する。残留DC電流の低下、即ち、電極の電荷バランスは、組織のより制御された刺激、即ち、画素又は画素アレイの信頼性を高めることを可能にすることができる。

30

【0096】

示されるように、そのようなパラメータセットを示す本発明の実施形態に係る画素及び画素アレイは、前記式(2)によって記述することができる。図6の例示実施形態においては、指数nは、n = -1,81である。図6の点線及び一点鎖線は、式(2)の定数aの上限及び下限を示し、定数aは、それぞれ3・10⁵と2・10⁶である。これらの線は、次式(3)にしたがって書き変えると、式(2)によって定義される直線を表す。

40

【数7】

$$R/E_{\text{area}} = a \cdot D_{\text{area}}^n \quad (\text{式 3})$$

この定義は、以下に述べる図7～図10にも同様に適用される。

【0097】

50

図7は、本発明の更なる好ましい実施形態のパラメータを示す。これらのパラメータセットは、図7における黒円(・)で示されている。比較として、図7は、合理的な理論的構成として一般に利用可能である構成も示す。図7に係る実施形態の上限及び下限は、それぞれ $a = 7 \cdot 10^5$ と $a = 1, 5 \cdot 10^6$ と定義することができる。

【0098】

図8は、図7と同一の図を示すが、可能なパラメータセットの全部は表示しておらず、最も好ましい実施形態のパラメータセットの好ましい中央値を近似する直線が加えられている。この線は、定数 $a = 10^6$ 及び指数 $n = -1, 81$ によって定義される。図6～図10に示される対数プロット上の10～50%オーダの共通する誤差は、本発明の進歩した思想及び範囲から逸脱することなしに、好ましい中央値の派生形として考えることができる。

10

【0099】

図6～図8と同様に、図9は、理論的に検討することができる技術的実現の図を示す。更に、図7及び図8におけるように、図9は、黒円(・)で示される本発明に係る最も好ましい実施形態を示す。しかしながら、図9に示される線は、各種指数 n について、前記式(3)によって定義される線の上限及び下限を示す。図9のパラメータセットの上限及び下限の指数は、それぞれ $n = -1, 5$ と $n = -2$ によって定義される。

【0100】

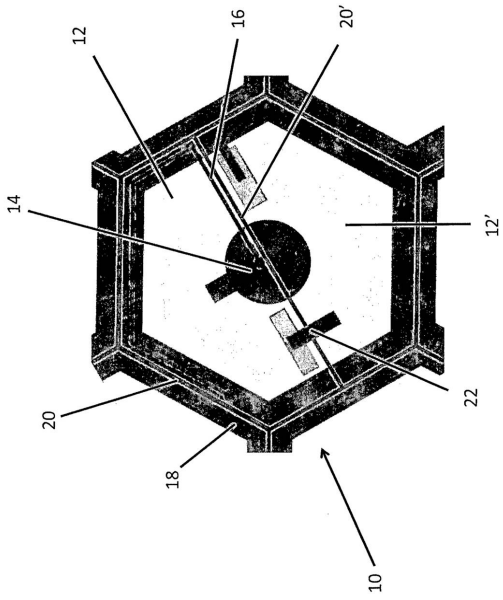
図9の図と同様に、図10は、各種指数 n のときの限界線の図を示す。ここでの上限は、指数 $n = -1, 75$ によって定義され、下限は、指数 $n = -1, 85$ によって定義される。

20

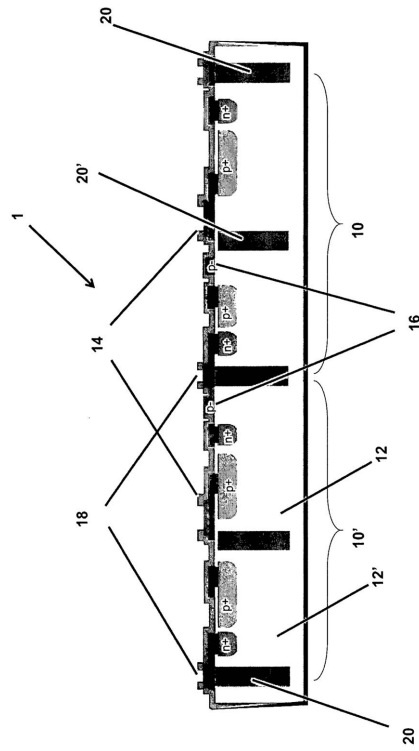
【0101】

前記例にしたがう上限及び下限は、可能なパラメータセットの範囲の境界を示す。即ち、上限及び下限値を表す線によって区切られる領域にある任意のパラメータセットは、性質が向上した画素又は画素アレイを提供する本発明思想の一部であると考えられるものとする。更に、任意のそのようなパラメータの組合せを当業者が考えることは、自明な選択ではない。これは、電極、ダイオードの各サイズ、及び抵抗を関連付けることによって、画素及び画素アレイに多数のパラメータ適合を与えることは、本発明者らが行ったことであるからである。

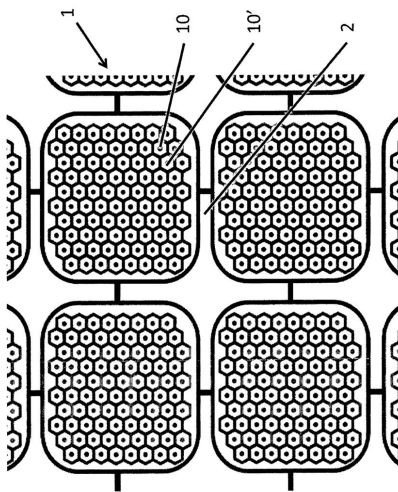
【 図 1 】



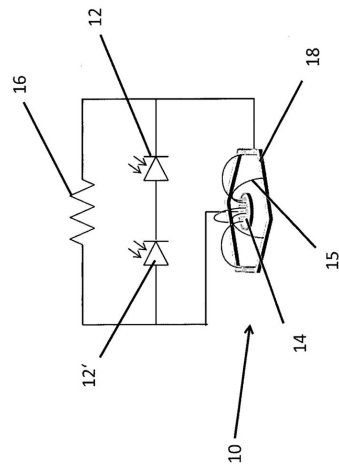
【 図 2 】



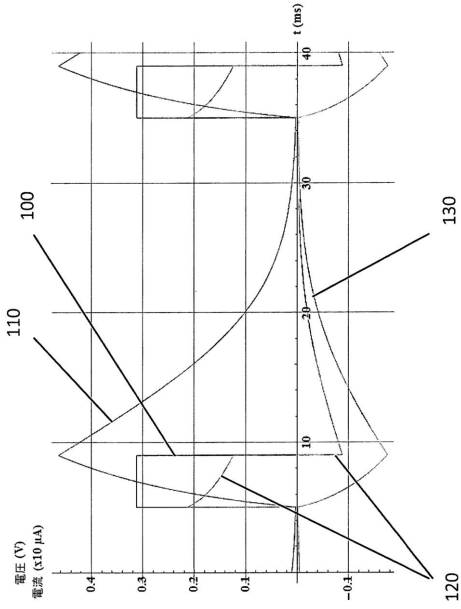
【 図 3 】



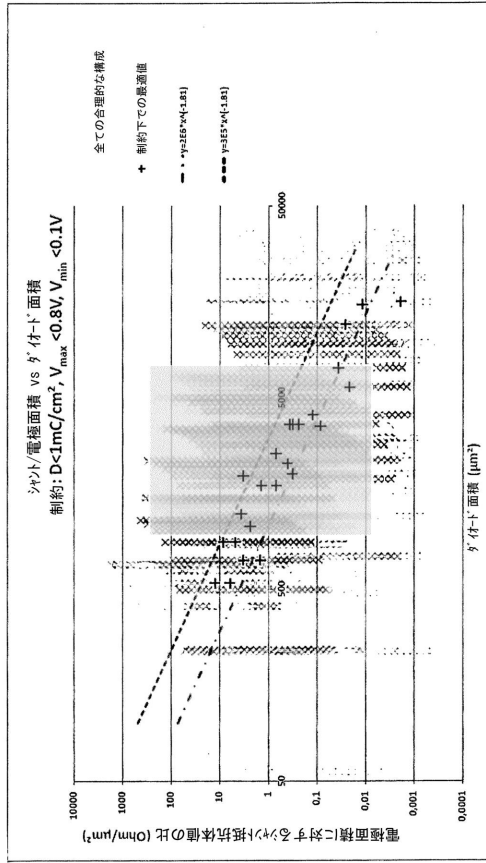
【 図 4 】



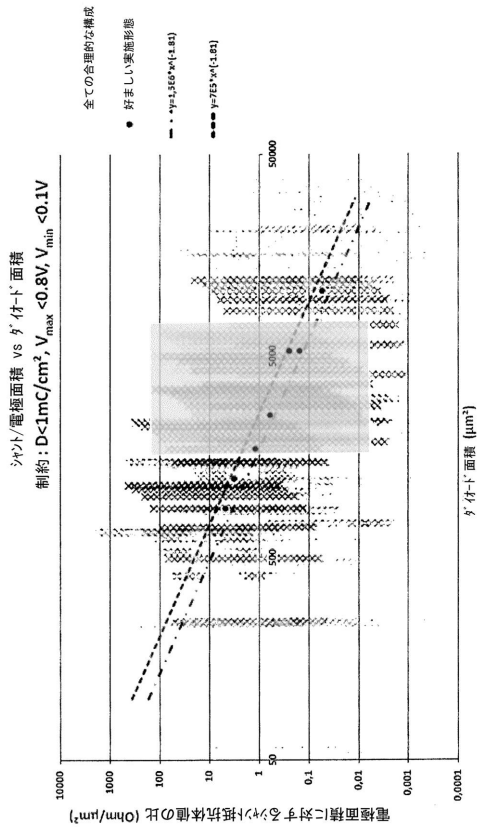
【 図 5 】



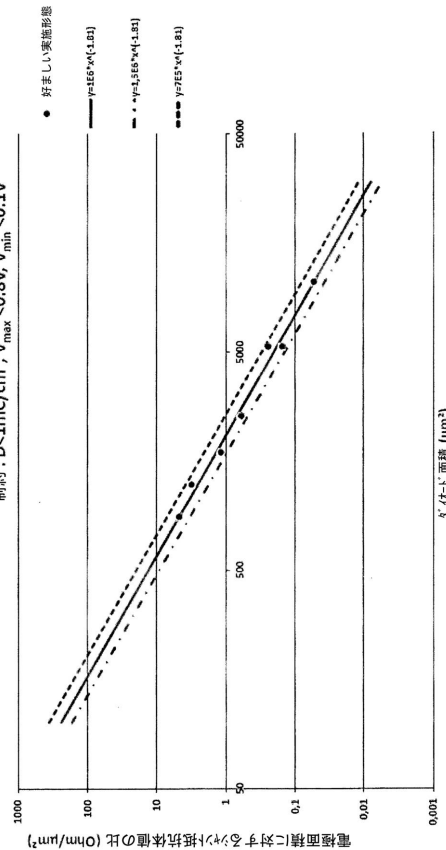
【 図 6 】



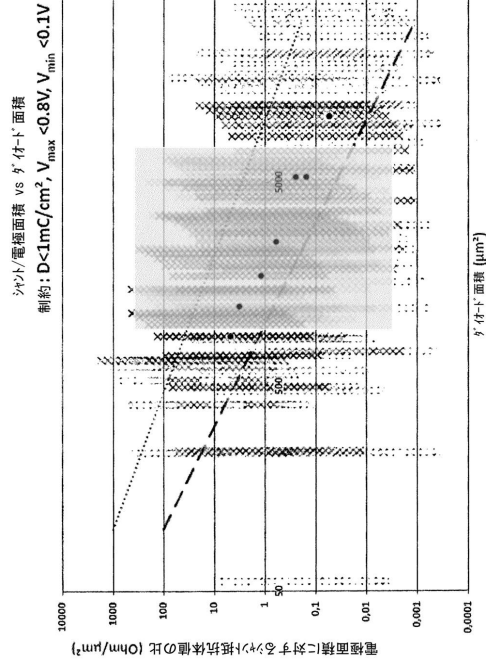
【 図 7 】



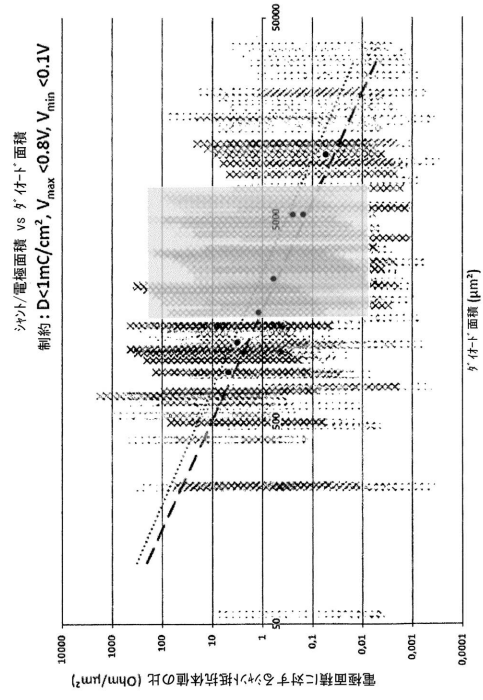
【 図 8 】



【 9 】



【 10 】



フロントページの続き

審査官 和田 将彦

- (56)参考文献 HENRI LORACH , PHOTOVOLTAIC RESTORATION OF SIGHT WITH HIGH VISUAL ACUITY , NATURE MEDICINE , 米国 , 2015年04月27日 , VOL:21 , NR:5 , PAGE(S):476-482 , <http://dx.doi.org/10.1038/nm.3851>
- LELE WANG , PHOTOVOLTAIC RETINAL PROSTHESIS: IMPLANT FABRICATION AND PERFORMANCE , JOURNAL OF NEURAL ENGINEERING , 英国 , 2012年07月12日 , VOL:9 , NR:4 , PAGE(S):46014 , <http://dx.doi.org/10.1088/1741-2560/9/4/046014>

(58)調査した分野(Int.Cl. , D B名)

A 6 1 N	1 / 0 5
A 6 1 N	1 / 3 6
A 6 1 F	9 / 0 0 7