

ITALIAN PATENT OFFICE

Document No.

102010901903806A1

Publication Date

20120630

Applicant

STMICROELECTRONICS S.R.L.

Title

PROTESI RETINICA

DESCRIZIONE

del brevetto per invenzione industriale dal titolo:

“PROTESI RETINICA”

di STMICROELECTRONICS S.R.L.

di nazionalità italiana

con sede: VIA C. OLIVETTI, 2

AGRATE BRIANZA (MB)

Inventore: PAGANI Alberto

* * *

La presente invenzione è relativa ad una protesi retinica.

Come è noto, sono oggi disponibili numerosi protesi retiniche, le quali sono sistemi elettronici aventi finalità mediche, destinati a persone aventi problemi visivi.

In generale, una protesi retinica assolve la funzione di sopperire, almeno in parte, ad una ridotta funzionalità della retina, causata da una patologia della retina stessa, quale ad esempio la retinite pigmentosa.

In maggior dettaglio, le protesi retiniche si dividono in protesi retiniche di tipo epiretinico e protesi retiniche di tipo subretinico. In uso, le protesi di tipo epiretinico sono disposte, almeno in parte, sulla superficie della retina che è esposta alla luce, dunque sulla superficie della retina rivolta verso il cristallino.

Invece, le protesi di tipo subretinico sono disposte, almeno in parte, tra la retina ed il cosiddetto epitelio pigmentato retinico, il quale è lo strato di cellule pigmentate che si trova all'esterno della retina stessa.

Ciò premesso, indipendentemente dal tipo, le protesi retiniche comprendono, ciascuna, una rispettiva unità interna ed una rispettiva unità esterna. In uso, l'unità esterna è disposta esternamente rispetto all'occhio, mentre l'unità interna è disposta all'interno dell'occhio, ed in particolare all'interno del corpo vitreo.

A titolo esemplificativo, la figura 1a mostra una protesi retinica 1, le cui unità esterna ed interna sono indicate, rispettivamente, con 2 e 4.

L'unità esterna 2 comprende un trasmettitore 6 ed una prima antenna 8, la quale è collegata elettricamente al trasmettitore 6 ed è formata, ad esempio, da un avvolgimento ("coil") di materiale conduttore.

L'unità interna 4 comprende una seconda antenna 10, anch'essa formata, ad esempio, da un avvolgimento di materiale conduttore. Inoltre, l'unità interna 4 comprende un dispositivo elettronico integrato 12 ed un cavo elettrico di collegamento 14, il quale collega la seconda antenna 10 ed il dispositivo elettronico integrato 12; ad esempio, il cavo elettrico di collegamento 14 può essere un bus elettrico flessibile.

Il dispositivo elettronico integrato 12 funge da retina artificiale e comprende una pluralità di fotorilevatori 18 (figura 1b), una circuiteria elettronica 19 (figura 2) ed una pluralità di elettrodi 20 (figura 1b).

Come mostrato in maggior dettaglio in figura 1b, il dispositivo elettronico integrato 12 ha sostanzialmente la forma di un parallelepipedo e presenta una superficie inferiore 12a ed una superficie superiore 12b. I fotorilevatori 18 si affacciano alla superficie superiore 12b, in maniera tale da poter essere raggiunti dalla luce proveniente dal mondo esterno, mentre gli elettrodi 20 si estendono al di sotto della superficie inferiore 12a. A sua volta, la superficie inferiore 12a è vincolata, ad esempio mediante un opportuno strato adesivo (non mostrato), al cavo elettrico di collegamento 14, il quale, in pratica, porta il dispositivo elettronico integrato 12.

Come mostrato in maggior dettaglio in figura 2, la circuiteria elettronica 19 è collegata elettricamente ai fotorilevatori 18 ed agli elettrodi 20. Inoltre, il cavo elettrico di collegamento 14 comprende almeno un primo ed un secondo elemento conduttore 14a, 14b, ed una guaina isolante 14c, la quale avvolge il primo ed il secondo elemento conduttore 14a, 14b e porta il dispositivo elettronico integrato 12. Il primo ed il secondo elemento conduttore 14a, 14b sono collegati elettricamente alla

circuiteria elettronica 19, ad esempio mediante (rispettivamente) una prima ed una seconda via 21a, 21b; inoltre, il primo ed il secondo elemento conduttore 14a, 14b sono elettricamente collegati, rispettivamente, ad un primo ed un secondo terminale della seconda antenna 10. In aggiunta, il primo ed il secondo elemento conduttore 14a, 14b, la guaina isolante 14c e gli elettrodi 20 sono tali per cui gli elettrodi 20 stessi attraversano il cavo elettrico di collegamento 14 senza contattare elettricamente il primo ed il secondo elemento conduttore 14a, 14b, bensì contattando la sola guaina isolante 14c. Inoltre, gli elettrodi 20 si estendono attraverso lo strato adesivo interposto tra la superficie inferiore 12a e la guaina isolante 14c, se presente.

Come precedentemente accennato, e come mostrato in figura 1a, in uso l'unità esterna 2 viene disposta in prossimità dell'occhio, al cui interno si trova l'unità interna 4. Ad esempio, l'unità esterna 2 può essere montata su un paio di occhiali, in maniera tale per cui la prima antenna 8 risulta disposta all'interno di una lente del paio di occhiali, ed in particolare risulta disposta lungo il bordo di tale lente, in modo da consentire alla luce di penetrare nell'occhio. Il trasmettitore 6 può essere portato da una stanghetta degli occhiali.

L'unità interna 4 viene disposta all'interno

dell'occhio, in maniera tale per cui la seconda antenna 10 è disposta in prossimità del cristallino, eventualmente circondando parte del cristallino stesso.

Il dispositivo elettronico integrato 12 è disposto in prossimità della retina dell'occhio, ed in particolare è disposto in modo che gli elettrodi 20 contattino una porzione di retina attraversata dall'asse ottico del cristallino, opposta rispetto alla pupilla ed includente la cosiddetta macula. Infine, il cavo elettrico di collegamento 14 viene disposto in modo da scorrere lungo la parete interna del bulbo oculare, senza incrociare l'asse ottico del cristallino.

In maggior dettaglio, la seconda antenna 10 è disposta in modo da non ostruire il cammino dei raggi luminosi che attraversano il cristallino, e quindi in modo da consentire alla luce che penetra attraverso il cristallino di raggiungere la retina. Pertanto, la seconda antenna 10 è disposta in modo da circondare l'asse ottico del cristallino. In pratica, nel caso in cui la seconda antenna 10 sia appunto formata da un avvolgimento di materiale conduttore, l'asse di tale avvolgimento coincide, in prima approssimazione, con l'asse ottico del cristallino, il quale, tra l'altro, intercetta il dispositivo elettronico integrato 12.

In tal modo, la luce proveniente dal mondo esterno

attraversa il cristallino senza subire significative alterazioni a causa della presenza della seconda antenna 10, ed incide sul dispositivo elettronico integrato 12, ed in particolare sui fotorilevatori 18, i quali generano corrispondenti segnali elettrici, i quali a loro volta sono forniti alla circuiteria elettronica 19. Sulla base dei segnali elettrici forniti dai fotorilevatori 18, la circuiteria elettronica 19 genera, sugli elettrodi 20, corrispondenti segnali elettrici di stimolo, i quali stimolano elettricamente la porzione di retina a contatto con gli elettrodi 20. In particolare, gli elettrodi 20 stimolano la cosiddetta retina interna (indicata con 22 in figura 1b), la quale è formata, tra l'altro, dalle cellule gangliari, i cui assoni formano il nervo ottico; in tal modo, la protesi retinica 1 sopperisce, almeno in parte, ad un'eventuale ridotta funzionalità delle cosiddette cellule fotorecettrici (indicate con 24 in figura 1b), le quali includono i coni ed i bastoncelli. Infatti, dal momento che le cellule gangliari si trovano interposte tra le cellule fotorecettrici 24 e gli elettrodi 20, i segnali elettrici di stimolo non attraversano le cellule fotorecettrici 24, bensì stimolano direttamente il nervo ottico.

Al fine di alimentare il dispositivo elettronico integrato 12, il trasmettitore 6 genera un segnale di alimentazione di tipo elettromagnetico, il quale viene

irradiato dalla prima antenna 8 e ricevuto dalla seconda antenna 10, in maniera tale per cui, previa propagazione lungo il cavo elettrico di collegamento 14, il segnale di alimentazione raggiunge il dispositivo elettronico integrato 12, fornendo ad esso la potenza necessaria al funzionamento.

In maggior dettaglio, a seconda della frequenza del segnale di alimentazione e della distanza tra la prima e la seconda antenna 8, 10, tra la prima e la seconda antenna 8, 10 si forma un accoppiamento di tipo magnetico o elettromagnetico, in maniera tale per cui si verifica un trasferimento di potenza elettrica dalla prima alla seconda antenna 8, 10; la potenza elettrica presente sulla seconda antenna 10 viene quindi trasferita al dispositivo elettronico integrato 12. In maggior dettaglio, nel caso particolare di accoppiamento magnetico, la prima e la seconda antenna 8, 10 fungono da primario e da secondario di un trasformatore.

Protesi retiniche simili alla protesi retinica 1, quindi di tipo epiretinico, sono descritte, tra l'altro, in "Novel Retinal Prosthesis System with Three Dimensionally Stacked LSI Chip", European Solid-State Device Research Conference, 2006, di Watanabe T. et al., oppure in US6,976,998.

In generale, sono note protesi retiniche in cui, in

luogo del dispositivo elettronico integrato 12, è presente un cosiddetto sistema in contenitore ("system in package", SiP), oppure un gruppo di circuiti integrati impilati ("stacked"), anche noto come circuito integrato di tipo tridimensionale ("three dimensional integrated circuit", 3D IC). In aggiunta, gli elettrodi 20 possono formare una schiera ("array") di elettrodi strutturalmente disgiunta dal dispositivo elettronico integrato 12.

Inoltre, sono note protesi retiniche del tipo descritto in US20060282128, in cui l'unità esterna comprende un sistema di acquisizione e di elaborazione di immagini, le quali vengono trasmesse all'unità interna mediante accoppiamento tra la prima e la seconda antenna. In tal caso, il dispositivo elettronico integrato può non comprendere alcun fotorilevatore.

Sono altresì note protesi retiniche, e più precisamente protesi subretiniche, del tipo descritto in US7,483,750, in cui gli elettrodi sono disposti tra la retina interna e la retina esterna.

Nuovamente con riferimento alla protesi retinica 1, essa consente, successivamente all'impianto, di sopperire almeno in parte ad una ridotta funzionalità delle cellule fotorecetttrici 24, tuttavia, nel caso in cui il dispositivo elettronico integrato 12 si danneggi e debba essere sostituito, si rende necessario estrarre dall'occhio

l'intera unità interna 4.

Scopo della presente invenzione è fornire una protesi retinica che consenta di risolvere almeno in parte gli inconvenienti dell'arte nota.

Secondo l'invenzione, viene realizzata una protesi retinica come definita, rispettivamente, nella rivendicazione 1.

Per una migliore comprensione dell'invenzione, ne vengono ora descritte forme di realizzazione, a puro titolo di esempio non limitativo e con riferimento ai disegni allegati, nei quali:

- la figura 1a mostra schematicamente una protesi retinica di tipo noto;

- la figura 1b mostra schematicamente una porzione della protesi retinica mostrata in figura 1a;

- la figura 2 mostra schematicamente una sezione trasversale di una porzione della protesi retinica mostrata in figura 1a;

- la figura 3 mostra schematicamente una protesi retinica secondo la presente invenzione;

- le figure 4a e 4b mostrano schematicamente espansioni elettromagnetiche;

- la figura 5a mostra una sezione di una porzione di un'espansione elettromagnetica;

- la figura 5b mostra schematicamente una vista di una

porzione della protesi retinica mostrata in figura 3;

- le figure 6, 8, 9, 11, 12, 15, 16 e 17 mostrano schematicamente sezioni di varianti di una unità stimolatrice;

- le figure 7, 10, 13 e 14 mostrano schemi a blocchi di differenti forme di realizzazione della presente protesi retinica;

- le figure 18a, 18b mostrano schematicamente viste frontali di una medesima espansione elettromagnetica, in due differenti condizioni operative;

- la figura 18c mostra schematicamente una vista laterale dell'espansione elettromagnetica mostrata nelle figure 18a e 18b;

- la figura 19 mostra schematicamente una vista interna di un bulbo oculare alloggiante l'espansione elettromagnetica mostrata nelle figure 18a-18c;

- la figura 20 mostra schematicamente una vista laterale di una variante dell'espansione elettromagnetica mostrata nelle figure 18a-18c;

- la figura 21 mostra schematicamente una vista interna di un bulbo oculare alloggiante l'espansione elettromagnetica mostrata nella figura 20;

- la figura 22 mostra schematicamente una vista interna di un bulbo oculare alloggiante una variante dell'espansione elettromagnetica;

- la figura 23 mostra schematicamente uno schema a blocchi di un sistema elettronico di supporto alla vista; e

- la figura 24 mostra schematicamente una sezione trasversale di una porzione di espansione elettromagnetica.

La figura 3 mostra una protesi retinica 30, la quale comprende un'unità esterna 32 ed un'unità interna 34.

L'unità esterna 32 comprende un trasmettitore 36 ed un'antenna esterna 38, la quale è collegata elettricamente al trasmettitore 36 ed è formata, ad esempio, da un avvolgimento ("coil") di materiale conduttore.

L'unità interna 34 comprende un'espansione elettromagnetica 35 ed una unità stimolatrice 40.

In maggior dettaglio, l'espansione elettromagnetica 35 è formata da una prima antenna di espansione 44, da una seconda antenna di espansione 46 e da una rete elettrica 48, la quale collega elettricamente la prima e la seconda antenna di espansione 44, 46.

La prima e la seconda antenna di espansione 44, 46 possono essere antenne a spire; ad esempio, nella forma di realizzazione illustrata in figura 3, la prima e la seconda antenna di espansione 44, 46 sono formate, ciascuna, da una rispettiva a spira di materiale conduttore. In particolare, la spira formante la prima antenna di espansione 44 ha un diametro D_{44} , mentre la spira formante la seconda antenna di espansione 46 ha un diametro D_{46} .

Più in particolare, la prima e la seconda antenna di espansione 44, 46 sono disposte, rispettivamente, in prossimità del cristallino ed in prossimità di una porzione di retina rivolta verso il cristallino stesso, attraversata dall'asse ottico del cristallino (indicato con H) ed opposta rispetto alla pupilla, tale porzione di retina potendo includere la cosiddetta macula. Nel seguito, per semplicità ci si riferisce alla summenzionata porzione di retina come alla porzione di retina da stimolare.

Ancora più in particolare, la prima e la seconda antenna di espansione 44, 46 possono essere disposte in modo che gli assi delle rispettive spire risultino sostanzialmente coincidenti con l'asse ottico H del cristallino. Inoltre, le dimensioni delle spire della prima e della seconda antenna di espansione 44, 46, nonché i diametri D_{44} e D_{46} sono tali per cui, nell'ipotesi di raggi luminosi provenienti dall'infinito, tali raggi luminosi possono attraversare la prima e la seconda antenna di espansione 44, 46 senza interferire con esse. Infatti, dopo aver attraversato il cristallino, i raggi luminosi possono attraversare una prima porzione di spazio S_1 , delimitata dalla spira formante la prima antenna di espansione 44, e successivamente una seconda porzione di spazio S_2 , delimitata dalla spira formante la seconda antenna di espansione 46, senza essere riflessi né dalla prima né

dalla seconda antenna di espansione 44, 46.

Come mostrato in figura 3, la rete elettrica 48 può essere formata da due fili di materiale conduttore (indicati con 48a e 48b), i quali collegano, rispettivamente, un primo terminale della prima antenna di espansione 44 ad un primo terminale della seconda antenna di espansione 46, ed un secondo terminale della prima antenna di espansione 44 ad un secondo terminale della seconda antenna di espansione 46.

Come descritto in US2009-0033467 A1, la rete elettrica 48 può comprendere, in luogo dei fili di materiale conduttore oppure in aggiunta rispetto ad essi, una rete di adattamento di impedenza 48c (figura 4a) atta ad adattare l'impedenza che la prima antenna di espansione 44 rappresenta nei confronti della seconda antenna 46, e viceversa. In pratica, la rete di adattamento di impedenza 48c fa sì che, ad una certa frequenza di progetto, l'impedenza della seconda antenna di espansione 46 vista dalla prima antenna di espansione 44 sia pari al complesso coniugato dell'impedenza della stessa prima antenna di espansione 44, e viceversa.

Alternativamente, la rete elettrica 48 può comprendere un elemento reattivo tale per cui l'espansione elettromagnetica 35 funge da risonatore serie o parallelo. In particolare, nel caso del risonatore parallelo,

l'elemento reattivo è scelto in modo che la parte immaginaria dell'ammettenza dell'espansione elettromagnetica 35 sia sostanzialmente nulla, mentre, nel caso del risonatore serie, l'elemento reattivo è scelto in modo che la parte immaginaria dell'impedenza dell'espansione elettromagnetica 35 sia sostanzialmente nulla. Ad esempio, come mostrato in figura 4b, l'elemento reattivo può essere formato da un condensatore 48d, in maniera tale per cui, essendo il comportamento elettrico della prima e della seconda antenna di espansione 44, 46 di tipo induttivo, l'espansione elettromagnetica 35 può risuonare ad una frequenza di risonanza, determinabile in modo di per sé noto.

Indipendentemente dai precedenti dettagli implementativi, l'espansione elettromagnetica 35 è passiva e comprende rivestimento protettivo 50 (figure 5a e 5b), formato di materiale isolante come, ad esempio, parylene. In particolare, il rivestimento protettivo 50 ricopre la prima e la seconda antenna di espansione 44, 46, e la rete elettrica 48; inoltre, il rivestimento protettivo 50, la prima e la seconda antenna 44, 46, ed eventualmente anche la rete elettrica 48 (in particolare, nel caso in cui essa sia formata da due fili di materiale conduttore), possono essere tali da conferire flessibilità all'espansione elettromagnetica 35, come descritto in maggior dettaglio in

seguito.

Come mostrato in maggior dettaglio in figura 5b, in uso l'unità stimolatrice 40 può essere disposta almeno in parte all'interno della seconda porzione di spazio S_2 , in maniera tale da essere circondata almeno in parte dalla seconda antenna di espansione 46. Inoltre, l'unità stimolatrice 40 presenta una pluralità di elettrodi 62, i quali possono contattare la porzione di retina da stimolare.

Come mostrato in dettaglio in figura 6, l'unità stimolatrice 40 è formata da un primo e da un secondo circuito integrato ("chip") 70, 72, disposti l'uno sull'altro. In particolare, il primo circuito integrato 70 è disposto al di sopra del secondo circuito integrato 72.

Si noti che, nel descrivere l'unità stimolatrice 40, salvo laddove specificato diversamente, le diciture "sovrastante", "sottostante", "inferiore", "superiore", ecc. fanno riferimento all'unità stimolatrice come mostrata nelle figure stesse, cioè prescindendo dall'effettiva disposizione che l'unità stimolatrice assumerà in uso.

Ciò premesso, il primo circuito integrato 70 comprende un primo corpo 74 di materiale semiconduttore, delimitato inferiormente da una prima superficie 74a e delimitato superiormente da una seconda superficie 74b. Inoltre, il primo circuito integrato 70 comprende una prima regione di

connessione 76, la quale si estende al di sopra della seconda superficie 74b, in contatto diretto con il primo corpo 74. La prima regione di connessione 76 è delimitata superiormente da una terza superficie 76a e può comprendere uno o più strati dielettrici (non mostrati), nonché una o più linee di connessione metalliche ("metal") 78, alle quali ci si riferisce in seguito come alle prime linee di connessione 78.

Al di sotto del primo corpo 74, ed in contatto diretto con la prima superficie 74a, si estende una prima regione isolante 80, delimitata inferiormente da una quarta superficie 80a. Inoltre, al di sopra della terza superficie 76a, ed in contatto diretto con la prima regione di connessione 76, si estende una regione di passivazione 82, la quale è formata di materiale isolante, è delimitata superiormente da una quinta superficie 82a e definisce almeno una prima ed una seconda finestra 84, 86, descritte in dettaglio in seguito.

In maggior dettaglio, all'interno del primo corpo 74 sono presenti una pluralità di fotorilevatori 90, i quali si affacciano alla seconda superficie 74b; inoltre, all'interno del primo corpo 74 è realizzata una prima circuiteria elettronica 92, la quale, come mostrato in figura 7, è elettricamente collegata ai fotorilevatori 90, come descritto in dettaglio in seguito. All'interno del

primo corpo 74 è altresì presente una pluralità di cosiddette vie attraverso il silicio ("Through Silicon Via", TSV) 94, alle quali ci si riferisce in seguito come alle prime vie 94.

In particolare, le prime vie 94 si estendono a partire dalla seconda superficie 74b, fino alla quarta superficie 80a, dunque attraversano sia il primo corpo 74 che la prima regione isolante 80; inoltre, le prime vie 94 si estendono lateralmente rispetto alla pluralità di fotorilevatori 90. Ancora, sebbene non mostrato in figura 6, in modo di per sé noto la prima circuiteria elettronica 92 è elettricamente collegata alle prime vie 94, attraverso una o più delle prime linee di connessione 78.

Per quanto concerne il secondo circuito integrato 72, esso si estende al di sotto della quarta superficie 80a, in contatto diretto con la prima regione isolante 80. Inoltre, il secondo circuito integrato 72 comprende un secondo corpo 98 di materiale semiconduttore ed una seconda regione di connessione 100.

In maggior dettaglio, il secondo corpo 98 è delimitato inferiormente da una sesta superficie 98a, ed è delimitato superiormente da una settima superficie 98b. La seconda regione di connessione 100, invece, è interposta tra la prima regione isolante 80 ed il secondo corpo 98, con i quali è in contatto diretto, e pertanto risulta interposta

tra la quarta e la settima superficie 80a, 98b.

Ancora in maggior dettaglio, all'interno del secondo corpo 98 è realizzata una seconda circuiteria elettronica 102. Inoltre, all'interno del secondo corpo 98 è presente una seconda pluralità di vie attraverso il silicio ("Through Silicon Via", TSV) 104, alle quali ci si riferisce in seguito come alle seconde vie 104. Le seconde vie 104 si estendono a partire dalla settima superficie 98b ed attraversano interamente il secondo corpo 98, fino a protendersi almeno in parte al di sotto della sesta superficie 98a. In pratica, le porzioni di seconde vie 104 che si estendono al di sotto della sesta superficie 98a formano i summenzionati elettrodi 62.

Per quanto concerne, invece, la seconda regione di connessione 100, essa può comprendere uno o più strati dielettrici (non mostrati), nonché una o più linee di connessioni metalliche 106, alle quali ci si riferisce in seguito come alle seconde linee di connessione 106. Inoltre, la seconda regione di connessione 100 ospita un pluralità di piazzole ("pad") 108 di materiale conduttivo, le quali si affacciano alla quarta superficie 80a e contattano, ciascuna, una rispettiva prima via 94.

Sebbene non mostrato in figura 6, in modo di per sé noto, le piazzole 108 sono elettricamente collegate alle seconde linee di connessione 106, alle quali è

elettricamente collegata anche la seconda circuiteria elettronica 102. Inoltre, in modo di per sé noto, la seconda circuiteria elettronica 102 è elettricamente collegata alle seconde vie 104 attraverso una o più delle seconde linee di connessione 106.

L'unità stimolatrice 40 comprende inoltre una regione dielettrica 110 ed una antenna locale 114. In particolare, regione dielettrica 110 si estende al di sopra del primo circuito integrato 70. In maggior dettaglio, la regione dielettrica 110 si estende al di sopra della quinta superficie 82a, in contatto diretto con la regione di passivazione 82.

L'antenna locale 114 è un'antenna a spire ("loop antenna") ed è dunque formata da una pluralità di spire 116 di materiale conduttore, disposte complanari e concentriche, all'interno della regione dielettrica 110. In vista dall'alto, le spire dell'antenna locale 114 possono avere, ad esempio, forma poligonale o circolare.

In maggior dettaglio, l'antenna locale 114 presenta un primo ed un secondo terminale 114a, 114b, i quali sono fisicamente ed elettricamente connessi ad un primo ed un secondo elemento conduttore 117a, 117b, i quali si estendono verticalmente a partire dagli stessi primo e secondo terminale 114a, 114b, ed attraversano, rispettivamente, le summenzionate prima e seconda finestra

84, 86, fino alla terza superficie 76a, cioè fino a contattare prima regione di connessione 76.

In dettaglio, sebbene non mostrato in figura 6, il primo ed il secondo elemento conduttore 117a, 117b sono in contatto elettrico con le prime linee di connessione 78, ed in particolare con due distinte prime linee di connessione, le quali sono inoltre in contatto elettrico con la prima circuiteria elettronica 92. In pratica, la prima circuiteria elettronica 92 ed il primo ed il secondo terminale 114a, 114b sono collegati alle prime linee di connessione 78 in maniera tale per cui, come mostrato in figura 7, l'antenna locale 114 risulta collegata elettricamente alla prima circuiteria elettronica 92.

In maggior dettaglio, la prima circuiteria elettronica 92 comprende un convertitore del tipo corrente alternata - corrente continua ("alternate current - direct current converter", AC/DC converter) 120, e l'antenna locale 114 è collegata elettricamente al convertitore AC/DC 120.

Inoltre, come precedentemente accennato, la prima circuiteria elettronica 92 ed i fotorilevatori 90 sono elettricamente collegati alle prime linee di connessione elettrica 78 in maniera tale per cui la prima circuiteria elettronica 92 è elettricamente collegata ai fotorilevatori 90.

Più in particolare, come mostrato ancora in figura 7,

la prima circuiteria elettronica 102 comprende un circuito di elaborazione 122, il quale è elettricamente collegato ai fotorilevatori 90. In modo di per sé noto, il circuito di elaborazione 122 è altresì collegato al convertitore AC/DC 120.

In aggiunta, la prima e la seconda circuiteria elettronica 92, 102, le prime linee di connessione 78, le prime vie 94, le piazzole 108 e le seconde linee di connessione 106 sono fisicamente connesse in maniera tale per cui, come mostrato in figura 7, la prima e la seconda circuiteria elettronica 92, 102 sono collegate elettricamente tra loro. Più in particolare, la seconda circuiteria elettronica 102 è elettricamente collegata al circuito di elaborazione 122, ed eventualmente anche al convertitore AC/DC 120 (collegamento non mostrato).

In pratica, la regione dielettrica 110 forma il primo elemento di una pila di tre elementi contigui, il secondo ed il terzo elemento essendo formati, rispettivamente, dal primo e dal secondo circuito integrato 70, 72.

In uso, l'unità stimolatrice 40 viene disposta in modo che gli elettrodi 62 contattino la porzione di retina da stimolare, e pertanto con la regione dielettrica 110 rivolta verso il cristallino. Pertanto, i raggi luminosi provenienti dal mondo esterno, dopo aver attraversato il cristallino, incidono sulla regione dielettrica 110, la

quale è trasparente alla luce visibile, cioè non assorbe (in prima approssimazione) la luce visibile.

In maggior dettaglio, al fine di consentire ai raggi luminosi di incidere sui fotorilevatori 90, l'antenna locale 114, ed in particolare le spire 116, e le prime linee di connessione 78 sono disposte in modo da non risultare sovrapposte ai fotorilevatori 90. In tal modo, i raggi luminosi possono attraversare la regione dielettrica 110, la regione di passivazione 82 (anch'essa trasparente alla luce visibile) e la prima regione di connessione 76, i cui strati dielettrici sono anch'essi trasparenti alla luce visibile, ed infine incidere sui fotorilevatori 90.

Operativamente, in seguito alla ricezione di raggi luminosi, i fotorilevatori 90 generano corrispondenti segnali elettrici di risposta, i quali sono ricevuti dal circuito di elaborazione 122, il quale li elabora al fine di fornire alla seconda circuiteria elettronica 102 corrispondenti segnali elettrici di comando. A sua volta, in seguito alla ricezione dei segnali elettrici di comando, la seconda circuiteria elettronica 102 genera sulle seconde vie 104, e quindi sugli elettrodi 62, corrispondenti segnali elettrici di stimolo, i quali stimolano elettricamente la porzione di retina da stimolare.

Al fine di consentire il funzionamento descritto, l'unità stimolatrice 40 può essere alimentata attraverso

l'espansione elettromagnetica 35. In particolare, come mostrato ancora in figura 7, assumendo che il trasmettitore 36 sia collegato ad un alimentatore 130 (ad esempio, una batteria) atto a fornire energia elettrica al trasmettitore 36 stesso, il trasmettitore 36 emette un segnale di alimentazione, di tipo magnetico o elettromagnetico. Tale segnale di alimentazione eccita l'espansione elettromagnetica 35, la quale risuona, riproducendo il segnale di alimentazione, cioè emettendo una replica (segnale isofrequenziale) del segnale di alimentazione e focalizzando il corrispondente campo elettromagnetico all'interno della seconda porzione di spazio S_2 , delimitata dalla spira formante la seconda antenna di espansione 46. Pertanto, la replica del segnale di alimentazione viene ricevuta dall'antenna locale 114, e quindi anche dal convertitore AC/DC 120, il quale genera un corrispondente segnale tempo continuo, la cui potenza consente il funzionamento dell'unità stimolatrice 40.

In particolare, la potenza associata al segnale tempo continuo consente il funzionamento del circuito di elaborazione 122. Inoltre, è possibile che parte della potenza associata al segnale tempo continuo sia fornita, in modo di per sé noto, alla seconda circuiteria elettronica 102, grazie al fatto che la prima e la seconda circuiteria elettronica 92, 102 sono tra loro collegate elettricamente,

oppure mediante il collegamento tra il convertitore AC/DC 120 e la seconda circuiteria elettronica 102, se presente.

Si noti inoltre che, in modo di per sé noto, la prima circuiteria elettronica 92, quando alimentata nel modo precedentemente descritto, è in grado di polarizzare i fotorilevatori 90, consentendone il funzionamento.

Si noti altresì che, in assenza dell'espansione elettromagnetica 35, il segnale di alimentazione non potrebbe raggiungere l'antenna locale 114, se non dopo aver subito un'elevata attenuazione all'interno del corpo vitreo. In tal caso, la potenza associata al segnale tempo continuo sarebbe insufficiente per far funzionare l'unità stimolatrice 40.

In aggiunta, si noti che, sebbene non siano mostrati, all'interno della regione dielettrica 110 possono essere disposti dei filtri ottici atti a filtrare una o più lunghezze d'onda; tali filtri possono essere disposti in modo da sovrapporsi ai fotorilevatori 90. Inoltre, al di sopra della regione dielettrica 110, e a diretto contatto con essa, è possibile che siano presenti una o più lenti, aventi la funzione di focalizzare i raggi luminosi sui fotorilevatori 90.

Come mostrato in figura 8, è altresì possibile che l'unità stimolatrice 40 sia priva della regione dielettrica 110, nel qual caso l'antenna locale 114 si estende

all'interno della prima regione di connessione 76, in maniera tale da contattare le prime linee di connessione 78 senza che le proprie spire 116 si sovrappongano ai fotorilevatori 90. In tal caso, l'antenna locale 114 è dunque formata in modo monolitico all'interno del primo circuito integrato 70. Pertanto, sebbene non mostrato in figura 8, il primo ed il secondo terminale 114a e 114b sono elettricamente connessi alle prime linee di connessione 78, senza interposizione del primo e del secondo elemento conduttore 117a, 117b.

Come mostrato in figura 9, l'unità stimolatrice 40 può essere ancora differente. In particolare, l'unità stimolatrice 40 può non comprendere il secondo circuito integrato 72. In tal caso, il primo circuito integrato 70, è disposto in maniera tale per cui la regione dielettrica 110, risulta sovrapposta al primo corpo 74, mentre la prima regione di connessione 76 è sottostante al primo corpo 74, con cui è in contatto diretto.

In altre parole, definendo ancora come prima e seconda superficie 74a, 74b le superfici che delimitano, rispettivamente, il primo corpo 74 inferiormente e superiormente, la regione dielettrica 110 si estende a contatto diretto con la seconda superficie 74b. Inoltre, definendo un'ottava superficie 76b, la quale delimita inferiormente la prima regione di connessione 76, la

regione di passivazione 82 si estende al di sotto della prima regione di connessione 76, a contatto diretto con l'ottava superficie 76b.

All'interno del primo corpo 74, sono presenti almeno due prime vie, indicate rispettivamente con 94a e 94b, ed alle quali ci si riferisce in seguito come alla via di primo elemento 94a ed alla via di secondo elemento 94b.

In dettaglio, la via di primo elemento 94a e la via di secondo elemento 94b si estendono tra la prima e la seconda superficie 74a, 74b; inoltre, la via di primo elemento 94a è elettricamente connessa al primo elemento conduttore 117a, mentre la via di secondo elemento 94b è elettricamente connessa al secondo elemento conduttore 117b.

Per quanto concerne, invece, i fotorilevatori 90, essi sono ancora realizzati all'interno del primo corpo 74 in modo da poter rilevare i raggi luminosi, dunque si affacciano alla seconda superficie 74b.

In maggior dettaglio, sebbene non sia mostrato in figura 9, la prima circuiteria elettronica 92 ed i fotorilevatori 90 sono elettricamente collegati alle prime linee di connessione elettrica 78 in maniera tale per cui la prima circuiteria elettronica 92 è elettricamente collegata ai fotorilevatori 90. Inoltre, la prima circuiteria elettronica 92, la via di primo elemento 94a e

la via di secondo elemento 94b sono elettricamente collegati alle prime linee di connessione elettrica 78 in maniera tale per cui la prima circuiteria elettrica 92 è elettricamente collegata al primo ed al secondo terminale 114a, 114b dell'antenna locale 114.

In tale forma di realizzazione, all'interno della prima regione di connessione 76 è presente una pluralità di piazzole, indicate con 152, le quali si affacciano all'ottava superficie 76b e, sebbene in non sia mostrato in figura 9, sono elettricamente connesse alle prime linee di connessione 78. Inoltre, al di sotto di, ed in contatto elettrico con, ciascuna di tali piazzole 152, è presente una corrispondente protuberanza ("bump") 154 di materiale conduttore.

In dettaglio, le protuberanze 154 si estendono attraverso la regione di passivazione 82, fino a protendersi almeno in parte al di sotto della stessa regione di passivazione 82. In tal modo, le porzioni di protuberanze 154 che si estendono oltre la regione di passivazione 82 fungono da elettrodi 62.

In maggior dettaglio, le piazzole 152 e la prima circuiteria elettronica 92 sono collegate elettricamente alle prime linee di connessione 78 in maniera tale per cui la prima circuiteria elettronica 92 è elettricamente collegata alle piazzole 152 stesse, e dunque anche con le

protuberanze 154. Pertanto, la prima circuiteria elettronica 92 può generare essa stessa, ad esempio mediante il circuito di elaborazione 122, i segnali elettrici di stimolo da fornire agli elettrodi, senza la necessità di impiegare il secondo circuito integrato 72, come mostrato in figura 10.

Come mostrato in figura 11, secondo un'ulteriore forma di realizzazione, l'unità stimolatrice 40, oltre a non includere il secondo circuito integrato 72, è priva della regione dielettrica 110. Ancora, secondo tale forma di realizzazione, il primo circuito integrato 70 può non comprendere alcuna prima via all'interno del primo corpo 74.

In dettaglio, rispetto a quanto mostrato in figura 9, l'antenna locale 114 è formata in modo monolitico all'interno del primo circuito integrato 70 e si estende all'interno della prima regione di connessione 76 in maniera tale da contattare le prime linee di connessione 78. In pratica, sebbene non mostrato in figura 11, il primo ed il secondo terminale 114a e 114b dell'antenna locale 114 sono elettricamente connessi alle prime linee di connessione 78, senza interposizione del primo e del secondo elemento conduttore 117a, 117b, ed in maniera tale per cui gli stessi primi e secondo terminale 114a, 114b sono elettricamente collegati alla prima circuiteria

elettronica 92.

Come mostrato a titolo esemplificativo in figura 12, è altresì possibile una forma di realizzazione in cui l'unità stimolatrice 40 è analoga a quanto mostrato in figura 9, ma è priva della regione di passivazione 82 e delle protuberanze 154. Inoltre, l'unità stimolatrice 40 comprende un strato isolante 160 formato di materiale elastico, quale ad esempio un materiale polimerico, e disposto al di sotto della prima regione di connessione 76, in contatto diretto con l'ottava superficie 76b. In aggiunta, l'unità stimolatrice 40 comprende una pluralità di sonde 162 di materiale conduttore, annegate all'interno dello strato isolante 160 in modo da sporgere almeno in parte al di sotto dello strato isolante 160 stesso. Tali sonde 162 sono elettricamente collegate alle piazzole 152, e dunque anche alle prime linee di connessione 78; in particolare, le sonde 162 sono collegate alle prime linee di connessione 78 in maniera tale da essere collegate elettricamente alla prima circuiteria elettronica 92. In pratica, le porzioni di sonde 162 che si estendono al di sotto dello strato isolante 160 fungono da elettrodi 62.

La forma di realizzazione mostrata in figura 12 consente dunque di minimizzare gli stress meccanici subiti dalla retina a causa della presenza dell'unità stimolatrice 40; infatti, lo strato isolante 160 può adattarsi almeno in

parte alla curvatura della retina.

Sono in ogni caso possibili forme di realizzazioni ibride, in cui l'unità stimolatrice 40 è formata da componenti precedentemente descritti con riferimento a due o più tra le forme di realizzazione descritte in precedenza.

Inoltre, come mostrato in figura 13, è possibile che l'unità stimolatrice 40 non includa alcun fotorilevatore. In tal caso, l'unità stimolatrice 40 include un'antenna addizionale 170 ed un ricetrasmittitore interno 172, ad esempio formato all'interno della prima circuiteria elettronica 92 e collegato elettricamente all'antenna addizionale 170 ed al convertitore AC/DC 120. Inoltre, analogamente a quanto mostrato in figura 10, l'unità stimolatrice 40 può essere priva del secondo circuito integrato 72, sebbene siano comunque possibili forme di realizzazione (non mostrate) in cui l'unità stimolatrice 40 comprende il secondo circuito integrato 72, e provviste comunque dell'antenna addizionale 170 e del ricetrasmittitore interno 172.

Nel caso della forma di realizzazione illustrata in figura 13, l'unità esterna 32 comprende, oltre all'alimentatore 130 ed all'antenna esterna 38, un ricetrasmittitore esterno 174 ed un dispositivo di acquisizione di immagini 176, quale ad esempio una

fotocamera, collegati tra loro ed all'alimentatore 130. L'antenna esterna 38 è collegata al ricetrasmittitore esterno 174.

Operativamente, il dispositivo di acquisizione di immagini 176 può acquisire immagini del mondo esterno, ed inviare corrispondenti segnali (elettrici) di immagine al ricetrasmittitore esterno 174, il quale provvede ad inviarli all'antenna addizionale 170, attraverso l'antenna esterna 38 e mediante interposizione dell'espansione elettromagnetica 35. Il ricetrasmittitore locale 172, alimentato dal convertitore AC/DC 120, riceve i segnali di immagine dall'antenna addizionale 170, e li fornisce al circuito di elaborazione 122, il quale genera corrispondenti segnali elettrici di stimolo.

Il circuito di elaborazione 122 può inoltre inviare segnali di ritorno ("feedback") al ricetrasmittitore interno 172, il quale a sua volta li invia all'antenna addizionale 170, la quale li irradia, in maniera tale per cui, mediante interposizione dell'espansione elettromagnetica 35, i segnali di ritorno possono essere ricevuti dall'antenna esterna 38, e quindi dal ricetrasmittitore esterno 174.

I segnali di ritorno possono contenere, ad esempio, informazioni relative al funzionamento dell'unità stimolatrice 40, le quali sono dunque messe a disposizione

del ricetrasmittitore esterno 174, ad esempio per consentire una diagnostica della stessa unità stimolatrice 40.

Come mostrato in figura 14, è altresì possibile che l'antenna locale 114 funga anche da antenna addizionale. In tal caso, il ricetrasmittitore locale 172 è collegato, oltre che al convertitore AC/DC 120, all'antenna locale 114, in maniera tale per cui sia i segnali di immagine che i segnali di ritorno sono ricevuti/trasmessi attraverso l'antenna locale 114.

Inoltre, come mostrato a titolo esemplificativo e non limitativo ancora in figura 14, il circuito di elaborazione 122 può essere di tipo programmabile. A tal fine, la prima circuiteria elettronica 92 può comprendere una memoria 180, ad esempio di tipo non volatile, collegata sia al circuito di elaborazione 122 che al ricetrasmittitore interno 172.

Secondo tale forma di realizzazione, la memoria 180 può contenere istruzioni, ed il circuito di elaborazione 122 può essere atto a leggere le istruzioni presenti nella memoria 180 e programmarsì di conseguenza. Più in particolare, le istruzioni possono essere generate in modo di per sé noto dal ricetrasmittitore esterno 174, il quale può generare corrispondenti segnali di programmazione, che vengono trasmessi attraverso l'antenna esterna 38. Una volta ricevuti i segnali di programmazione, il

ricetrasmittitore interno 172 può caricare le corrispondenti istruzioni nella memoria 180, in maniera tale per cui il circuito di elaborazione 122 si programma di conseguenza.

Sebbene le forme di realizzazione descritte fino ad ora siano di tipo epiretinico, sono altresì possibili forme di realizzazione in cui la protesi retinica 30 funge da protesi di tipo subretinico. In tal caso, l'unità stimolatrice 40 viene disposta tra la retina interna e la retina esterna, ed orientata in modo che gli elettrodi 62, siano essi formati da vie, da protuberanze o da sonde, contattino la retina interna, dunque siano rivolti verso l'interno dell'occhio.

A titolo puramente esemplificativo, la figura 15 mostra una forma di realizzazione di protesi di tipo subretinico, in cui l'unità stimolatrice 40 è del tipo mostrato in figura 11, ed è disposta in modo che le protuberanze 154 contattino la retina interna. Rispetto alla forma di realizzazione mostrata in figura 11, le prime linee di connessione 78, le piazzole 152 e le protuberanze 154 sono disposte in modo da non sovrapporsi ai fotorilevatori 90, né all'antenna locale 114.

In tale forma di realizzazione, la seconda antenna di espansione 46 è disposta, preferibilmente, a contatto con una porzione di retina interna sovrastante l'unità

stimolatrice 40.

Come mostrato in figura 16, è altresì possibile che la regione di passivazione 82 del primo circuito integrato 70 sia rivolta verso la retina esterna, in maniera tale per cui il primo corpo 74 e le seconde vie 104 siano rivolte verso la retina interna, la prima regione di connessione 76 essendo dunque interposta tra il primo corpo 74 e la regione di passivazione 82. L'antenna locale 114 è disposta all'interno della prima regione di connessione 76 ed è collegata alla prima circuiteria elettronica 92, formata nel primo corpo 74, mediante le prime linee di connessione 78.

Sono inoltre possibili ulteriori forme di realizzazione (non mostrate), sia di tipo epiretinico che subretinico, in cui la prima antenna di espansione 44 è disposta, in uso, non in prossimità del cristallino, bensì in prossimità della parete interna del bulbo oculare.

In aggiunta, come mostrato a titolo puramente esemplificativo in figura 17, specificamente riferita, senza alcuna perdita di generalità, a quanto mostrato in figura 6, l'unità stimolatrice 40 può comprendere un involucro ermetico 188. Tale involucro ermetico 188 contiene il primo ed il secondo circuito integrato 70, 72, nonché la regione dielettrica 110, dunque anche l'antenna locale 114, con la sola eccezione delle porzioni di seconde

vie 104 formanti gli elettrodi 62.

In tal modo, l'unità stimolatrice 40 è protetta dall'azione dei liquidi biologici presenti all'interno dell'occhio umano, i quali hanno effetti potenzialmente corrosivi nei confronti dei componenti contenuti all'interno dell'involucro ermetico 188. Inoltre, l'involucro ermetico 188 ha la funzione di prevenire eventuali cortocircuiti indesiderati, i quali possono stabilirsi a causa del fatto che il corpo vitreo è una soluzione acquosa potenzialmente conduttiva.

Come mostrato per semplicità ancora in figura 17, sono altresì possibili forme di realizzazione in cui l'unità stimolatrice 40 comprende un magnete permanente (anche noto come calamita) 190, la cui presenza peraltro non è necessariamente associata alla presenza del contenitore ermetico 188.

In dettaglio, il magnete permanente 190 assolve la funzione di vincolare l'unità stimolatrice 40 all'espansione elettromagnetica 35, ed in particolare alla seconda antenna di espansione 46, consentendo di preservarne il posizionamento reciproco. Altri dispositivi di vincolo (non mostrati) sono comunque possibili, quali ad esempio ganci meccanici.

Per quanto concerne, invece, l'espansione elettromagnetica 35, come precedentemente accennato, essa è

sostanzialmente flessibile, dunque può essere piegata in modo che la prima e la seconda antenna di espansione 44, 46, nonché, eventualmente la rete elettrica 48 (in particolare, nel caso in cui essa sia formata da due fili di materiale conduttore rivestiti del rivestimento protettivo 50) siano disposti complanari.

Inoltre, l'espansione elettromagnetica 35 può comprendere un primo elemento di supporto 200 ed almeno un braccio, come mostrato a titolo esemplificativo in figura 18a, in cui sono mostrati un primo ed un secondo braccio 202a, 202b. In particolare, il primo ed il secondo braccio 202a, 202b sono formati di un materiale isolante ed elastico, quale ad esempio parylene, e possono presentare, ciascuno, una pluralità di fori 203, atti a consentire il passaggio di eventuali liquidi biologici attraverso il primo ed il secondo braccio 202a, 202b stessi.

In dettaglio, il primo elemento di supporto 200 è disposto coassialmente rispetto alla spira della seconda antenna di espansione 46, ed è solidale alla seconda antenna di espansione 46 stessa. Inoltre, il primo ed il secondo braccio 202a, 202b sono incernierati rispetto al primo elemento di supporto 200, dunque sono incernierati rispetto alla seconda antenna di espansione 46, rispetto alla quale possono ruotare di 360° attorno ad un primo asse di rotazione A_1 coincidente con l'asse della spira della

seconda antenna di espansione 46. Inoltre, il primo ed il secondo braccio 202a, 202b possono ruotare attorno al primo asse di rotazione A_1 indipendentemente l'uno dall'altro.

In maggior dettaglio, nel seguito si assume, per semplicità di descrizione, che la rete elettrica 48 sia formata da due fili di materiale conduttore, e si definisce come stato di riposo la situazione in cui l'espansione elettromagnetica 35 è disposta complanare, con i fili di materiale conduttore dritti e con il primo ed il secondo braccio 202a, 202b dritti. Inoltre, si definisce come asse principale P l'asse che, quando l'espansione elettromagnetica 35 è in stato di riposo, congiunge i centri delle spire della prima e della seconda antenna di espansione 44, 46. Nello stato di riposo, l'asse P è perpendicolare al primo asse di rotazione A_1 .

Ciò premesso, con riferimento, per semplicità di descrizione, allo stato di riposo, l'espansione elettromagnetica 35 può assumere una prima ed una seconda condizione operativa, tra loro differenti.

In dettaglio, come mostrato nelle figure 18b e 18c, nella prima condizione operativa il primo ed il secondo braccio 202a, 202b sono allineati lungo l'asse principale P , e formano angoli nulli con tale asse principale P , in maniera tale da minimizzare l'ingombro complessivo dell'espansione elettromagnetica 35. In altre parole, il

primo ed il secondo braccio 202a, 202 sono tra loro sovrapposti.

Viceversa, nella seconda condizione operativa, illustrata in figura 18a, il primo ed il secondo braccio 202a, 202b sono ruotati rispetto all'asse principale P di un medesimo angolo θ , l'uno in senso orario, l'altro in senso antiorario. Ad esempio, l'angolo θ può essere pari a 90° . E' comunque possibile ruotare il primo ed il secondo braccio 202a, 202b di un angolo θ differente, o anche di rispettivi angoli differenti.

Pertanto, è possibile impiantare nell'occhio l'espansione elettromagnetica 35 nello stato di riposo e nella prima condizione operativa, cioè quando l'espansione elettromagnetica 35 ha il minor ingombro, e successivamente ruotare il primo ed il secondo braccio 202a, 202b in modo che l'espansione elettromagnetica 35 assuma la seconda condizione operativa.

In maggior dettaglio, come precedentemente accennato, è possibile piegare l'espansione elettromagnetica 35 in uno stato operativo, differente dallo stato di riposo e nel quale il primo asse di rotazione A_1 coincide con gli assi delle spire della prima e della seconda antenna di espansione 44, 46. In tale stato operativo, una volta ruotati il primo ed il secondo braccio 202a, 202b nella seconda condizione operativa, essi possono contattare la

parete interna del bulbo oculare (e quindi, la retina stessa), ed esercitare una pressione su tale parete interna, consentendo all'espansione elettromagnetica 35 di rimanere vincolata alla parete interna del bulbo oculare, senza necessità di suture. A tal fine, il primo ed il secondo braccio 202a, 202b possono presentare un'elevata rugosità, per aumentare l'attrito con la parete interna del bulbo oculare.

In maggior dettaglio, assumendo ancora, senza alcuna perdita di generalità, che la rete elettrica 48 sia formata da due fili di materiale conduttore (rivestiti dal rivestimento protettivo 50), le spire della prima e della seconda antenna di espansione 44, 46, i fili di materiale conduttore, il rivestimento protettivo 50 ed il primo ed il secondo braccio 202a, 202b sono formati di materiali ed hanno dimensioni tali per cui almeno una porzione dei fili della rete elettrica 48 ed il primo ed il secondo braccio 202a, 202b possono essere piegati, una volta inseriti nell'occhio e a partire dallo stato di riposo, in modo da assumere almeno localmente, ed in prima approssimazione, la curvatura della parete interna del bulbo oculare (nell'ipotesi semplificativa che la parete interna del bulbo oculare abbia ovunque la medesima curvatura).

Come mostrato in figura 20, l'espansione elettromagnetica 35 può altresì comprendere un secondo

elemento di supporto 205, disposto coassialmente rispetto alla spira della prima antenna di espansione 44 e solidale alla prima antenna di espansione 44 stessa. In tal caso, il primo ed il secondo braccio 202a, 202b sono incernierati anche al secondo elemento di supporto 205, dunque sono incernierati anche alla prima antenna di espansione 44, rispetto alla quale possono (in determinate condizioni descritte in seguito) ruotare, indipendentemente l'uno dall'altro, di 360° attorno ad un secondo asse di rotazione A_2 coincidente con l'asse della spira della prima antenna di espansione 44. Nello stato di riposo, il secondo asse di rotazione A_2 è parallelo al, e distinto dal, primo asse di rotazione A_1 . Pertanto, nello stato di riposo, il primo ed il secondo braccio 202a, 202b non possono ruotare.

Come mostrato in figura 21, dopo aver inserito l'espansione elettromagnetica 35 nell'occhio, è possibile piegare l'espansione elettromagnetica 35 in modo che il primo ed il secondo asse di rotazione A_1 e A_2 coincidano (stato operativo). In tal modo, il primo ed il secondo braccio 202a, 202b possono comunque ruotare rispetto agli assi (coincidenti) delle spire della prima e della seconda antenna di espansione 44, 46, consentendo di impostare la seconda condizione operativa.

Si noti inoltre che l'espansione elettromagnetica 35 può comprendere una terza antenna di espansione 210, la

quale, come mostrato in figura 22, può essere interposta tra la prima e la seconda antenna di espansione 44, 46, alle quali è elettricamente collegata. In pratica, la rete elettrica 48 comprende, tra l'altro, la terza antenna di espansione 210.

Peraltro, la terza antenna di espansione 210 può anche essere collegata alla sola seconda antenna di espansione 46, la quale si trova dunque interposta tra la prima e la terza antenna di espansione 44, 210, come mostrato in figura 23, dove è mostrato un sistema elettronico di supporto alla vista 220.

In dettaglio, il un sistema elettronico di supporto alla vista 220 comprende, oltre all'espansione elettromagnetica 35 ed all'unità stimolatrice 40, un'espansione elettromagnetica addizionale 35b ed un'unità stimolatrice addizionale 40b. La prima, la seconda e la terza antenna di espansione dell'espansione elettromagnetica addizionale 35b sono rispettivamente indicate come 44b, 46b e 210b, e sono collegate in modo analogo a quanto succede per l'espansione elettromagnetica 35, cioè in modo che la seconda antenna di espansione 46b sia interposta tra la prima e la terza antenna di espansione 44b, 210b.

In dettaglio, assumendo che l'unità stimolatrice 40 e l'espansione elettromagnetica 35 siano impiantate in un primo occhio di un paziente, l'unità stimolatrice

Lorenzo NANNUCCI
(Iscrizione Albo nr. 1214/B)

addizionale 40b e l'espansione elettromagnetica addizionale 35b sono impiantate in un secondo occhio del paziente. Inoltre, l'espansione elettromagnetica 35 e l'espansione elettromagnetica addizionale 35b sono disposte in modo che le rispettive terze antenne di espansione 210 e 210b siano quanto più prossime possibile. L'unità esterna, qui indicata con 32b, può quindi comprendere un'antenna esterna addizionale 38b, da disporsi in prossimità del secondo occhio del paziente, e collegata anch'essa al trasmettitore 36.

In uso, il sistema elettronico di supporto alla vista 220 consente, tra l'altro, di scambiare dati tra l'unità stimolatrice 40 e l'unità stimolatrice addizionale 40b; a tal fine, esse comprendono, ciascuna, ricetrasmittitore interno, sebbene non mostrato in figura 23.

Si noti infine che in generale, in luogo del rivestimento protettivo 50, l'espansione elettromagnetica 35 può comprendere un supporto 230 di materiale dielettrico, uno strato conduttore 240, sovrastante il supporto 230, ed uno strato superiore 250 di materiale dielettrico. Sebbene non mostrato in dettaglio in figura 24, la prima e la seconda antenna di espansione 44, 46, nonché la rete elettrica 48 possono essere formate nello strato conduttore 240.

I vantaggi che la presente protesi retinica consente di ottenere emergono chiaramente dalla discussione precedente. In particolare, nel caso in cui l'unità

stimolatrice 40 si danneggia, non è necessario rimuovere dall'occhio anche l'espansione elettromagnetica 35, la quale rappresenta la porzione più voluminosa dell'unità interna 34. Inoltre, dal momento che l'espansione elettromagnetica 35 non è in contatto ohmico con l'unità stimolatrice 40, risulta tecnologicamente più semplice realizzare l'involucro ermetico 188, dal quale fuoriescono solamente gli elettrodi. In tal modo, si ottimizza la prevenzione nei confronti di possibili cortocircuiti accidentali in corrispondenza della stessa unità stimolatrice 40, dovuti alla presenza di liquidi biologici potenzialmente conduttivi.

Risulta infine evidente che alla protesi retinica descritta possono essere apportate modifiche e varianti, senza uscire dall'ambito della presente invenzione.

Ad esempio, l'espansione elettromagnetica 35 può presentare dei dispositivi di fissaggio alle pareti interne del bulbo oculare ulteriori o alternativi rispetto al primo ed al secondo braccio 202a, 202b. Inoltre, il numero e la forma dei bracci descritti non sono limitativi.

In aggiunta, la prima, la seconda e la terza (se presente) antenna di espansione 44, 46, 210 possono essere di tipo differente rispetto a quanto descritto. Ad esempio, una o più di esse possono essere antenne ad elica.

Similmente, anche l'antenna locale 114 può essere differente rispetto a quanto mostrato; ad esempio, anch'essa può essere un'antenna ad elica.

Circa la disposizione dell'unità stimolatrice 40 rispetto all'espansione elettromagnetica 35, essa può essere differente rispetto a quanto mostrato o descritto. Ad esempio, anche nel caso di protesi di tipo epiretinico, l'unità stimolatrice 40 può essere disposta all'esterno della porzione di spazio S_2 .

Per quanto concerne, invece, il primo ed il secondo asse di rotazione A_1 , A_2 , essi possono non coincidere con gli assi delle spire della prima e della seconda antenna di espansione 44, 46.

Infine, è possibile impiantare all'interno di un medesimo occhio più espansioni elettromagnetiche, ciascuna di esse potendo essere ottimizzata per funzionare, ad esempio, in una rispettiva banda di frequenza. Ad esempio, all'interno di un medesimo occhio possono essere presenti un'espansione elettromagnetica principale ed un'espansione elettromagnetica secondaria, le quali possono essere fisicamente indipendenti, oppure possono condividere un'antenna. Inoltre, le antenne di espansione e la rete elettrica dell'espansione elettromagnetica principale possono essere realizzate su una prima faccia di un generico supporto, mentre le antenne di espansione e la rete elettrica dell'espansione elettromagnetica secondaria possono essere realizzate su una seconda faccia del generico supporto.

RIVENDICAZIONI

1. Protesi retinica comprendente una unità elettronica di stimolo (40) configurata per essere alloggiata all'interno di un occhio ed includente:

- una pluralità di elettrodi (62) configurati per contattare una porzione di una retina dell'occhio;

- un circuito elettronico di controllo (92,102) collegato elettricamente a detti elettrodi e configurato per fornire agli elettrodi segnali elettrici di stimolo atti a stimolare detta porzione di retina; e

- un'antenna locale (114) collegata al circuito elettronico di controllo;

caratterizzata dal fatto di comprendere inoltre un'espansione elettromagnetica (35) configurata per essere alloggiata all'interno dell'occhio e formata da una prima ed una seconda antenna di espansione (44,46) collegate elettricamente, la prima antenna di espansione essendo configurata per accoppiarsi magneticamente o elettromagneticamente ad una antenna esterna (38), la seconda antenna di espansione essendo configurata per accoppiarsi magneticamente o elettromagneticamente a detta antenna locale, l'espansione elettromagnetica essendo inoltre configurata per ricevere un segnale elettromagnetico di alimentazione trasmesso da detta antenna esterna e generare un corrispondente segnale di

replica.

2. Protesi retinica secondo la rivendicazione 1, in cui il circuito elettronico di controllo (92,102) comprende uno stadio di alimentazione (120) collegato all'antenna locale (114) e configurato per generare, in seguito alla ricezione del segnale di replica, un segnale convertito atto ad alimentare il circuito elettronico di controllo (92,102).

3. Protesi retinica secondo la rivendicazione 2, in cui detto stadio di alimentazione comprende un convertitore AC/DC (120).

4. Protesi retinica secondo una qualsiasi delle rivendicazioni precedenti, in cui l'espansione elettromagnetica (35) è configurata per risuonare in seguito alla ricezione del segnale elettromagnetico di alimentazione.

5. Protesi retinica secondo una qualsiasi delle rivendicazioni precedenti, in cui l'espansione elettromagnetica (35) comprende inoltre una rete elettrica (48) includente almeno uno tra: un elemento reattivo (48d) ed una rete di adattamento (48c) configurata per adattare le impedenze della prima e della seconda antenna di espansione (44,46).

6. Protesi retinica secondo una qualsiasi delle rivendicazioni precedenti, in cui l'espansione

elettromagnetica (35) comprende almeno un braccio (202a) incernierato alla seconda antenna di espansione (46) attorno ad un primo asse di rotazione (A_1).

7. Protesi retinica secondo la rivendicazione 6, in cui l'espansione elettromagnetica (35) è elasticamente spostabile tra uno stato di riposo, in cui il braccio (202a) è diritto, ed uno stato operativo, in cui il braccio sostanzialmente assume, almeno localmente, un raggio di curvatura di una parete interna dell'occhio.

8. Protesi retinica secondo la rivendicazione 6, in cui il braccio (202a,202b) è inoltre incernierato alla prima antenna di espansione (44) attorno ad un secondo asse di rotazione (A_2), e l'espansione elettromagnetica (35) è elasticamente spostabile tra uno stato di riposo, in cui il primo ed il secondo asse di rotazione sono distinti, ed uno stato operativo in cui il primo ed il secondo asse di rotazione sono coincidenti.

9. Protesi retinica secondo una qualsiasi delle rivendicazioni precedenti, in cui l'unità elettronica di stimolo (40) comprende una regione dielettrica (110), una prima regione di connessione (76) ospitante prime linee di connessione conduttrici (78), ed un primo corpo (74) di materiale semiconduttore, il primo corpo essendo interposto tra, ed in contatto diretto con, la regione dielettrica e la prima regione di connessione, il circuito elettronico di

controllo (92) essendo formato almeno in parte all'interno del primo corpo; e in cui l'antenna locale (114) è alloggiata all'interno della regione dielettrica ed è collegata al circuito elettronico di controllo mediante le prime linee di connessione conduttrici e mediante una coppia di elementi conduttori (94a,94b) estendentisi attraverso il primo corpo.

10. Protesi retinica secondo una qualsiasi delle rivendicazioni da 1 a 8, in cui l'unità elettronica di stimolo (40) comprende una prima regione di connessione (76) ospitante prime linee di connessione conduttrici (78), ed un primo corpo (74) di materiale semiconduttore contiguo alla prima regione di connessione, il circuito elettronico di controllo (92) essendo formato almeno in parte all'interno del primo corpo; e in cui l'antenna locale (114) è alloggiata all'interno della prima regione di connessione ed è collegata al circuito elettronico di controllo (92) mediante le prime linee di connessione conduttrici.

11. Protesi retinica secondo una qualsiasi delle rivendicazioni da 1 a 8, in cui l'unità elettronica di stimolo (40) comprende un primo ed un secondo circuito integrato (70,72), il primo circuito integrato comprendendo un primo corpo (74) di materiale semiconduttore, una prima regione di connessione (76) contigua al primo corpo ed

ospitante prime linee di connessione conduttrici (78), ed una regione di passivazione (82) contigua alla prima regione di connessione; il secondo circuito integrato comprendendo un secondo corpo (98) di materiale semiconduttore ed una seconda regione di connessione (100) contigua al secondo corpo ed ospitante seconde linee di connessione conduttrici (106), il primo ed il secondo circuito integrato essendo connessi mediante interposizione di una regione isolante (80) contigua al primo corpo ed alla seconda regione di connessione; l'unità elettronica di stimolo (40) comprendendo inoltre una regione dielettrica (110) contigua alla regione di passivazione; e in cui il circuito elettronico di controllo comprende un prima circuiteria elettronica (92), formata almeno in parte all'interno del primo corpo, ed una seconda circuiteria elettronica (102), formata almeno in parte all'interno del secondo corpo, la prima e la seconda circuiteria elettronica essendo collegate elettricamente mediante almeno una via metallica (94) estendentesi attraverso il primo corpo e la regione isolante; e in cui l'antenna locale (114) è alloggiata all'interno della regione dielettrica (110) ed è collegata elettricamente alla prima circuiteria elettronica.

12. Protesi retinica secondo una qualsiasi delle rivendicazioni da 1 a 8, in cui l'unità elettronica di

stimolo (40) comprende un primo ed un secondo circuito integrato (70,72), il primo circuito integrato comprendendo un primo corpo (74) di materiale semiconduttore, una prima regione di connessione (76) contigua al primo corpo ed ospitante prime linee di connessione conduttrici (78), ed una regione di passivazione (82) contigua alla prima regione di connessione; il secondo circuito integrato comprendendo un secondo corpo (98) di materiale semiconduttore ed una seconda regione di connessione (100) contigua al secondo corpo ed ospitante seconde linee di connessione conduttrici (106), il primo ed il secondo circuito integrato essendo connessi mediante interposizione di una regione isolante (80), contigua al primo corpo ed alla seconda regione di connessione; e in cui il circuito elettronico di controllo comprende un prima circuiteria elettronica (92), formata almeno in parte all'interno del primo corpo, ed una seconda circuiteria elettronica (102), formata almeno in parte all'interno del secondo corpo, la prima e la seconda circuiteria elettronica essendo collegate elettricamente mediante almeno una via metallica (94) estendentesi attraverso il primo corpo e la regione isolante; e in cui l'antenna locale (114) è alloggiata all'interno della prima regione di connessione ed è collegata elettricamente alla prima circuiteria elettronica.

13. Protesi retinica secondo una qualsiasi delle rivendicazioni precedenti, in cui l'unità elettronica di stimolo (40) comprende inoltre uno strato di materiale polimerico (160), gli elettrodi (62) essendo formati parzialmente all'interno dello strato di materiale polimerico.

14. Protesi retinica secondo una qualsiasi delle rivendicazioni precedenti, in cui l'unità elettronica di stimolo (40) comprende inoltre un involucro (188) di materiale isolante, il quale racchiude il circuito elettronico di controllo (92,102) e l'antenna locale (114), gli elettrodi (62) estendendosi almeno in parte al di fuori dell'involucro.

15. Protesi retinica secondo una qualsiasi delle rivendicazioni precedenti, in cui l'unità elettronica di stimolo (40) comprende un magnete (190) configurato per vincolare l'unità elettronica di stimolo all'espansione elettromagnetica (35).

16. Protesi retinica secondo una qualsiasi delle rivendicazioni precedenti, comprendente un'unità esterna (32) includente detta antenna esterna (38), un ricetrasmittitore esterno (174) collegato all'antenna esterna, ed un dispositivo di acquisizione di immagini (176) collegato al ricetrasmittitore esterno (174); e in cui il circuito elettronico di controllo (92) comprende un

ricetrasmittitore interno (172), collegato all'antenna locale (114).

17. Protesi retinica secondo una qualsiasi delle rivendicazioni precedenti, in cui la prima e la seconda antenna di espansione (44,46) sono antenne a spira, ed in cui l'unità elettronica di stimolo (40) è circondata almeno in parte dalla seconda antenna di espansione.

p.i.: STMICROELECTRONICS S.R.L.

Lorenzo NANNUCCI

CLAIMS

1. A retinal prosthesis comprising an electronic stimulation unit (40), which is configured for being housed inside an eye
5 and includes:

- a plurality of electrodes (62), configured for contacting a portion of a retina of the eye;
- an electronic control circuit (92, 102), which is electrically connected to said electrodes and is configured
10 for supplying to the electrodes electrical stimulation signals designed to stimulate said portion of retina; and
- a local antenna (114) connected to the electronic control circuit;

characterized in that it further comprises an electromagnetic
15 expansion (35), which is configured for being housed inside the eye and is formed by a first expansion antenna (44) and a second expansion antenna (46) electrically connected together, the first expansion antenna being configured for being coupled magnetically or electromagnetically to an external antenna
20 (38), the second expansion antenna being configured for being coupled magnetically or electromagnetically to said local antenna, the electromagnetic expansion being further configured for receiving an electromagnetic supply signal transmitted by said external antenna and generating a
25 corresponding replica signal.

2. The retinal prosthesis according to claim 1, wherein the electronic control circuit (92, 102) comprises a supply stage (120) connected to the local antenna (114) and configured for
30 generating, following upon reception of the replica signal, a converted signal designed to supply the electronic control circuit (92, 102).

3. The retinal prosthesis according to claim 2, wherein said
35 supply stage comprises an AC/DC converter (120).

4. The retinal prosthesis according to any one of the preceding claims, wherein the electromagnetic expansion (35) is configured for resonating following upon reception of the electromagnetic supply signal.

5

5. The retinal prosthesis according to any one of the preceding claims, wherein the electromagnetic expansion (35) further comprises an electrical network (48) including at least one between a reactive element (48d) and a matching network (48c) configured for matching the impedances of the first and second expansion antennas (44, 46).

6. The retinal prosthesis according to any one of the preceding claims, wherein the electromagnetic expansion (35) comprises at least one arm (202a) hinged to the second expansion antenna (46) about a first axis of rotation (A_1).

7. The retinal prosthesis according to claim 6, wherein the electromagnetic expansion (35) is elastically displaceable between a resting state, where the arm (202a) is straight, and an operative state, where the arm substantially assumes, at least locally, a radius of curvature of an inner wall of the eye.

8. The retinal prosthesis according to claim 6, wherein the arm (202a, 202b) is moreover hinged to the first expansion antenna (44) about a second axis of rotation (A_2), and the electromagnetic expansion (35) is elastically displaceable between a resting state, in which the first and second axes of rotation are distinct, and an operative state, in which the first and second axes of rotation coincide.

9. The retinal prosthesis according to any one of the preceding claims, wherein the electronic stimulation unit (40) comprises a dielectric region (110), a first connection region (76) housing first conductive connection lines (78), and a

first body (74) of semiconductor material, the first body being arranged between, and in direct contact with, the dielectric region and the first connection region, the electronic control circuit (92) being formed at least in part inside the first body; and wherein the local antenna (114) is housed inside the dielectric region and is connected to the electronic control circuit by means of the first conductive connection lines and by means of a pair of conductive elements (94a, 94b) that extend through the first body.

10

10. The retinal prosthesis according to any one of claims 1 to 8, wherein the electronic stimulation unit (40) comprises a first connection region (76) housing first conductive connection lines (78), and a first body (74) of semiconductor material contiguous to the first connection region, the electronic control circuit (92) being formed at least in part inside the first body; and wherein the local antenna (114) is housed inside the first connection region and is connected to the electronic control circuit (92) by means of the first conductive connection lines.

20

11. The retinal prosthesis according to any one of claims 1 to 8, wherein the electronic stimulation unit (40) comprises a first integrated circuit (70) and a second integrated circuit (72), the first integrated circuit comprising a first body (74) of semiconductor material, a first connection region (76), which is contiguous to the first body and houses first conductive connection lines (78), and a passivation region (82), which is contiguous to the first connection region; the second integrated circuit comprising a second body (98) of semiconductor material and a second connection region (100), which is contiguous to the second body and houses second conductive connection lines (106), the first and second integrated circuits being connected by interposition of an insulating region (80) contiguous to the first body and to the second connection region; the electronic stimulation unit (40)

30

35

further comprising a dielectric region (110) contiguous to the passivation region; and wherein the electronic control circuit comprises a first electronic circuitry (92), formed at least in part inside the first body, and a second electronic circuitry (102), formed at least in part inside the second body, the first and second electronic circuitries being electrically connected by means of at least one metal via (94), which extends through the first body and the insulating region; and wherein the local antenna (114) is housed inside the dielectric region (110) and is electrically connected to the first electronic circuitry.

12. The retinal prosthesis according to any one of claims 1 to 8, wherein the electronic stimulation unit (40) comprises a first integrated circuit (70) and a second integrated circuit (72), the first integrated circuit comprising a first body (74) of semiconductor material, a first connection region (76) contiguous to the first body and housing first conductive connection lines (78), and a passivation region (82) contiguous to the first connection region; the second integrated circuit comprising a second body (98) of semiconductor material and a second connection region (100), which is contiguous to the second body and houses second conductive connection lines (106), the first and second integrated circuits being connected by interposition of an insulating region (80), contiguous to the first body and to the second connection region; and wherein the electronic control circuit comprises a first electronic circuitry (92), formed at least in part inside the first body, and a second electronic circuitry (102), formed at least in part inside the second body, the first and second electronic circuitries being electrically connected by means of at least one metal via (94) extending through the first body and the insulating region; and wherein the local antenna (114) is housed inside the first connection region and is electrically connected to the first electronic circuitry.

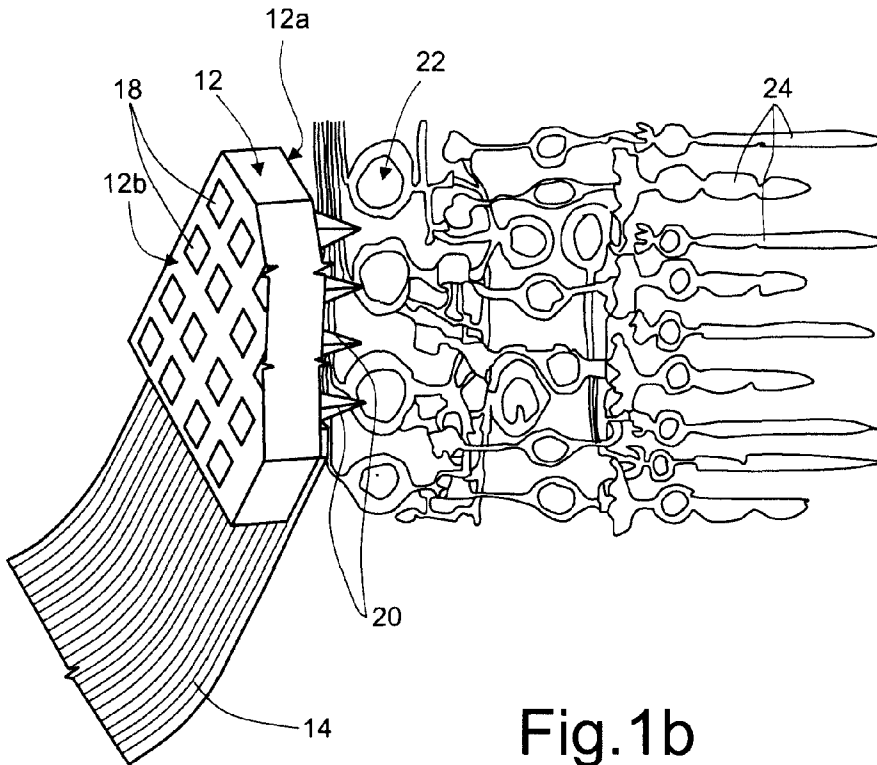
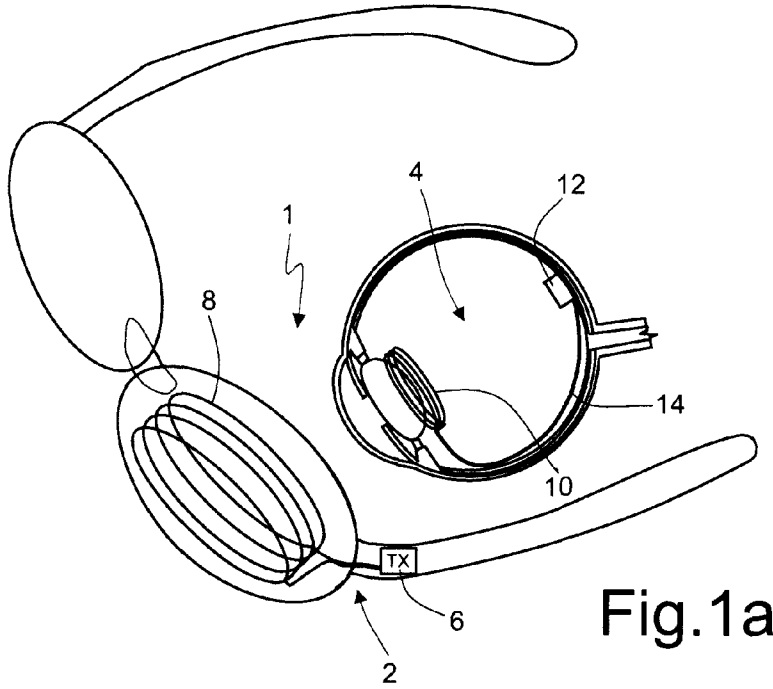
13. The retinal prosthesis according to any one of the preceding claims, wherein the electronic stimulation unit (40) further comprises a layer of polymeric material (160), the electrodes (62) being formed partially within the layer of polymeric material.

14. The retinal prosthesis according to any one of the preceding claims, wherein the electronic stimulation unit (40) further comprises a package (188) of insulating material, which encloses the electronic control circuit (92, 102) and the local antenna (114), the electrodes (62) extending at least in part outside the package.

15. The retinal prosthesis according to any one of the preceding claims, wherein the electronic stimulation unit (40) comprises a magnet (190) configured for constraining the electronic stimulation unit to the electromagnetic expansion (35).

16. The retinal prosthesis according to any one of the preceding claims, comprising an external unit (32) including said external antenna (38), an external transceiver (174) connected to the external antenna, and an image-acquisition device (176) connected to the external transceiver (174); and wherein the electronic control circuit (92) comprises an internal transceiver (172), connected to the local antenna (114).

17. The retinal prosthesis according to any one of the preceding claims, wherein the first and second expansion antennas (44, 46) are spiral antennas, and wherein the electronic stimulation unit (40) is surrounded at least in part by the second expansion antenna.



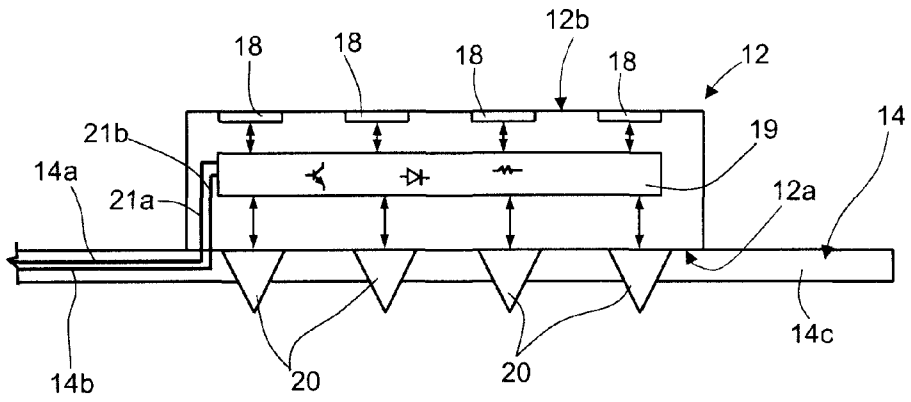


Fig.2

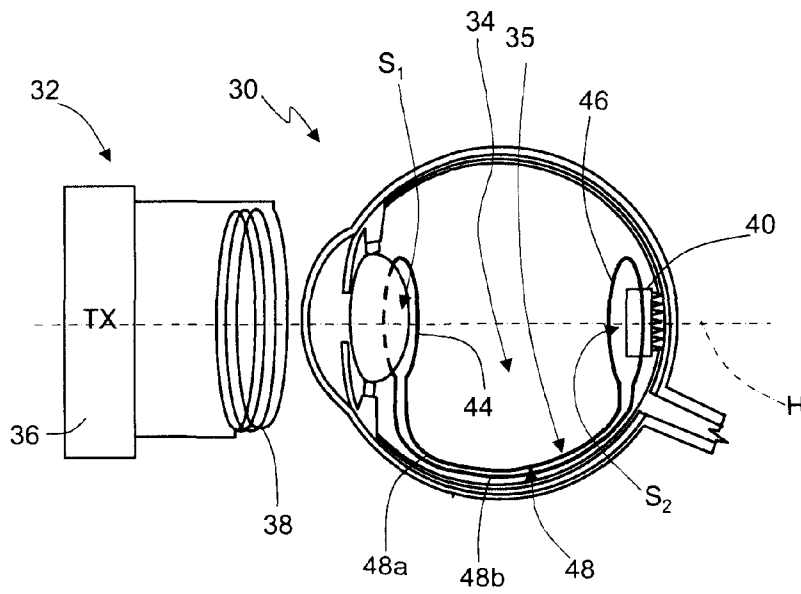


Fig.3

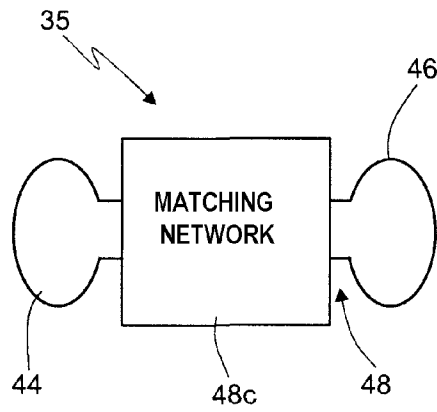


Fig.4a

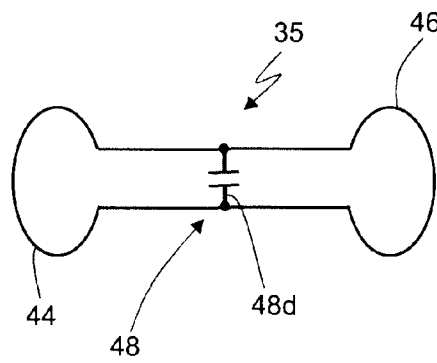


Fig.4b

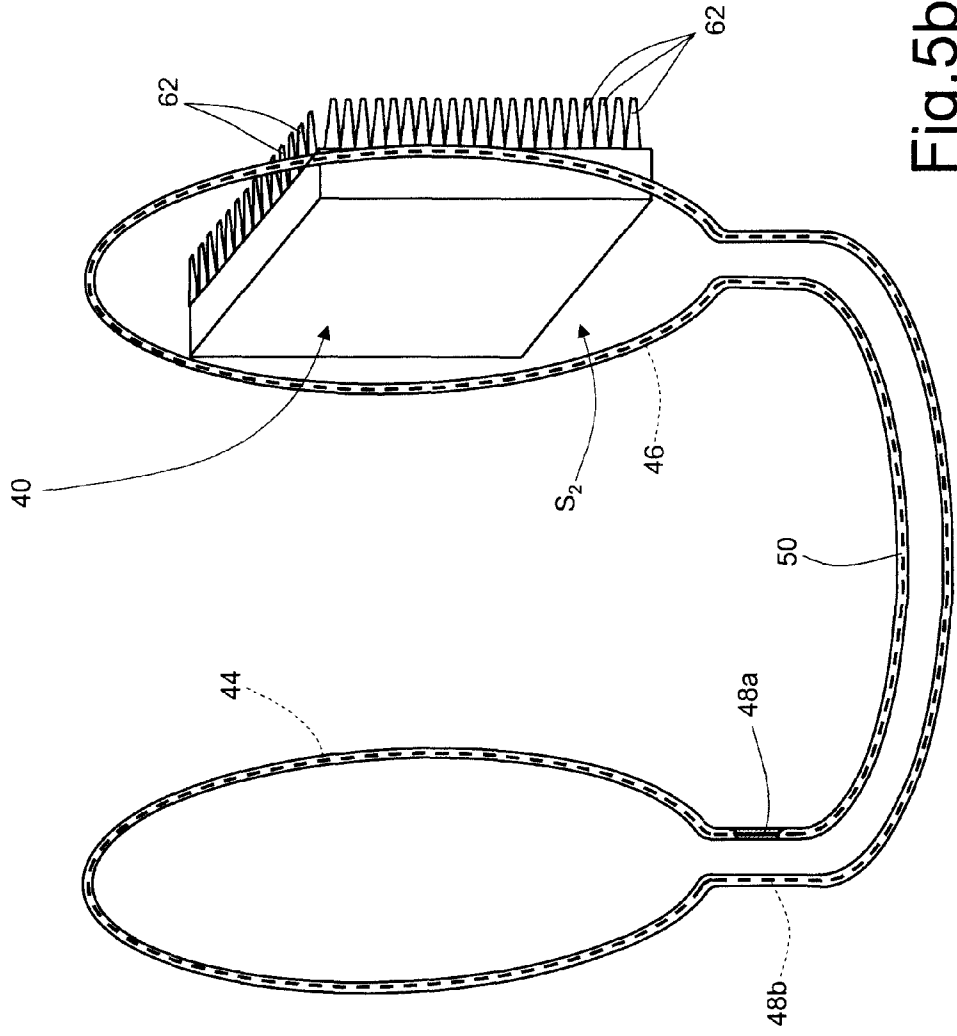


Fig. 5b

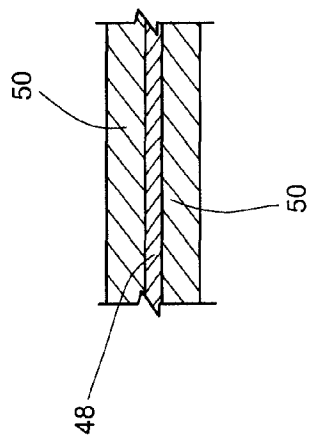


Fig. 5a

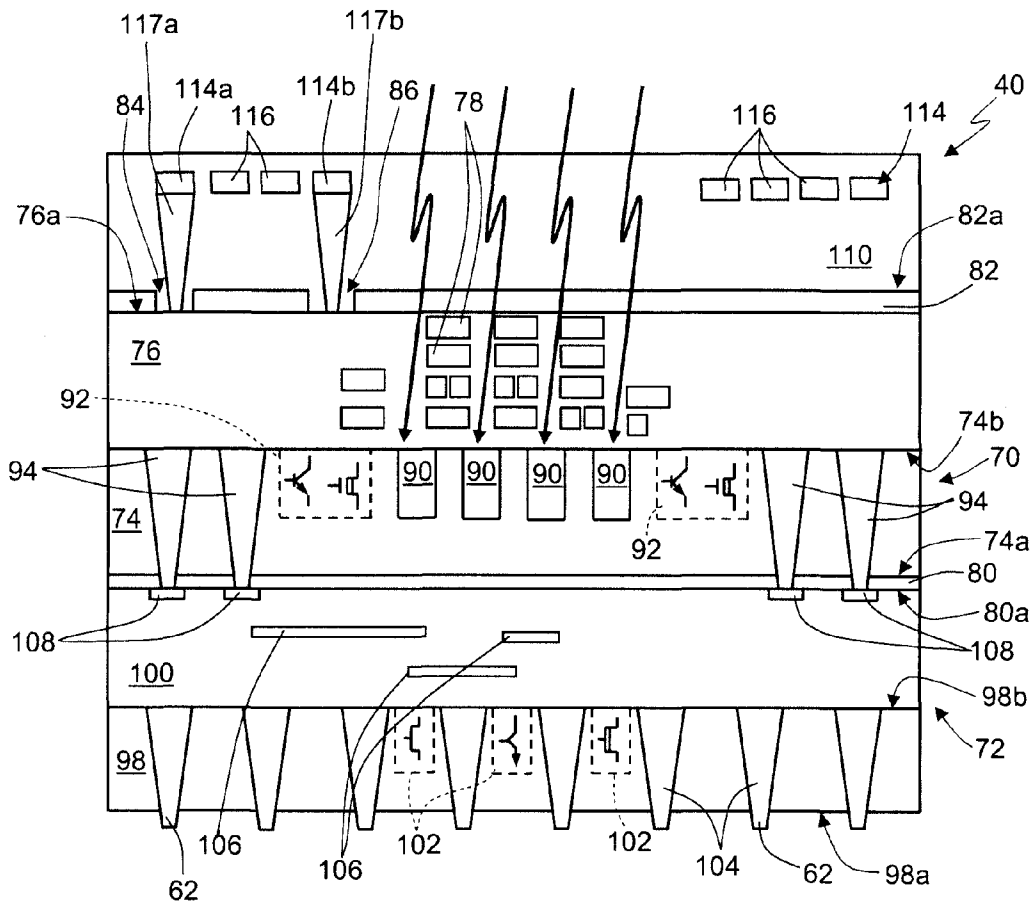


Fig.6

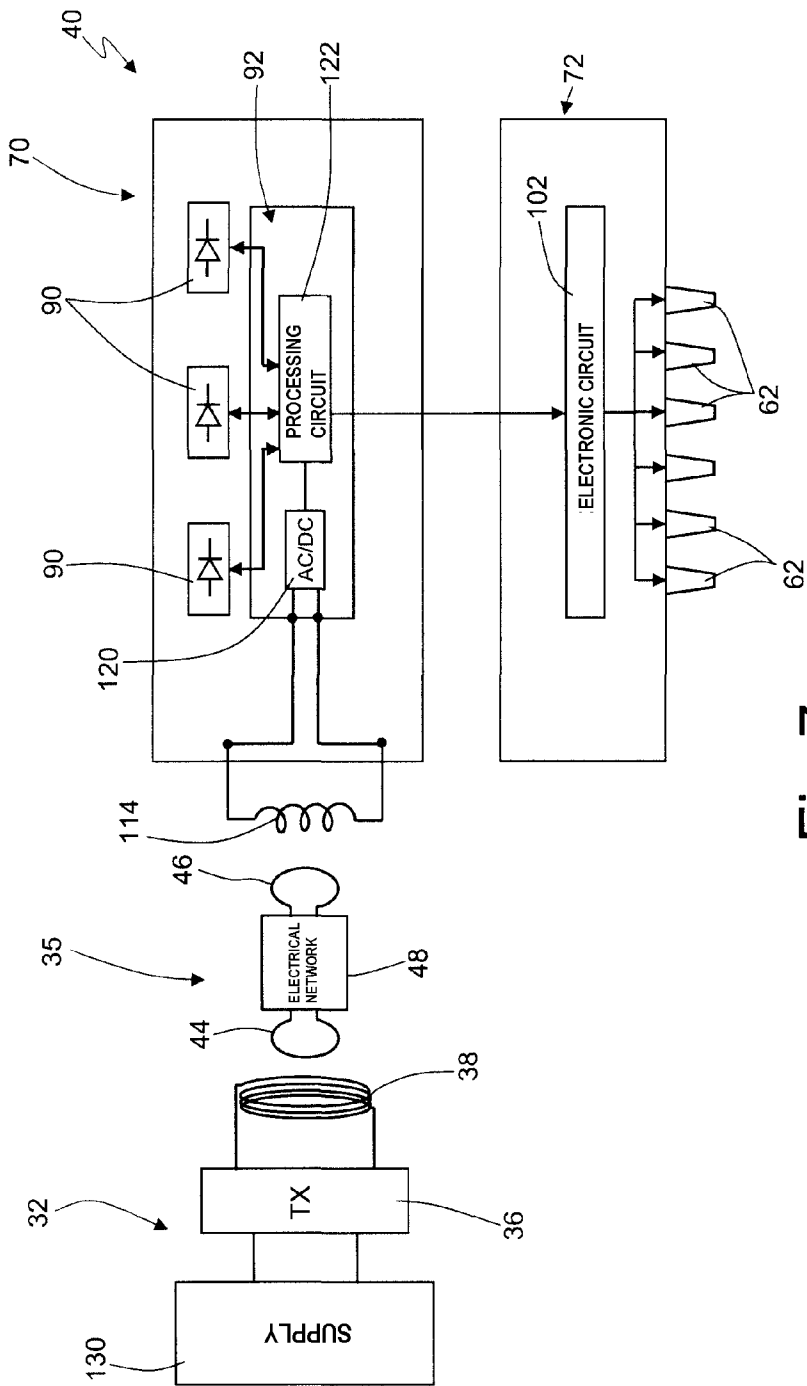


Fig.7

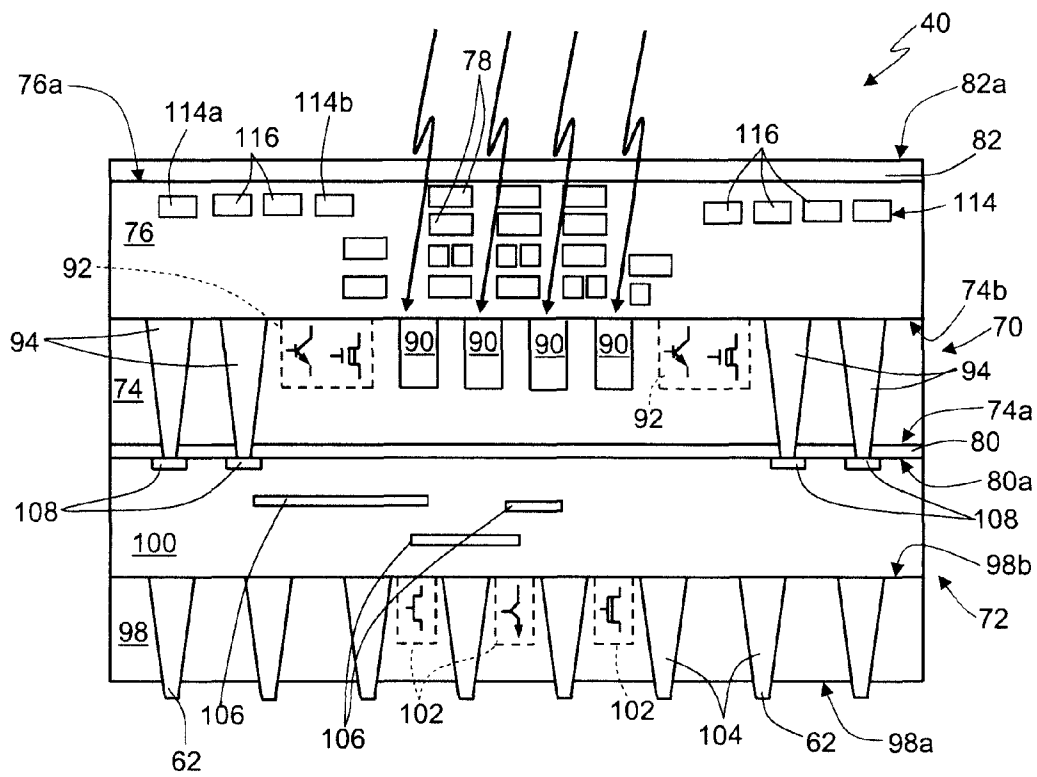


Fig. 8

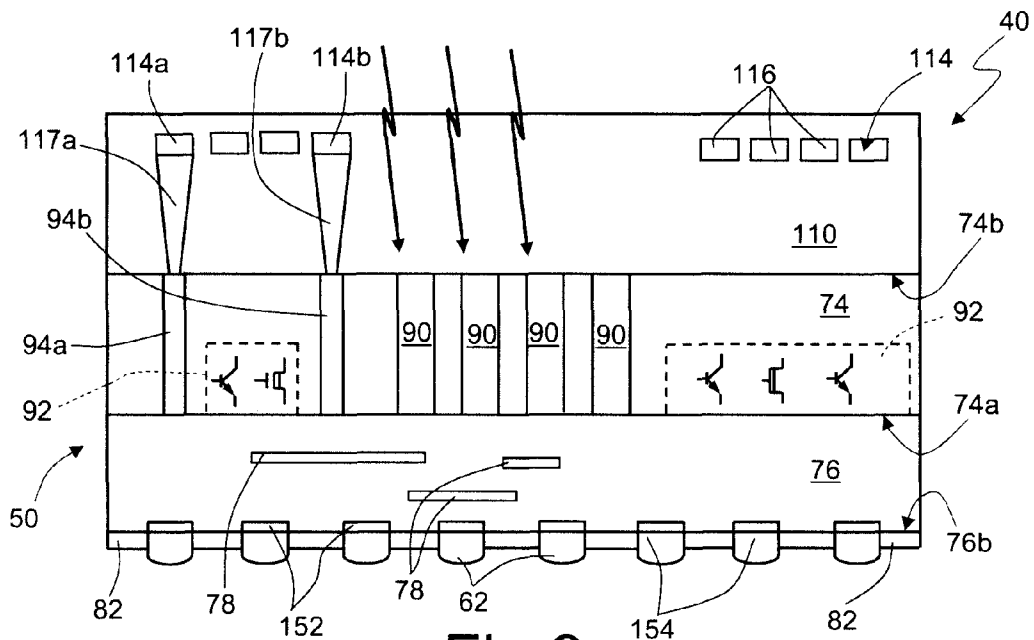


Fig. 9

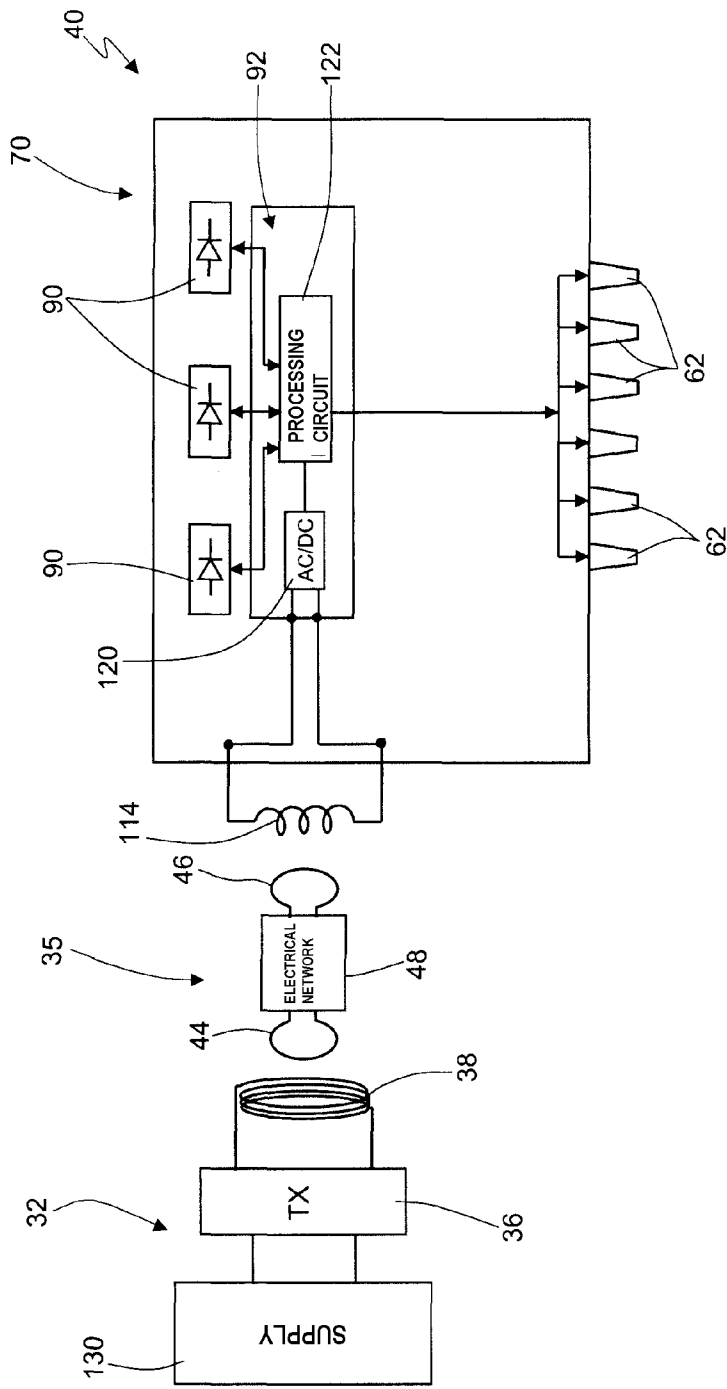


Fig.10

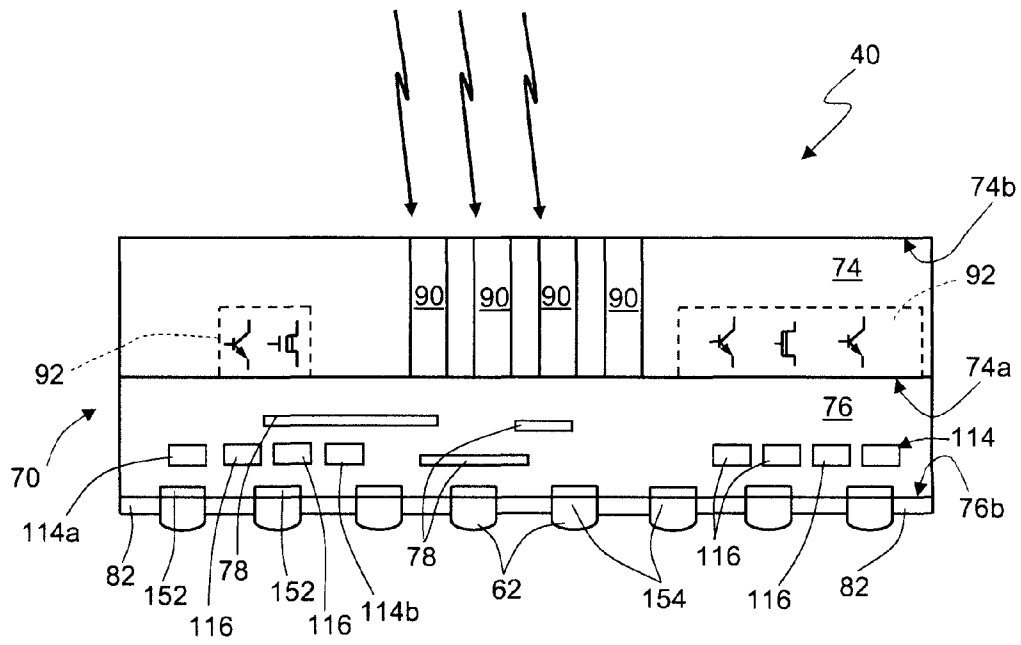


Fig.11

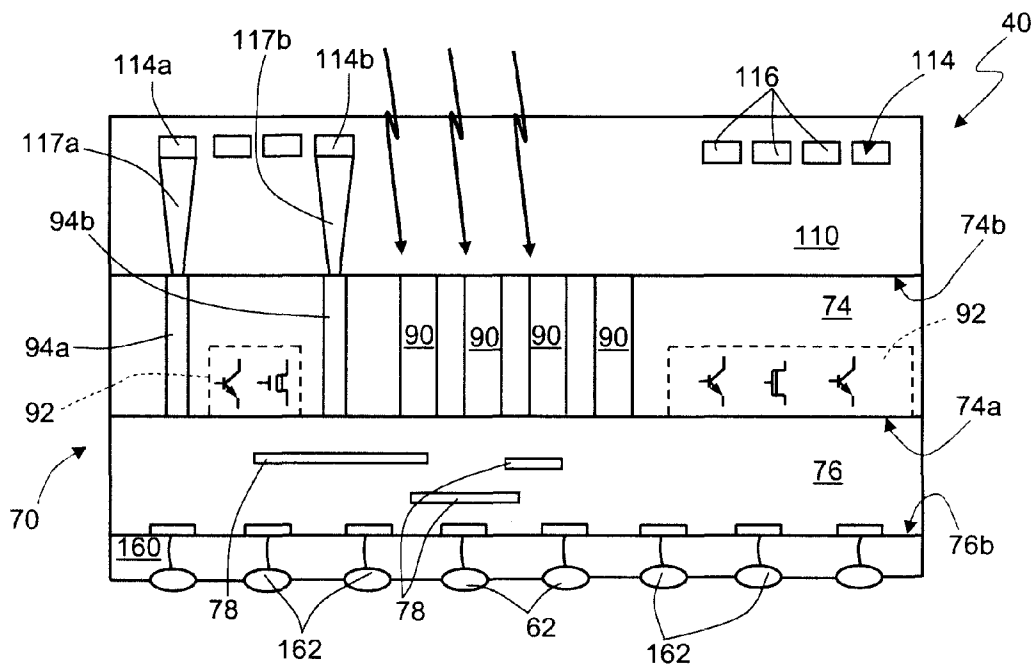


Fig.12

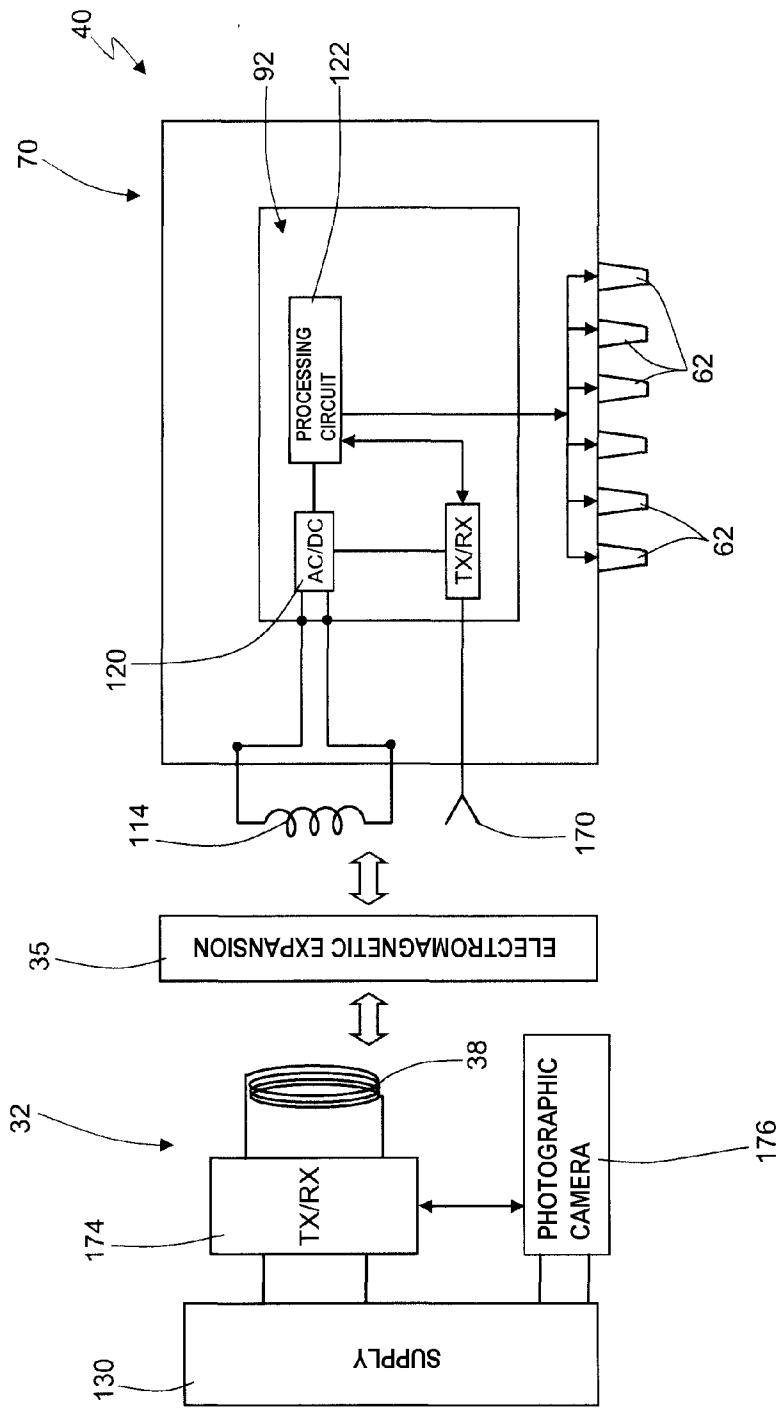


Fig.13

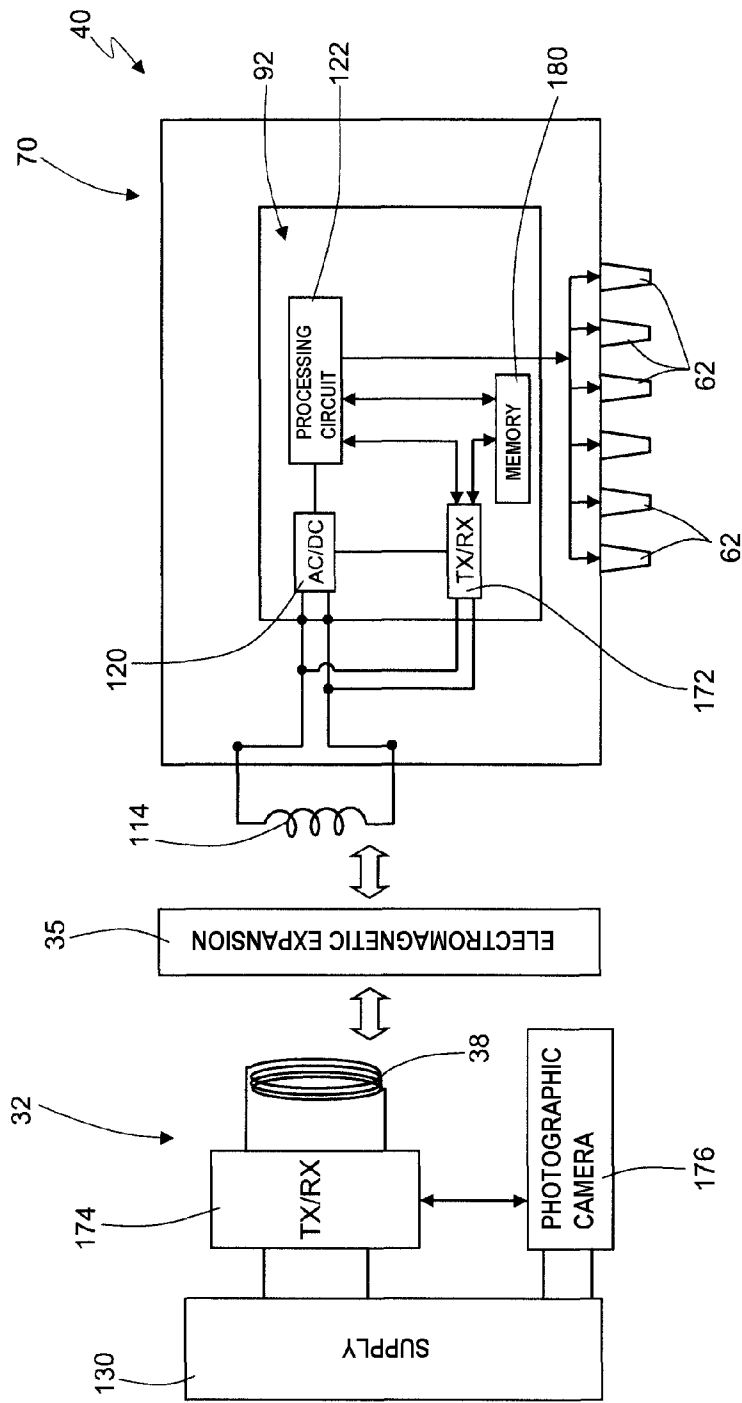


Fig.14

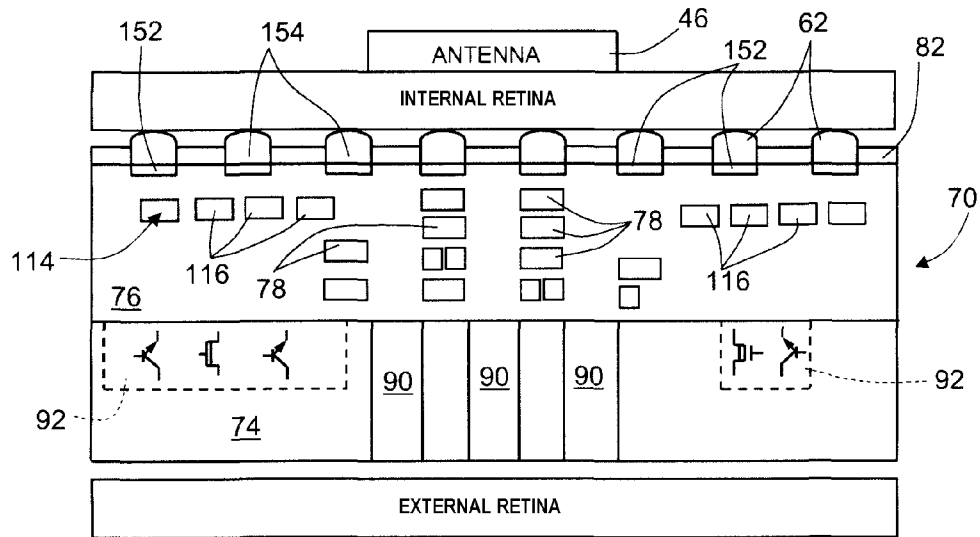


Fig.15

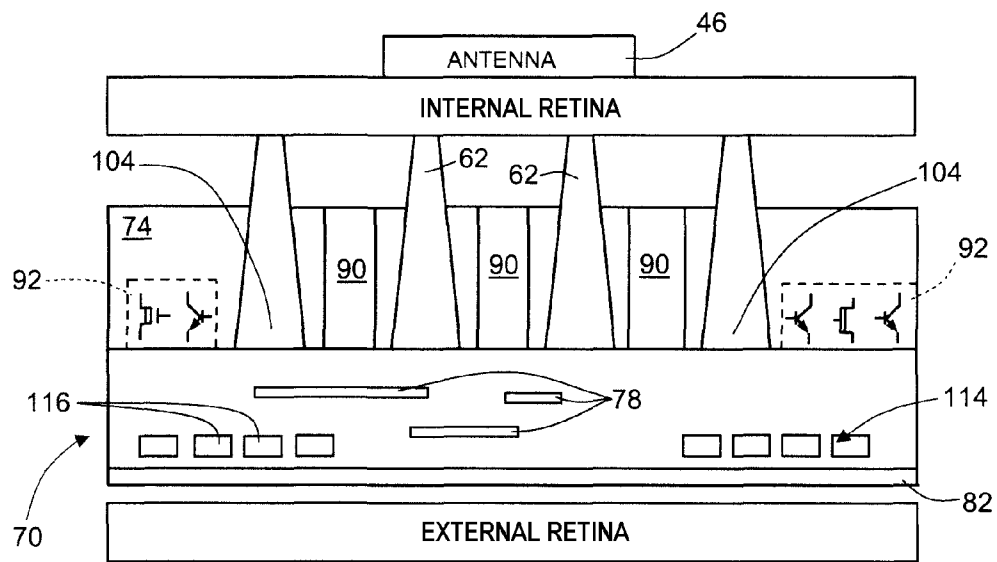


Fig.16

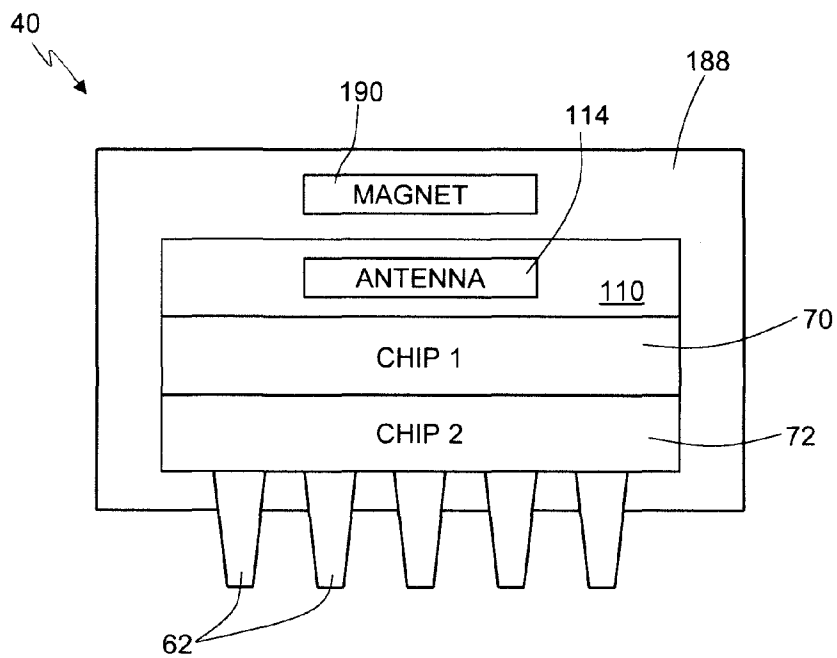


Fig.17

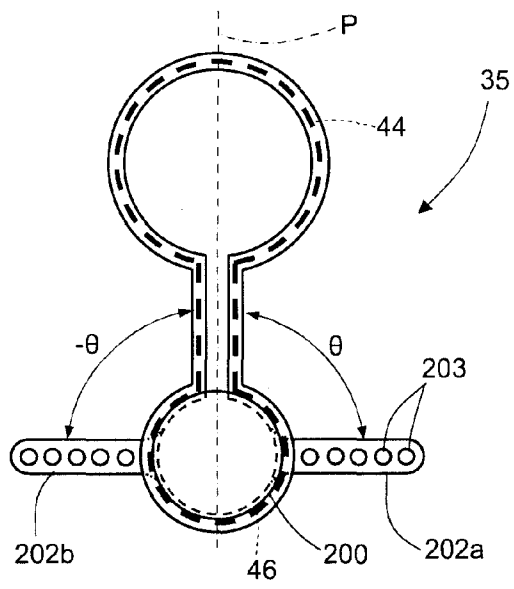


Fig.18a

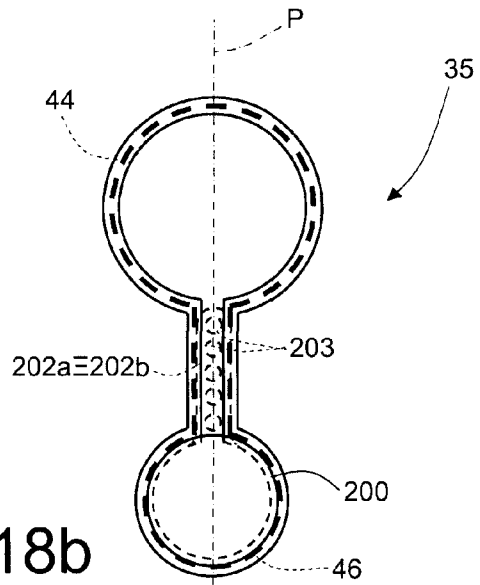


Fig.18b

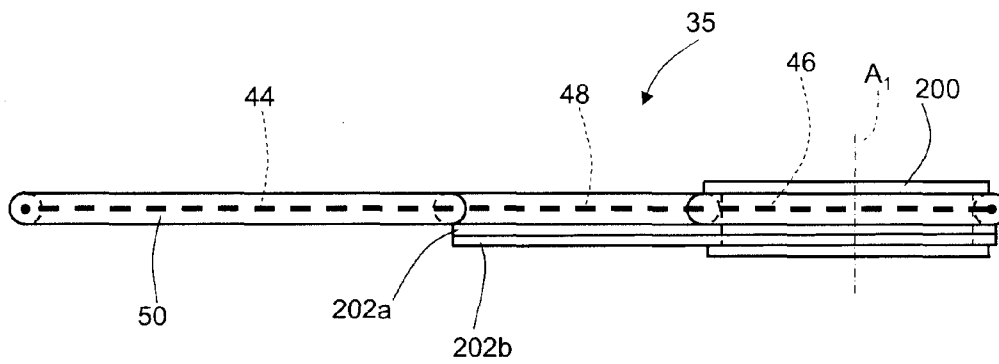


Fig.18c

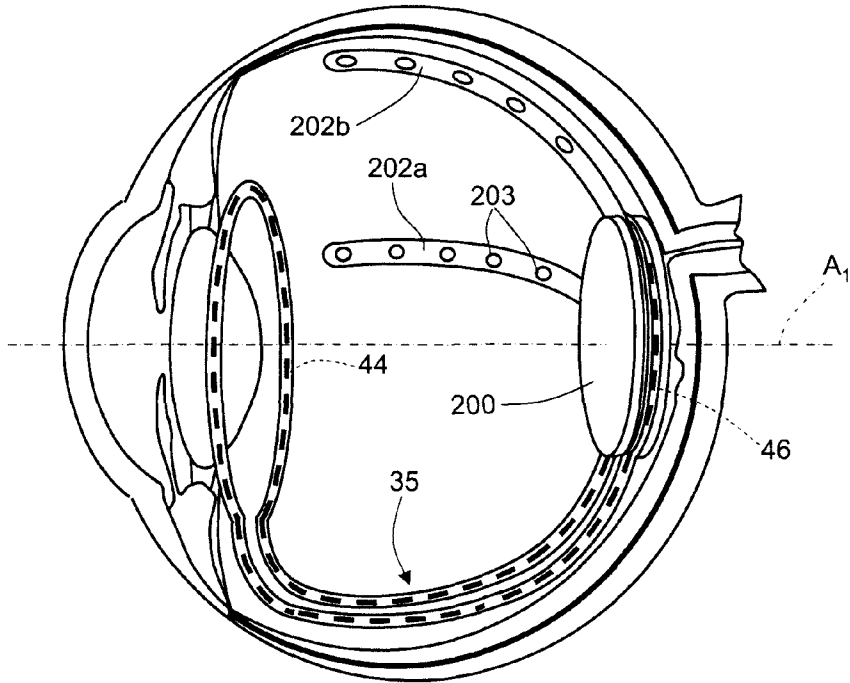


Fig.19

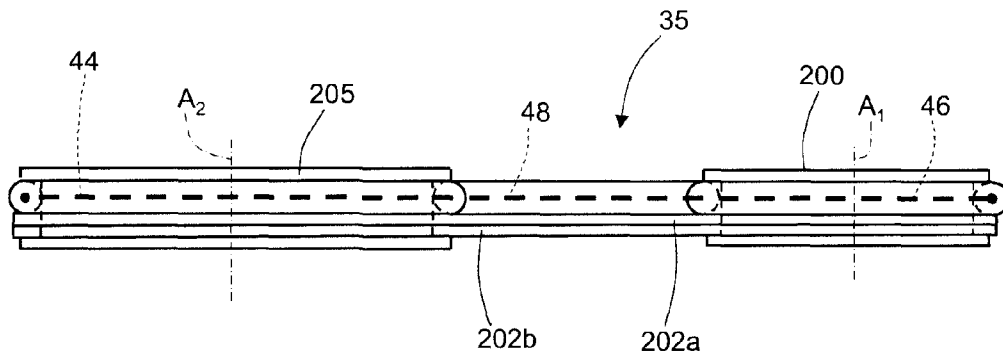


Fig.20

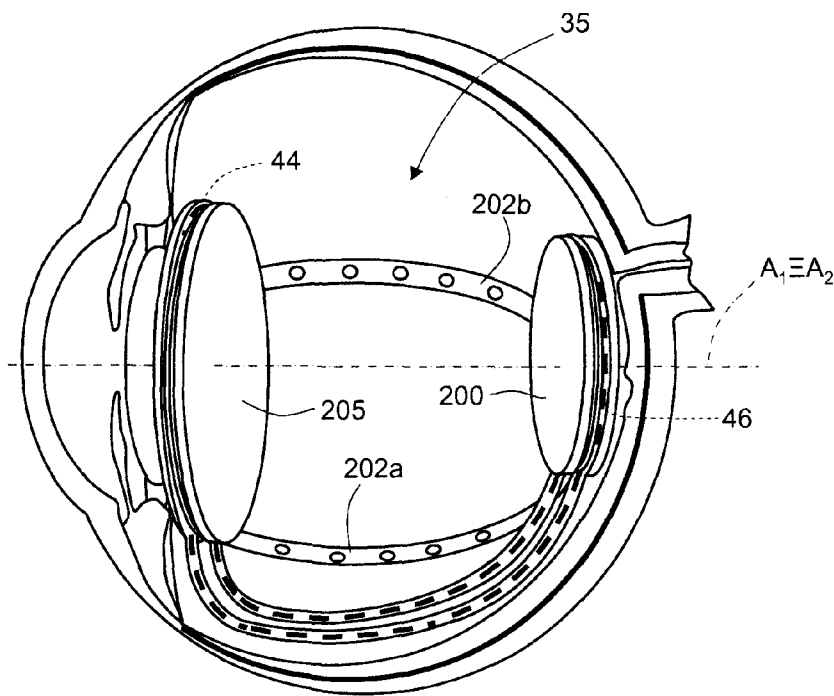


Fig.21

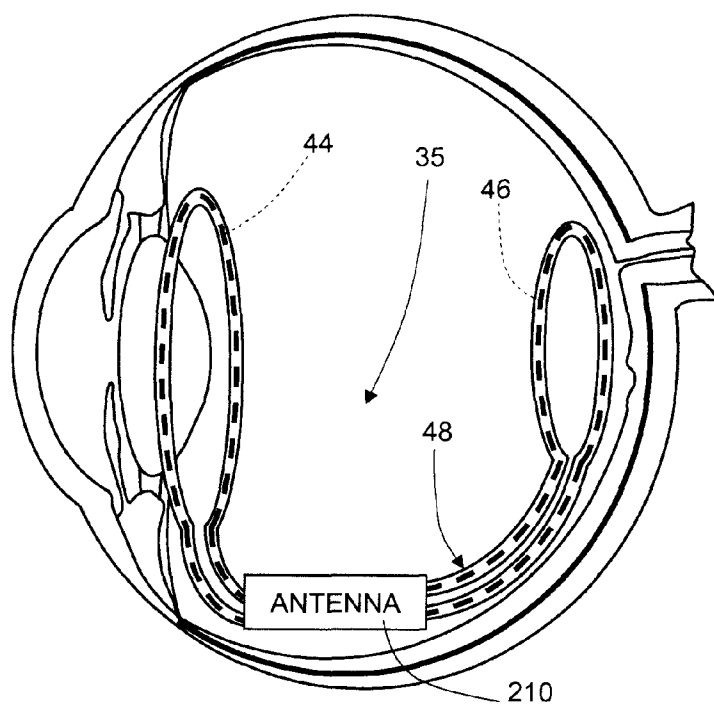


Fig.22

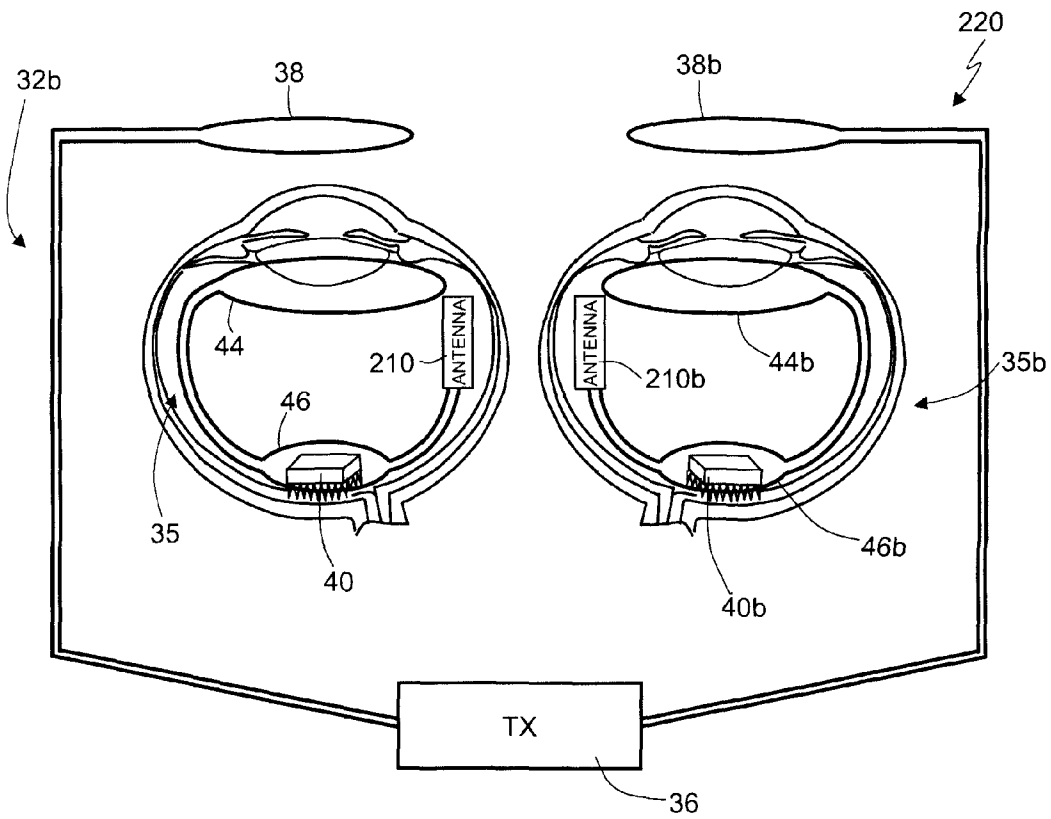


Fig.23

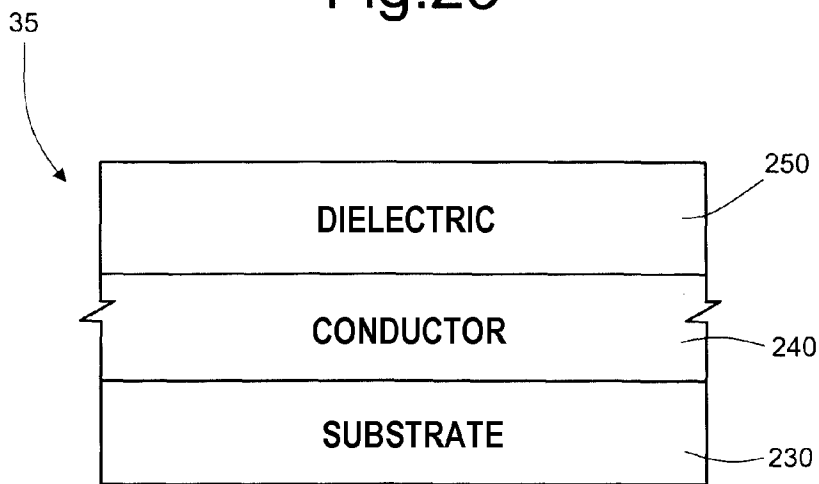


Fig.24