

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 公開特許公報(A)

(11) 特許出願公開番号

特開2013-218326  
(P2013-218326A)

(43) 公開日 平成25年10月24日(2013.10.24)

(51) Int. Cl.	F I	テーマコード (参考)
<b>G02C 7/04 (2006.01)</b>	G02C 7/04	2H006
<b>G02C 7/06 (2006.01)</b>	G02C 7/06	2H141
<b>G02C 11/00 (2006.01)</b>	G02C 11/00	4C097
<b>G02B 3/14 (2006.01)</b>	G02B 3/14	
<b>A61F 2/16 (2006.01)</b>	A61F 2/16	

審査請求 未請求 請求項の数 24 O L 外国語出願 (全 23 頁) 最終頁に続く

(21) 出願番号 特願2013-76696 (P2013-76696)  
 (22) 出願日 平成25年4月2日(2013.4.2)  
 (31) 優先権主張番号 61/619, 524  
 (32) 優先日 平成24年4月3日(2012.4.3)  
 (33) 優先権主張国 米国 (US)  
 (31) 優先権主張番号 13/798, 295  
 (32) 優先日 平成25年3月13日(2013.3.13)  
 (33) 優先権主張国 米国 (US)

(71) 出願人 591175675  
 ジョンソン・アンド・ジョンソン・ビジョ  
 ン・ケア・インコーポレイテッド  
 アメリカ合衆国、32256 フロリダ州  
 、ジャクソンビル、センチュリオン・パー  
 クウェイ 7500、スイート 100  
 (74) 代理人 100088605  
 弁理士 加藤 公延  
 (74) 代理人 100130384  
 弁理士 大島 孝文  
 (72) 発明者 アダム・トナー  
 アメリカ合衆国、32259 フロリダ州  
 、ジャクソンビル、ダブリュ・ドーチェス  
 ター・ドライブ 1024

最終頁に続く

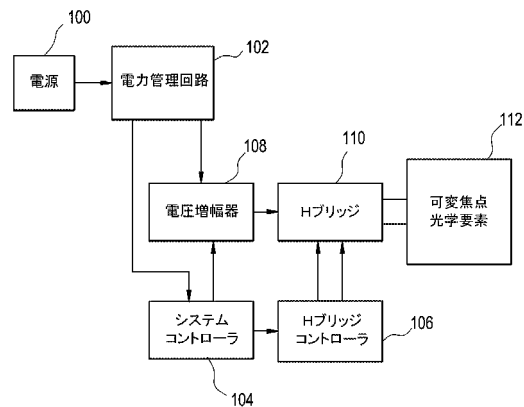
(54) 【発明の名称】 可変光学電子眼科用レンズのレンズ駆動機構

(57) 【要約】

【課題】 可変焦点光学要素を作動する電子システムを有する眼科用器具のレンズ駆動機構又はレンズ駆動回路を提供する。

【解決手段】 レンズ駆動機構は、眼科用器具に組み込まれた電子システムの一部である。電子システムは、1又は2以上の電池又は他の電源、電力管理回路、1又は2以上のセンサ、クロック生成回路、制御アルゴリズム及び回路、並びにレンズ駆動回路を含む。レンズ駆動回路は、1又は2以上の電源、1又は2以上の高電圧発生器、及び1又は2以上のスイッチ回路を有する。

【選択図】 図1



**【特許請求の範囲】****【請求項 1】**

眼内又は眼上の少なくとも一方において使用されるように構成された眼科用装置と、前記眼科用装置に組み込まれる電子システムであって、制御システム、少なくとも 1 個のレンズアクチュエータ、及び 1 又は 2 以上の電源を含む電力システムを有し、低消費電力に適應するように構成された、電子システムと、

前記眼科用装置に組み込まれる、視力補正及び視力向上の少なくとも一方を行うように構成可能な、電子制御される焦点長を有する光学要素であって、前記電子システムと機能的に関連付けられた、光学要素と、を有する、眼科用器具。

**【請求項 2】**

前記眼科用装置がコンタクトレンズを備える、請求項 1 に記載の眼科用器具。

**【請求項 3】**

前記コンタクトレンズがソフトコンタクトレンズを備える、請求項 2 に記載の眼科用器具。

**【請求項 4】**

前記コンタクトレンズがハイブリッドソフト/ハードコンタクトレンズを備える、請求項 2 に記載の眼科用器具。

**【請求項 5】**

前記眼科用装置が眼内レンズを備える、請求項 1 に記載の眼科用器具。

**【請求項 6】**

前記少なくとも 1 個のレンズアクチュエータが少なくとも 1 個の高電圧発生器を備える、請求項 1 に記載の眼科用器具。

**【請求項 7】**

前記少なくとも 1 個の高電圧発生器がチャージポンプを備える、請求項 6 に記載の眼科用器具。

**【請求項 8】**

前記少なくとも 1 個の高電圧発生器が、前記光学要素に直流バイアスを与えるように構成されている、請求項 6 に記載の眼科用器具。

**【請求項 9】**

前記少なくとも 1 個の高電圧発生器がオープンループモードで動作するように構成されている、請求項 6 に記載の眼科用器具。

**【請求項 10】**

前記少なくとも 1 個の高電圧発生器がクローズドループフィードバック制御システムを備える、請求項 6 に記載の眼科用器具。

**【請求項 11】**

前記光学要素が 2 つの焦点長の一方で動作し、前記レンズアクチュエータが対応するオン及びオフ状態で動作する、請求項 1 に記載の眼科用器具。

**【請求項 12】**

前記光学要素が 3 つ以上の焦点長で動作し、前記少なくとも 1 個のレンズアクチュエータが対応するバイアスの範囲で動作する、請求項 1 に記載の眼科用器具。

**【請求項 13】**

前記電子システムが、前記少なくとも 1 個のレンズアクチュエータを前記光学要素に接続するスイッチネットワークを更に備え、該スイッチネットワークが、前記少なくとも 1 個のレンズアクチュエータから前記光学要素に供給される電流及びバイアスを制御するように構成されている、請求項 1 に記載の眼科用器具。

**【請求項 14】**

前記スイッチネットワークが前記光学要素を放電するように構成可能である、請求項 13 に記載の眼科用器具。

**【請求項 15】**

前記スイッチネットワークが、前記光学要素に供給される前記バイアスを交流的に変化

10

20

30

40

50

させるように構成可能である、請求項 1 3 に記載の眼科用器具。

【請求項 1 6】

前記スイッチネットワークが、前記少なくとも 1 個のレンズアクチュエータが電力を保存可能としつつ、光学要素バイアスを維持するために前記光学要素を高絶縁状態に置くように構成可能である、請求項 1 3 に記載の眼科用器具。

【請求項 1 7】

前記電子システムが集積回路上で実施される、請求項 1 に記載の眼科用器具。

【請求項 1 8】

前記少なくとも 1 個のレンズアクチュエータが集積回路内で実施される、請求項 1 に記載の眼科用器具。

【請求項 1 9】

前記光学要素が液体メニスカスレンズを備える、請求項 1 に記載の眼科用器具。

【請求項 2 0】

前記 1 又は 2 以上の電源が 1 つの電池を備える、請求項 1 に記載の眼科用器具。

【請求項 2 1】

前記集積回路が回路基板上に組み込まれるか又は回路基板内に組み込まれるかの少なくとも一方である、請求項 1 7 に記載の眼科用器具。

【請求項 2 2】

前記回路基板が環状リングとして構成され、かつコンタクトレンズに組み込まれるように円錐部分に形成されている、請求項 2 1 に記載の眼科用器具。

【請求項 2 3】

前記回路基板が環状リングとして構成され、かつ眼内レンズに組み込まれるように円錐部分に形成されている、請求項 2 1 に記載の眼科用器具。

【請求項 2 4】

前記回路基板が、金属化トレースを有するポリマー又はプラスチックインサートの少なくとも一方を備える、請求項 2 1 に記載の眼科用器具。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

(関連出願の相互参照)

本特許出願は、2012年4月3日出願の米国仮特許出願第61/619524号に基づく利益を主張する。

【0002】

(発明の分野)

本発明は、可変光学度数又は電子眼科用レンズに関し、より詳細には可変光学電子眼科用レンズに電力供給するための電子回路に関する。

【背景技術】

【0003】

電子装置の小型化が進むのにもない、多様な用途においてウェアラブル又は埋め込み型のマイクロ電子装置が創出される可能性が高まりつつある。こうした用途としては、体内の化学プロセスの諸側面の観測、様々な機構(自動、測定値に応じて、又は外部制御信号に応じてなど)による調節された量の薬物又は治療薬の投与、及び臓器又は組織の性能の強化などが挙げられる。こうした装置の例としては、グルコース注入ポンプ、ペースメーカー、除細動器、補助人工心臓及び神経刺激装置が挙げられる。新規な、特に有用な応用分野の1つに、ウェアラブルな眼科用レンズ及びコンタクトレンズがある。例えば、ウェアラブルなレンズに、電子的に調節可能な焦点を有するレンズアセンブリを組み込むことで眼の性能を強化又は向上させることができる。別の例では、ウェアラブルコンタクトレンズに、調節可能な焦点と組み合わせ、又は調節可能な焦点を用いず、前角膜(涙膜)中の特定の化学物質の濃度を検出するための電子センサを組み込むことができる。レンズアセンブリにおける埋め込み型の電子部品の使用により、電子部品に電力供給及び/

10

20

30

40

50

又は再電圧印加する方法として、また、電子部品同士を相互接続するため、内部及び外部の感知及び/又は観測を行うため、並びに電子部品及びレンズの全体的機能の制御を行うために、電子部品と通信する潜在的必要性が生じる。

【0004】

人の眼は、数百万の色を識別する能力、光条件の変化に対して容易に適応する能力、及び、高速のインターネット接続を上回る速度で信号又は情報を脳に伝達する能力を有する。コンタクトレンズ及び眼内レンズなどのレンズは、現在、近視、遠視及び乱視などの視力障害を補正する目的で使用されている。しかしながら、更なる要素を組み込んだ、適切に設計されたレンズを使用することで、視力障害を補正するのみばかりか、視力の向上を図ることができる。

10

【0005】

従来のコンタクトレンズは、上記に簡単に述べた様々な視力の問題を解消するための特定の形状を有するポリマー構造である。機能性の向上を図るため、これらのポリマー構造に各種の回路及び及び要素を組み込む必要がある。例えば、制御回路、マイクロプロセッサ、通信装置、電力供給装置、センサ、アクチュエータ、発光ダイオード、及び小型アンテナを特別に設計された光電子要素を介してコンタクトレンズに組み込むことで、視力を補正するだけでなく、視力を向上させ、更に本明細書に述べられるような更なる機能性を与えることができる。電子及び/又は電動式コンタクトレンズは、ズームイン及びズームアウト機能により、又は単純にレンズの屈折能力を改変することにより、視力を向上させるように設計することができる。電子及び/又は電動式コンタクトレンズは、色及び解像度を向上させ、文字情報を表示し、会話をリアルタイムで字幕に翻訳し、ナビゲーションシステムからの視覚的キューを与え、画像処理及びインターネットアクセスを与えるように設計することができる。こうしたレンズは装用者が低光量条件下でも見えるように設計することもできる。適切に設計された電子部品及び/又はレンズ上の電子機器の適切な配置により、可変焦点光学レンズを用いることなく、例えば網膜に画像を投影することが可能となり、新規な画像ディスプレイを提供し、更には目覚ましアラートを提供することも可能となる。これらの機能若しくは同様の機能に代えるか、又はこれに加えて、コンタクトレンズに、装用者のバイオマーカー及び健康指標を非侵襲的に監視するための要素を組み込むこともできる。例えば、レンズに組み込まれたセンサによって涙膜の成分を分析することにより、糖尿病患者が血液を採取する必要なく、血糖値を監視することが可能となる可能性がある。更に、適宜構成されたレンズには、コレステロール、ナトリウム及びカリウムの濃度、並びに他の生物学的マーカーを監視するためのセンサを組み込むことができる。これを無線データ送信器と組み合わせることにより、医師が患者の血液成分をほぼ即時に把握することが可能となり、患者が検査機関に赴いて血液を採取するために時間を浪費する必要がなくなる。更に、レンズに組み込まれたセンサを利用して眼に入射する光を検出することにより、周辺光条件を補償したり、又は瞬きのパターンを調べることができる。

20

30

【0006】

装置の適当な組み合わせにより、潜在的に無制限の機能性が提供されうるが、光学等級のポリマーの薄片上に余分な要素を組み込むには多くの困難をとまなう。一般的に、こうした要素をレンズ上に直接製造すること、及び非平面状の表面に平面状の装置を実装して相互に接続することは、多くの理由により困難である。一定の縮尺での製造も困難である。レンズ上又はレンズ内に配置される要素は、眼の液体環境からこうした要素を保護する一方で、小型化され、わずか1.5平方センチメートル足らずの透明なポリマー上に集積化される必要がある。更なる要素によって厚みが増したコンタクトレンズを装用者にとって快適かつ安全なものとするにも困難がともなう。

40

【0007】

コンタクトレンズなどの眼科用装置の面積及び体積の制約、並びに装置が使用される環境を考慮すると、装置を物理的に実現するためには、その大部分が光学プラスチックからなる非平面上の表面に多数の電子要素を実装して相互接続することを含む、多くの問題を

50

克服しなければならない。したがって、機械的かつ電氣的に耐久性のある電子コンタクトレンズを提供することが求められている。

【0008】

これらは度数入りのレンズであるため、電子部品を作動するためのエネルギー、又はより詳細には電流消費が、眼科用レンズのスケールでの電池の技術を考慮した場合に問題となる。通常の電流消費以外に、この種の電動装置又はシステムでは、一般的に、待機電流予備電源、潜在的に広範囲の動作パラメータにわたる動作を確実にするための正確な電圧制御及びスイッチング性能、並びに、数年にわたりうるアイドリング状態の後、1回の充電で最大18時間のパースト消費が一般的に求められる。

【0009】

視力補正、及び場合により視力向上は、通常は眼鏡レンズ、コンタクトレンズ、眼内レンズ(IOL)、及び他の眼科用装置において、静的光学要素によって実現される。例えば、近視(近眼)を治療するための眼鏡レンズ又はコンタクトレンズは、角膜及び/又はレンズの欠陥による網膜上の焦点を補正するための球面度数を有するレンズを有している。バイフォーカル補正レンズは、主レンズと異なる度数の嵌め込みレンズを有しうる。より高度な設計では、勾配、ゾーン、又はレンズにわたって補正度数を変化させる他の方法を採用している。しかしながら、これらのレンズは光学的に静的なものであるため、眼の水晶体レンズの光学度数を変化させることによって行われる可変焦点動作である人の眼の自然な反応と適合しない。老眼の患者では、異なる焦点長への眼の自然な調節力が大幅に低下しており、機能の喪失及び不快感につながっている。この分野における最近の進歩には、例えば、光学度数の変化を一定量にとどめるために眼の毛様小体と結合された電子眼鏡レンズ又は眼内レンズ(IOL)などの一定の動的調節力を有する眼鏡レンズ及び更には眼内レンズ(IOL)がある。これらの既存のシステムは、わずかな追加度数の範囲しかカバーしないことにより制限されており、眼鏡の着用を必要とする、眼内レンズ(IOL)の移植手術を必要とする、などの難点がある。

【0010】

電子可変レンズ技術には、液晶レンズ、電気活性ポリマーレンズ、電気機械的レンズ、可変流体レンズ、及び液体メニスカスレンズなどの幾つかの種類がある。このような電子可変レンズはアクチュエータ、及びレンズの焦点長を変えるための電子装置を必要とする。例えば、液体メニスカスレンズ又は電子活性レンズでは、アクチュエータから印加される電圧及び/又は電流によってレンズの物理的パラメータを調節して焦点長を変化させる。可変レンズ及びレンズ駆動機構としても知られるそのアクチュエータは、スマートフォンのカメラ及び工業的用途などの様々な用途用に市販されている。コンタクトレンズ及び眼内レンズ(IOL)などの眼科用装置に適したレンズ及びアクチュエータは存在していない。

【0011】

電子又は電動式レンズは、電池から直接供給されるよりも高い電圧を一般的に必要とする。例えば、電動式レンズは最大の焦点長の変化に達するために60ボルトを必要とするものがあるが、一般的な電池の出力は4ボルト未満である。一般的なレンズ駆動機構は、低電圧電源から高い出力電圧を得るために電圧増幅回路を有しており、それらの設計の多くが当該技術分野では周知のものである。電圧増幅回路は、基本的には、変圧比が一致していない変圧器と原理的に似た電圧及び電流変換装置である。変圧器が交流電流で動作するのに対して、電圧増幅回路は電池などの直流(DC)電源で動作する。電圧増幅回路は、電子技術分野では広く知られている回路の種類であるチャージポンプを含みうる。

【0012】

現在市販されているレンズ駆動機構は多くの問題点を有しており、コンタクトレンズ及び眼内レンズ(IOL)などの眼科用装置における使用には適していない。一般的なレンズ駆動機構の消費電流は、おおよそ約1~100ミリアンペアである。これは、主流電源へのアクセスを有するロボット製造システム、又は比較的大型の電池を有するカメラ若しくはスマートフォンでは許容される消費電流であるが、眼科用装置の電源としてははるか

10

20

30

40

50

に大きすぎるものである。電池、エネルギーハーベスター、及び/又はコンデンサとして実施されるこうした電源は、概ね30マイクロアンペア以下の電流に通常は限定されている。電動式レンズを作動する際にレンズ駆動機構に流れる電流である能動的電流消費、及び、レンズ駆動機構が電動式レンズを駆動していない際に流れる電流である待機電流消費は、いずれも眼科用装置の重要なパラメータである。

#### 【0013】

一般的な電子可変レンズ及びそのレンズ駆動機構は、各用途に合わせて設計されており、眼科用装置における使用には最適化されていない。例えば、一部のレンズは、数ミリメートルから無限遠までの焦点長の範囲にわたって30ジオプター以上、連続的に可変である。商業的なレンズ及び駆動機構は、極めて速やかに、恐らくは100ミリ秒以内に焦点長を変化させなければならない。眼科用レンズは、当該技術分野において知られるように、自然な眼が焦点距離を変化させるのに一般に要する時間である1~2秒で焦点を変化させるだけでよい。商業的及び製造的用途を目的とした一般的なレンズ及び駆動システムは、何年にもわたって動作を持続しなければならない、一日に何度も焦点長を大きく変化させる必要がある。これに対して、コンタクトレンズなどの一部の眼科用装置は使い捨てであり、18時間しか使用されない。

10

#### 【0014】

一般的なレンズ駆動機構は、個別の電子部品又は集積回路(IC)によって実施される。レンズ駆動機構は、ICとして実施される場合であっても、コンデンサなどの外部要素を必要とする場合があり、レンズ駆動機構の物理的ダイのサイズは、数百ミクロンの厚さ

20

#### 【0015】

電子可変レンズは一般的に10~60ボルトの電圧で作動される。したがって、これらの装置のレンズ駆動機構は、電動式レンズを作動するうえで十分に高い電圧を出力しなければならない。レンズ駆動機構は、出力電圧を変化させることによって電動式レンズの光学度数を調節するようにプログラム可能であってもよい。

#### 【0016】

速度、信頼性、及び大きな焦点距離の範囲にわたった光学度数の正確な調節に対する要求条件のため、液体メニスカスレンズ用の一般的なレンズ駆動機構は、交流(AC)駆動機構を用いている。こうしたAC駆動機構は、印加されるバイアス電圧を正と負に概ね1kHzの速度で切り換える。この駆動方法は、既存の商業的用途において効果を有するが、同時に代替法である直流(DC)駆動方法よりも電流消費を大幅に増大させるものである。液体メニスカスレンズはコンデンサとして成形することも可能であり、その場合、コンデンサを充電するために必要とされるエネルギーは、Cをレンズの静電容量、Vを印加電圧として $1/2 \times C \times V^2$ である。液体レンズの静電容量は、概ね200ピコファラド(pF)である。一般的な高電圧レンズ駆動機構によれば、レンズの静電容量が高い速度で充電されなければならないことから、大量の電力が与えられ、また消費されることは明らかである。

30

#### 【発明の概要】

#### 【発明が解決しようとする課題】

40

#### 【0017】

したがって、低コスト、長期の信頼性の高い動作、安全性、サイズ及び速度について最適化される一方で、可変焦点光学要素を駆動するのに必要な電力を供給する電動式眼科用レンズのレンズ駆動機構が求められている。

#### 【課題を解決するための手段】

#### 【0018】

本発明の可変焦点光学電子眼科用レンズに電力供給するための電子回路を有するレンズ駆動機構は、上記に簡単に述べた従来技術にともなう課題を解決するものである。

#### 【0019】

例示的な一実施形態によれば、本発明は眼科用器具に関する。眼科用器具は、眼内又は

50

眼上の少なくとも一方において使用されるように構成された眼科用装置と、前記眼科用装置に組み込まれる電子システムであって、制御システム、少なくとも1個のレンズアクチュエータ、及び1又は2以上の電源を含む電力システムを有し、低消費電力に構成された電子システムと、前記眼科用装置に組み込まれる、視力補正及び視力向上の少なくとも一方を行うように構成可能な、電子制御される焦点長を有する光学要素であって、前記電子システムと機能的に関連付けられた光学要素と、を有する。

【0020】

本発明は、可変焦点光学要素の作動を含む任意の数の機能を行う電子システムを有する電動式コンタクトレンズに関する。電子システムは、1又は2以上の電池又は他の電源、電力管理回路、1又は2以上のセンサ、クロック生成回路、適当な制御アルゴリズムを実行する制御回路、及びレンズ駆動回路を含む。

10

【0021】

レンズアクチュエータ又はレンズ駆動回路は、可変焦点光学要素を作動させるのに適したバイアス電圧を発生する。レンズアクチュエータは、システムコントローラ、制御システム、又は制御回路によって作動され、電源管理回路からの電流を受け、クロック生成回路からのクロック信号を受信する。レンズアクチュエータ又はレンズ駆動回路は、1又は2以上の電源、1又は2以上のバイアス発生器、及び1又は2以上のスイッチ回路を有する。レンズ駆動回路は、電池レベルの電圧を、可変焦点レンズを作動するのに適したバイアス電圧に変換する。レンズ駆動回路は、例えば接地、高電圧、極性反転、及び浮遊電圧などのバイアス電圧を可変焦点レンズに切り換えるための回路も含む。

20

【0022】

例示的な一実施形態では、可変焦点光学要素は、焦点を変化させるために高い電圧を要するエレクトロウエッティング装置である。このような可変焦点光学要素のレンズ駆動機構は、電池レベルの電圧を高いバイアス電圧に、例えば2Vの入力から25Vの出力に変換する。例示的な一実施形態では、可変焦点光学要素は、電気機械的装置又は電気流体装置である。このような可変焦点光学要素のレンズ駆動機構は、例えば特定の駆動波形及びレンズ又は光学状態のフィードバックを必要とするエレクトロウエッティング装置に求められるレンズ駆動機構とは大幅に異なりうる。しかしながら眼科用装置の機能は同じであり、すなわちレンズの可変焦点光学要素の焦点長の電子的な制御である。更に別の例示的な実施形態では、可変焦点光学要素は、電流モードバイアスを必要とする液晶装置を含みうる。

30

【0023】

本発明のレンズ駆動回路は、快適性又は装用性に大きな影響を与えることなく、コンタクトレンズなどの眼科用装置上又は眼科用装置内に用いられるようなサイズのパッケージで、安全、低コストな、長期かつ高い信頼性の電力を供給する。

【0024】

電流消費を低減するため、眼科用装置のレンズ駆動機構に適用可能な、本発明に基づく幾つかの技術を使用する。電流は、レンズ駆動機構の要求条件を電動式レンズの可変焦点光学要素と注意深く一致させ、電動式レンズの可変焦点光学要素の要求条件を眼科用装置の要求条件と一致させることによって低減される。例えば、液体メニスカスレンズのスイッチング損失を防止するには、AC駆動の代わりにDC駆動が用いられる。これは、特定の例示的な実施形態においては、連続可変焦点が必要ではないか又は既存のレンズ駆動機構の要求条件とは大きく異なるために可能である。追加度数は、単純に度が入っていないもの(追加度数0)及び+3の光学度数とすることができる。更に、眼科用装置用の特定の液体メニスカスレンズの設計によって、極性の切替えの必要性が低減されるか、又はなくなる。特定の例示的な実施形態では、レンズ駆動機構の出力は調整されず、制御ループの一部とはならない。広範囲の焦点長をカバーする用途ではレンズ駆動機構の出力の厳密な調整が必要となりうるが、すべての眼科用用途において厳密な調整が必ずしも求められるわけではない。レンズの設計によって、所望の焦点長の変化を実現するための広範囲の駆動電圧が可能となりうる。当業者によれば認識されるように、フィードバックシステムを

40

50

なくすことによりレンズ駆動機構が大幅に簡素化され、これに応じてダイのサイズ及び電流消費が改善される。

【0025】

電流消費は、レンズ駆動機構を眼科用途用に注意深く設計することによって更に低減される。有効電流は約3マイクロアンペアに低減される。待機電流及び保存電流はナノアンペア又はピコアンペアにまで低減される。これは、当該技術分野では周知の技術、及び本明細書においてより詳細に述べられる革新的かつ新規な技術によって実現された。

【0026】

眼科用途用にレンズ駆動機構をレンズと併せて設計することによって、レンズ駆動機構の更なる改良が可能となる。電動式レンズの可変焦点光学要素の作動電圧を低減させることが可能であり、これに応じてレンズ駆動機構の出力電圧の要求条件、並びにレンズ駆動機構の電流及びサイズが低減される。電動式レンズの可変焦点光学要素の静電容量及び抵抗を最適化することにより、レンズ駆動機構から求められる電流を低減することができる。この場合もやはり、レンズ駆動機構のサイズ及び電流消費が低減される。

10

【0027】

眼科用途におけるレンズ駆動機構の適性にとってサイズ及びパッケージングは極めて重要である。このため、集積化、レイアウト、及び相互接続は、眼科における使用に合わせて特に設計される。レンズ駆動機構のすべての要素を1個のシリコン集積回路すなわちIC上に集積することにより、個別の表面実装コンデンサのような外部要素の必要性がなくなる。ダイのサイズは異なる技術によって低減される。相互接続はウェーハの後処理工程において追加され、眼科用途に合わせて特別に設計される。ダイは場合により30~100ミクロンにまで薄片化される。

20

【図面の簡単な説明】

【0028】

本発明の上記に述べた特徴及び利点、並びに他の特徴及び利点は、添付の図面に示されるような以下の本発明の好ましい実施形態のより詳細な説明から明らかとなるであろう。

【図1】本発明に基づく例示的な可変焦点レンズシステムを示すブロック図。

【図2】本発明に基づく可変焦点光学要素を有する電動式コンタクトレンズに接続された例示的なHブリッジ回路を示す図。

【図3】本発明に基づく例示的なダイオード型チャージポンプレズ駆動機構を示す図。

30

【図4】本発明に基づく、印加電圧に対する2個の可変焦点光学要素の光学的応答を示す図。

【図5】本発明に基づく回路基板上の個別のレンズ駆動回路のレイアウトを示す図。

【図6】本発明に基づく例示的なレンズ駆動機構/光学要素のインターフェースを示すブロック図。

【図7】本発明に基づく例示的なチャージポンプへの入力波形を示すグラフ。

【図8】本発明に基づく別の例示的なチャージポンプレズ駆動機構を示す図。

【図9】図8の例示的なチャージポンプの各コンデンサの上プレートの上のノードにおける時間に対する電圧のシミュレーションを示す図。

【図10】本発明に基づく電動式コンタクトレンズ用のレンズ駆動機構を含む例示的な電子インサートを示す図。

40

【発明を実施するための形態】

【0029】

従来のコンタクトレンズは、上記に簡単に述べた様々な視力の問題を解消するための特定の形状を有するポリマー構造である。機能性の向上を図るため、これらのポリマー構造に各種の回路及び及び要素を組み込む必要がある。例えば、制御回路、マイクロプロセッサ、通信装置、電力供給装置、センサ、アクチュエータ、発光ダイオード、及び小型アンテナを特別に設計された光電子要素を介してコンタクトレンズに組み込むことで、視力を補正するだけでなく、視力を向上させ、更に本明細書に述べられるような更なる機能性を与えることができる。電子及び/又は電動式コンタクトレンズは、ズームイン及びズーム

50

アウト機能により、又は単純にレンズの屈折能力を改変することによって視力を向上させるように設計することができる。電子及び/又は電動式コンタクトレンズは、色及び解像度を向上させ、文字情報を表示し、会話をリアルタイムで字幕に翻訳し、ナビゲーションシステムからの視覚的キューを与え、画像処理及びインターネットアクセスを与えるように設計することができる。こうしたレンズは装用者が低光量条件下でも見えるように設計することもできる。適切に設計された電子部品及び/又はレンズ上の電子機器の適切な配置により、可変焦点光学レンズを用いることなく例えば網膜に画像を投影することが可能となり、新規な画像ディスプレイを提供し、更には目覚ましアラートを提供することも可能となる。これらの機能若しくは同様の機能に代えるか、又はこれに加えて、コンタクトレンズに、装用者のバイオマーカー及び健康指標を非侵襲的に監視するための要素を組み込むこともできる。例えば、レンズに組み込まれたセンサによって涙膜の成分を分析することにより、糖尿病患者が血液を採取する必要なく、血糖値を監視することが可能となる可能性がある。更に、適宜構成されたレンズには、コレステロール、ナトリウム及びカリウムの濃度、並びに他の生物学的マーカーを監視するためのセンサを組み込むことができる。これを無線データ送信器と組み合わせることにより、医師が患者の血液成分をほぼ即時に把握することが可能となり、患者が検査機関に赴いて血液を採取するために時間を浪費する必要がなくなる。更に、レンズに組み込まれたセンサを利用して眼に入射する光を検出することにより、周辺光条件を補償したり、又は瞬きのパターンを調べることができる。

10

20

30

40

50

**【0030】**

本発明の電動式又は電子コンタクトレンズは、上述した視力障害のうちの1又は2以上を有する患者の視力を補正かつ/又は向上させるか、又は他の有用な眼科的機能を行ううえで必要な要素を有する。更に、本発明の電動式又は電子コンタクトレンズは、単純に通常の視力を向上する目的で使用することもでき、又は上述した広範な機能性を与えることもできる。電子コンタクトレンズは、コンタクトレンズに埋め込まれるか、又は任意の適当な機能性を与えるためにレンズなしで電子部品を単純に埋め込んだ、組み立てられた前方光学要素である、可変焦点光学レンズとして構成することができる。本発明の電子レンズは、上述したような任意の数のコンタクトレンズに組み込むことができる。更に、眼内レンズには、本明細書に述べるような様々な要素及び機能性を組み込むこともできる。しかしながら、説明を簡単にするため、本開示では、1回使用、1日使い捨ての視力障害補正用の電子コンタクトレンズについて主に述べる。

**【0031】**

本発明は、可変焦点光学装置又は実行可能な任意の数の様々な機能を実行するように構成された他の任意の装置を作動させる電子システムを備えた電動式眼科用装置又は電動式コンタクトレンズに関する。電子システムは、1又は2以上の電池又は他の電源、電力管理回路、1又は2以上のセンサ、クロック生成回路、適当な制御アルゴリズムを実行する制御回路、及びレンズ駆動回路を含む。これらの要素の複雑度は、電動式又は電子レンズの必要な、若しくは所望の機能性に依じて変わりうる。

**【0032】**

制御回路、システムコントローラ又は制御システムは、例えば、遠い物体にズームインするか若しくは焦点を合わせ、近い物体からズームアウトするか若しくは焦点を合わせるための可変電力光学要素又は可変焦点光学要素を有するコンタクトレンズのような電動式又は電子眼科用レンズを制御するための任意の数の入力を受信することができる。

**【0033】**

制御システムは、他の装置及び/又はシステムの動作を管理、命令、指令、及び/又は制御するように構成された1又は2以上の装置を含みうる。制御システムには多くの異なる種類があるが、これらは大きく分けて、論理又は逐次制御システム、及びフィードバック又は線形制御システムの2つの部類又は種類に分けられる。論理制御システム又は逐次制御システムでは、コマンド信号が出力され、これにより一連のアクチュエータが所定の順序で1又は2以上のタスクを実行する。フィードバック制御システムでは、1又は2以

上のセンサ、制御アルゴリズム、及びアクチュエータを含む制御ループが目標値又は参照値に変数を制御するように構成されている。いかなるフィードバック制御システムにおいても、システムが何を行うべきかを知り、システムがどれだけ効率的に動作しているかを知り、動作情報を用いてシステムを補正及び制御することが必要である。

【 0 0 3 4 】

基本的なフィードバック制御システムの構成要素は下記のように述べることができる。制御システムは、制御しようとするシステム又は設備を含み、入力を受信して出力を与えるように構成される。設備の出力はセンサに入力され、センサは設備の1又は2以上のパラメータを測定してフィードバック信号を与える。次いでフィードバック信号は、コンパレータ又は他の適当な手段によって入力信号から差し引かれてエラー信号を生成する。次いでエラー信号はコントローラに入力され、コントローラは設備に信号を出力し、これにより設備が所望の動作を実行する。基本的に、センサからのフィードバックはシステム全体の複雑度をすべて考慮しようとするものであり、所定の入力に対する所望の結果である出力を生成する。すべての制御システムは、一定の制御法則の制約の範囲内で設計されており、一般的に、速度及び精度などの様々な側面におけるトレードオフをとらなう。この説明は、大幅に簡素化されたものであり、ハードウェアの観点から述べたものであるが、ハードウェア、ソフトウェア、又はこれらの任意の組み合わせとして実施することが可能なフィードバック制御システムの基礎的理解を与えるものである。

10

【 0 0 3 5 】

フィードバック制御システムは、更に、比例制御システム、積分制御システム、微分制御システム、又はこれらの組み合わせに更に分類することができる。比例制御システムでは、制御動作は偏差に比例する。積分制御システムでは、設備への作動信号又は入力は偏差の積分に比例する。微分制御システムでは、プロセスの出力は入力が増加する割合に比例する。それぞれの制御システムのタイプには、制御の技術分野において知られるようなそれぞれの長所がある。例えば、積分制御システムを用いた場合には定常偏差が得られるはずである。

20

【 0 0 3 6 】

上記に述べたように、逐次制御システムとは、一連の動作が特定の順序で起こる必要がある制御である。これらの動作は、プロセス全体の条件のすべてが把握されなければならないことから、非常に複雑となる可能性がある。逐次制御システムは、電氣的及び/又は機械的動作を制御するためのコマンドに順序付けする論理システムを一般的に含んでいる。プログラム可能な論理制御システム及びマイクロ制御システムを逐次制御を行うようにプログラムすることができる。

30

【 0 0 3 7 】

本明細書の全体を通じて、眼科用装置なる用語が用いられている。一般的な用語として、眼科用装置には、コンタクトレンズ、眼内レンズ、眼鏡レンズ、及び涙点プラグが含まれうる。しかしながら、本発明によれば、眼科用装置とは、視力の補正及び/又は向上を目的としたものであり、好ましくは眼鏡レンズ、コンタクトレンズ、及び眼内レンズのうち少なくとも1つを含む。眼内レンズすなわちIOLとは、眼内に移植されて水晶体レンズを置換するレンズのことである。眼内レンズは白内障の患者に使用されるか、又は様々な屈折障害を治療するために単に使用されうる。IOLは、レンズを眼内の水晶体嚢内部において定位置に保持するためのハプティックと呼ばれるプラスチック製の側部支柱を有する小型のプラスチックレンズから一般的に構成される。本明細書において述べる電子部品及び/又は要素はいずれも、コンタクトレンズの場合と同様の方法でIOLに組み込むことができる。涙点プラグ又は塞栓子とは、例えば慢性的なドライアイなどの1又は2以上の病態を治療するために眼の涙点に挿入される眼科用装置である。本発明はこれらの装置のいずれにも利用することができるが、好ましい例示的な実施形態においては、本発明をコンタクトレンズ又は眼内レンズに利用する。

40

【 0 0 3 8 】

本発明は、可変焦点光学装置又は実行可能な任意の数の様々な機能を実行するように構

50

成された他の任意の装置を作動させる電子システムを備えた電動式眼科用レンズ又は電動式コンタクトレンズに関する。電子システムは、1又は2以上の電池又は他の電源、電力管理回路、1又は2以上のセンサ、クロック生成回路、適当な制御アルゴリズムを実行する制御回路、及びレンズ駆動回路を含む。これらの要素の複雑度は、レンズの必要な、若しくは所望の機能性に依じて変わりうる。

#### 【0039】

レンズ駆動回路は、可変焦点レンズを作動するための適当なバイアス電圧を発生する。レンズ駆動回路は、システムコントローラ、制御システム、又は制御回路によって作動され、電源管理回路からの電流を受け、クロック生成回路からのクロック信号を受信する。レンズ駆動回路は、1又は2以上の電源、1又は2以上のバイアス発生器、及び1又は2以上のスイッチ回路を有する。レンズ駆動回路は、電池レベルの電圧を、可変焦点レンズを作動するのに適したバイアス電圧に変換する。レンズ駆動回路は、例えば接地、高電圧、極性反転、及び浮遊電圧などのバイアス電圧をレンズに切り替えるための回路も含む。

10

#### 【0040】

上記に述べたように、本発明は、多くの要素からなるコンタクトレンズなどの眼科用装置に関するものであり、レンズ駆動機構はこれらの要素の1つである。装置の適当な組み合わせにより、潜在的に無制限の機能性が提供されうるが、コンタクトレンズを構成する光学等級のポリマーの薄片上に余分な要素を組み込むには多くの困難をとまなう。一般的に、こうした要素をレンズ上に直接製造すること、及び非平面状の表面に平面状の装置を実装して相互に接続することは、多くの理由により困難である。一定の縮尺及び形状で製造することも困難である。レンズ上又はレンズ内に配置される要素は、眼の液体環境からこうした要素を保護する一方で、小型化され、わずか1.5平方センチメートル、より詳細には17平方ミリメートル足らずの透明なポリマー上に集積化される必要がある。更なる要素によって厚みが増したコンタクトレンズを装用者にとって快適かつ安全なものとすることにも困難がともなう。

20

#### 【0041】

上記に述べたサイズに関する要求条件以外に、コンタクトレンズに組み込まれる電子装置は、基本的に水性の環境中において丈夫で安全に使用できるものでなければならない。涙のpHは約7.4であり、約98.2%が水分であり、1.8%がナトリウム、カリウム、カルシウム、マグネシウム、及び塩化物などの電解質を含む固形分である。これは、電子要素を導入するにはいささか過酷な環境である。また、コンタクトレンズは、少なくとも4時間、好ましくは8時間以上にわたって装用されるように一般的に設計されている。電子要素はエネルギーを必要とする。このエネルギーは、内蔵式電池などの任意の数の電源から供給することができる。電池及び他の可能なエネルギー源はこれらのサイズでは性能が限定されるため、レンズ駆動機構を含むすべての電子部品は、所定の期間にわたってアイドリング状態に置かれた後でも(貯蔵寿命)所定の時間にわたって装用することができるよう、消費電力ができるだけ小さくなるように設計されることが好ましい。最後に、電子コンタクトレンズのすべての要素は、生体適合性を有し、安全なものでなければならない。したがって、コンタクトレンズに組み込まれるすべての電子部品は、上記の設計上のパラメータ、すなわち、サイズ、水溶液中での耐久性、消費電力及び安全性のすべてを満たさなければならない。本発明のレンズ駆動機構は、これらの要求条件をすべて満たすものである。

30

40

#### 【0042】

本発明の詳細な説明に入る前に、可変焦点光学要素には多くの代替的な例示的实施形態が考えられる点に留意することが重要である。例えば、可変焦点光学要素は、液晶技術、電気活性ポリマー技術、可変流体技術、及び液体メニスカス技術を用いて実施することができる。以下の詳細な説明では、可変焦点光学要素は液体メニスカスレンズからなる。本明細書において記載される液体メニスカス及びエレクトロウエットニングなる用語は、本明細書では互換可能に用いられている。本発明の例示的な実施形態の説明をより深く理解するため、液体メニスカスレンズの概論を述べる。一般的な液体レンズは、2種類の不混

50

和性の液体を含んだセルからなる。一方の液体が絶縁性かつ非極性のものであるのに対して、第2の液体は通常は例えば食塩水などの導電性の水溶液である。液体はいずれも透明であり、異なる屈折率を有している。レンズの動作に対する重力の影響が最小となるように両方の液体が同じ密度を有することが好ましい。絶縁性の液体は液滴の形状とされ、絶縁性の液体が疎水性の薄い絶縁窓の上に乗るようにして絶縁窓と接触して置かれる。透明な電極がこの窓の外側に配置される。電極と導電性の液体との間に電圧を印加すると、この液体による表面の濡れ性が高まることにより、界面が変形して絶縁性の液滴の形状が変化し、これによりレンズの焦点長が変化する。これは極めて詳細な説明であり、本発明の具体的な光学要素として解釈されるべきものではない。

#### 【0043】

例示的な一実施形態では、可変焦点光学要素は、焦点を変化させるために高い電圧を要するエレクトロウエッティング装置である。このような可変焦点光学要素のレンズ駆動機構は、電池レベルの電圧を高いバイアス電圧に、例えば2Vの入力から25Vの出力に変換する。例示的な一実施形態では、可変焦点光学要素は、電気機械的装置又は電気流体装置である。このような可変焦点光学要素のレンズ駆動機構は、例えば特定の駆動波形及びレンズ状態のフィードバックを必要とするエレクトロウエッティング装置に求められるレンズ駆動機構とは大幅に異なりうる。しかしながら眼科用装置の機能は同じであり、すなわちレンズの焦点長の電子的な制御である。更に別の例示的な実施形態では、可変焦点光学要素は、電流モードバイアスを必要とする液晶装置を含みうる。

#### 【0044】

エレクトロウエッティングレンズは、レンズの物理的構造に起因する一定の静電容量を有している。導電性の食塩水相は、レンズの電氣的接点の1つに接続される。この導電性の食塩水相は誘電体によってレンズの第2の電氣的端子に接続された電極から隔離される。このため、誘電体の存在によって2個の端子間には所定の静電容量が生ずる。エレクトロウエッティングレンズを作動するには、電極電圧が焦点を変化させる作動の閾値を上回るまで静電容量を充電しなければならない。このため、エレクトロウエッティングレンズの静電容量はレンズ駆動機構の設計において極めて重要である。当業者には周知であるように、レンズ駆動機構の設計上のパラメータは、レンズ負荷及び予想される性能の要求条件を考慮するように最適化することができる。例えば、エレクトロウエッティングレンズを作動するための高い電圧を生じるチャージポンプ駆動機構では、クロック周波数及びコンデンサのサイズの1又は2以上を増大させることによってチャージポンプはより多くの電流を供給することが可能となる。やはり当該技術分野では周知のように、電流供給能力を大きくするとコンデンサをより速く充電することが可能となる。このように、レンズ駆動機構のクロック周波数及びコンデンササイズを、可変焦点レンズの電氣的効率及び作動時間について最適化することができる。他の電氣的可変レンズと対応するレンズ駆動機構についても同様の設計上の関連が存在する。

#### 【0045】

ここで図1を参照すると、電源100、電源管理回路102、システムコントローラ104、Hブリッジコントローラ106、電圧増幅器108、Hブリッジ110、及び可変焦点光学要素112を有する可変焦点電子眼科用レンズシステムの例示的な一実施形態が示されている。可変焦点光学要素112は、レンズの2個の電氣的端子間に印加される作動電圧に応じて、例えば焦点長などの焦点特性が変化する液体レンズであってよい。上記に述べたように、任意の適当な技術を用いることができる。2個の端子は、光学要素112の前面及び後面の端子に対応している。作動電圧は電源から供給される電圧よりも大幅に高い場合があり、例えば完全なレンズの作動では25ボルトであるが電池はわずかに2ボルトを供給するだけである。電源100は、電池、コンデンサ、又は蓄積された電荷を利用可能な作動電圧で供給する同様の装置であってよい。特定の例示的な実施形態では、電源100は外部電力供給部と結合された誘導電源であってよい。電力管理回路102は、1又は2以上の電圧レギュレータ、電圧又は電流基準、及び、電子レンズシステムの他の要素に選択的に電力が供給されるようにするためのスイッチから構成されうる。システ

10

20

30

40

50

ムコントローラ104は、マイクロコントローラ作動ソフトウェア、又はステートマシンなどのデジタル論理回路として実施されるデジタル制御システムを含み、制御システムの周期的タイミング信号を発生するための振動子を更に含んでもよい。システムコントローラ104は、内部アルゴリズムに基づくか又は使用者による外部制御下で（インターフェースは示されていない）電圧増幅器108及びHブリッジコントローラ106に制御信号を与える。電圧増幅器108は、電源100から低い作動電圧で電流を受けて可変焦点光学要素112の作動電圧と同じか又はそれよりも（可変焦点光学要素112の状態を変化させるのに十分な）高い出力電圧を発生する。電圧増幅器108は振動子を更に含むか、システムコントローラ104から制御信号を受信してもよい。例示的な本実施形態では、電圧増幅器108の出力部は、当該技術分野では周知の種類の種類であるHブリッジスイッチ回路110を介して可変焦点光学要素112に接続される。Hブリッジ110は、電圧増幅器108の出力部と可変焦点光学要素112端子のそれぞれとの間、更に可変焦点光学要素112端子のそれぞれとシステムの電氣的接地との間のスイッチを構成する。Hブリッジ110の状態は、Hブリッジコントローラ106に印加される1又は2以上のシステムコントローラ104制御信号によって決定される。Hブリッジコントローラ106は、Hブリッジ110をシステムコントローラ104とインターフェースする機能を有する。一般的にHブリッジコントローラ106は、制御信号を低電圧のデジタルコントローラ、例えば一般的な電圧として1.8ボルトで動作するシステムコントローラ104から、高電圧のHブリッジ110へとレベルシフトする。Hブリッジコントローラ106は、システムコントローラ104からのより少ない入力でHブリッジ110への出力を管理する回路であるタイミング及び遅延回路、並びに、関連技術分野では周知の短絡状態であるショートスルーなどのHブリッジ110における問題のある状態を防止するための回路を更に有してもよい。Hブリッジ110は、例えばレンズ端子が開いた、接地に短絡された状態、又は一方の端子が電圧増幅器108の出力部に連結されて電力供給され、他方が接地されるか逆の極性で電力供給される状態などの1又は2以上の状態に構成することができる。Hブリッジ110は、可変焦点光学要素112に電圧を印加して作動させ、可変焦点光学要素112を放電させてベース出力に戻し、可変焦点光学要素112に供給されるバイアス電圧の極性を切り替えるための便宜のよい方法を与える。可変焦点光学要素の両方の端子を接地することで光学要素112の電荷が速やかに除去され、これにより可変焦点光学要素112は、絶縁性の高いシステムを通じて電荷が徐々に消散する場合の長い遅延を生ずる代わりに、電圧印加されていない焦点状態に速やかに切り替えることができる。システムコントローラ104は、Hブリッジ110の出力の極性を周期的に反転させることによって、例えば、1つの状態で長時間電力供給された場合に起こりうる過剰な電荷トラッピングが防止されるように可変焦点光学要素112の性能を最適化することができる。上記の機能ブロックは、あくまで説明を目的として図示、説明したものであって、本明細書に述べられるような電子又は電動式眼科用装置において使用されるように特に設計及び構成されたレンズ駆動機構の基本原理に依然頼りながらも、更なる機能ブロックを加えるか、取り除くか、又は置き換えることができる点に留意することが重要である。

#### 【0046】

図2は、可変焦点光学要素250を有する電動式眼科用レンズに接続された例示的なHブリッジ回路200を示している。Hブリッジ回路200は、可変焦点光学要素250に印加される電位差を制御するうえで特に有用であり、電圧を可変焦点光学要素250に切り替え、可変焦点光学要素250の両側で極性を反転させ、可変焦点光学要素250を接地するために使用することができる。例示的なHブリッジ200は、信号調整回路210及びマイクロコントローラ212によって制御される金属酸化膜半導体電界効果トランジスタすなわちMOSFETスイッチ202、204、206及び208を有している。図に示される例示的な実施形態では、マイクロコントローラ212は図1に示されるようなシステムコントローラ104に対応し、信号調整回路210はHブリッジコントローラ106に対応している。マイクロコントローラ212は、状態マシン、又はレンズ駆動回路を制御することが可能な他の装置で置き換えることができる。信号調整回路210は、マ

マイクロコントローラ 212 と Hブリッジとの間のインターフェースであり、例えば電圧を 1.8 V の論理回路のレベルから 25 V の出力に必要とされるゲート駆動レベルにシフトする。低電圧の論理回路レベルは約 0.9 V の低さであってよく、高いレベルのゲート駆動電圧は 13 ~ 60 V の間で変動しうる点に留意することが重要である。当業者であれば、Hブリッジを構成する MOSFET スイッチ 202、204、206 及び 208 のゲートに印加される電圧には固有の要求条件が存在することは明らかであろう。別の言い方をすれば、一般的なシステムコントローラからの低レベルの出力電圧では、高レベル側のスイッチ 202 及び 204 をオフするには不十分であるということである。信号調整回路 210 は、同じレグの 2 個のスイッチ (202 と 208、又は 204 と 206) が同時に閉じないようにすることによって電流消費を最適化するためにも必要とされる。可変焦点光学要素 250 は Hブリッジの出力部に接続している。Hブリッジの入力部は、高電圧発生器 214 及び接地に接続している。高電圧発生器 214 は、電圧増幅器、チャージポンプ、又は他の回路であってよい。Hブリッジ 110 の要求条件及びその実施に用いられる技術に応じて Hブリッジ 110 の実施及び制御には更なる回路 (図には示されていない) が必要とされる場合もある。例えば、高電圧発生器の出力レベル及びシステムで利用可能なバイアス電圧に応じて更なるスイッチが必要とされる場合もある。

10

#### 【0047】

一般的な動作においては、可変焦点光学要素 250 の一方の側が接地に接続され、他方の側は高電圧発生器 214 に接続される。これを実現するには、Hブリッジを構成するスイッチ 202、204、206 及び 208 を正しいオン/オフの組み合わせで作動する。例えば、スイッチ 202 及び 206 が閉じているがスイッチ 204 及び 208 が開いている場合、可変焦点光学要素 250 の左側は高電圧発生器 214 に接続し、可変焦点光学要素 250 の右側は接地に接続する。これは、可変焦点光学要素 250 が充電され、したがって作動されている場合を表す。可変焦点光学要素 250 の作動を停止するためには、スイッチ 202 及び 204 を開いた状態に設定し、スイッチ 208 及び 206 を閉じる。これにより、可変焦点光学要素 250 の両側で電位差がなくなり、可変焦点光学要素 250 は停止する。別の潜在的に有用な状態は、可変焦点光学要素 250 の両側に電位を印加し、可変焦点光学要素 250 に電荷を蓄積させた後、可変焦点光学要素 250 の接続を切断して可変焦点光学要素 250 を蓄積電荷のみで作動状態に維持することである。これは、Hブリッジを構成するスイッチ 202、204、206 及び 208 をすべて開くことによって実施することができる。このような状態により、可変焦点光学要素 250 が浮動している状態で高電圧発生器 214 が停止した場合の電流消費を更に低減することができる。可変焦点光学要素 250 の静電容量及び抵抗、並びに電子システムの漏れを注意深く設計することにより、可変焦点光学要素 250 が何秒にもわたって電荷を蓄積することが可能となり、これにより高電圧発生器 214 のデューティサイクル、ひいては平均の消費電流が大幅に低減される。

20

30

#### 【0048】

図 3 は、例示的なダイオード型チャージポンプレンズ駆動機構 300 を図示したものである。この特定の構成は、関連技術分野における当業者にはディクソン (Dickson) チャージポンプとして知られるものである。ダイオード型チャージポンプ又はチャージポンプ 300 は入力 302、304、及び 306 から電力供給及び制御される。入力 306 は、チャージポンプ 300 の作動時に継続的にオンしている定 DC 電源である。DC 電源がオフされている場合、チャージポンプ 300 は非作動状態であり消費電流が少なくなる。入力 304 及び 302 は、動作時にパルスを生じる相補的な極性の矩形波信号であることが好ましい。図 7 は、これらの信号を示す。入力 302、304、及び 306 は、ハードウェア論理回路又は同様のタイミング装置であるマイクロコントローラから駆動され、制御回路と同じ動作電圧、例えば 3.5 V を一般的に有している。コンデンサ 308、314 及び 318 はチャージポンプ 300 の一方の側を構成し、入力 304 に接続されている。コンデンサ 310 及び 316 はチャージポンプ 300 の他方の側を構成し、入力 302 によって制御される。ダイオード 324、326、328、330、332 及び 334 によ

40

50

り、電流は一方向にのみ、この例では左から右に流れることが可能である。チャージポンプ300の1つのステージは、1個のダイオード及びそれに続くコンデンサ、例えば326及び310で構成される。電圧が入力306に印加されると、ダイオード324を通じて電流が流れてコンデンサ308に蓄積する。最初、入力304は低いため、コンデンサ308の電圧は、入力306の電圧からダイオード324の両側の順方向電圧降下を差し引いたものに等しくなるように上昇する。入力304が増大すると、コンデンサ308の上プレートの電圧が高くなる。ダイオードが逆方向の電流を遮断するため、電流はコンデンサ308からダイオード324を通じて逆方向に流れることはできない。コンデンサ308からの電荷はダイオード326を通じて流れ、コンデンサ310に蓄積しはじめる。このサイクルでは、入力302が低いことからコンデンサ310の下プレートは低い。入力304と302が切り替えられると、入力302の高い電圧によってコンデンサ310の上プレートの電位が高くなる。これが後に続くステージで繰り返され、電圧は各ステージで、おおよそ供給電圧から順方向ダイオード電圧降下を差し引いた分だけ増加する。ダイオードの両側の電圧降下を最小とすることによって、チャージポンプの変換効率が高くなることから、ショットキーダイオードのような順方向電圧降下が低いダイオードが一般的に使用される点は認識されるであろう。したがって、コンデンサ320及び負荷抵抗器322への出力部では、存在する電圧は供給電圧（入力302、304及び306に存在する）にステージの数を掛けたものから順方向のダイオード電圧降下を差し引いたものに概ね等しい。供給電圧が3.5Vであるこの実施態様では出力電圧は約2.1Vである。出力コンデンサ320は、最後のステージ（コンデンサ318及びダイオード334）からの電荷を蓄積する。負荷抵抗器322は、既知の放電時間が求められる場合に、コンデンサ320及び負荷から電荷を放出させるために設けられる。レンズ負荷がコンデンサ320及び負荷抵抗器322と並列に配置されている。このため、レンズは直接駆動で可能な電圧よりも大幅に高い電圧（約2.1V）を3.5Vのマイクロコントローラから受ける。この電圧は1.8V～2.0Vの間で変動しうる点に留意することが重要である。

#### 【0049】

図4は、2個の電動式眼科用レンズの2個の変焦点光学要素の、それらの端子の両側に印加された電圧に対する応答を示したグラフである。例示的な1つの設計では、第1の変焦点光学要素は、ほぼ円筒状の形状を有する、食塩水及びオイルを含む市販の装置である。この第1のレンズの典型的な応答402では、変焦点光学要素の光学度数が、印加される電圧が閾値参照点404における作動電圧、この例では約1.6Vを越えた時点で増大しはじめる。この電圧は、大部分の単一セル型電池の化学反応から得られる電圧よりもはるかに高いことは認識されるであろう。第1の変焦点光学要素は、終点参照点406における4.6Vまで直線的な応答を有する。閾値参照点404までの低い電圧では、第1の変焦点光学要素は非作動状態であり、ベースラインの光学度数を有している。閾値電圧よりも上では、第1の変焦点光学要素の光学度数は増大している。閾値電圧及び印加電圧に対する光学度数の関数は、変焦点光学要素の設計に応じて異なりうる。老視に対して最適化された第2のレンズの設計が関数408に示されている。この例示的な設計によれば、第2の変焦点光学要素はほぼ球面状の形状を有する、個人に合わせて設計された食塩水及びオイルからなる光学要素である。基本的に、この第2の変焦点光学要素は、上記に述べた第1の変焦点光学要素とは、食塩水及びオイルの化学成分、誘電体材料、及び機械的設計において異なるため、以下に述べるように応答が異なる。この第2の変焦点光学要素は、恐らくは変焦点光学要素の流体、機械的構造、及び誘電体の厚さについて最適化されていることにより、約1.2Vに低下した第2の閾値参照点410を有している。広範囲の焦点長の変化で何年にもわたって動作しなければならない市販の電子変焦点光学要素と比較して眼科用装置の固有の蓄積及び作動時間特性のため、変焦点光学要素及びレンズ駆動機構の両方を更に最適化することもできる。第2の変焦点光学要素は、参照点412において約1.7Vが印加された状態で+3のジオプターで飽和する。この飽和電圧以上では、変焦点光学要素は印加電圧にともなって変化しない。老視及びベースラインの近視患者用の設計は、遠視力を補正するために負の光学度数を既定値と

10

20

30

40

50

して有しうる。可変焦点光学要素の機械的及び化学的設計に基づく他の機能も可能である。約 1.7 V 以上では光学度数に変化は生じない点は認識されるであろう。これに対応して、レンズ駆動機構は ± 8 V の潜在的誤差で 2.5 V に達するように設計することが可能であり、このようなレンズ駆動機構であっても第 2 の可変焦点光学要素を完全に作動させるものであり、1.7 V と 3.3 V との間に明確な差は認められない。したがって、レンズ駆動機構は入力電圧、温度、半導体、及び他のパラメータに関して曖昧な制御及び幅広い変動を有するように設計することも可能である。このような設計上のトレードオフのため、レンズ駆動機構は、消費電力が小さく、設置面積が小さいより単純な回路によって実施することが可能となる。

#### 【0050】

レンズ駆動機構は、個別の又は集積化された形態で実施することが可能であり、異なる集積度が可能である点は認識されるであろう。図 5 は、本発明に基づく例示的な個別のレンズ駆動回路について回路基板 500 上の装置のレイアウトを示している。回路基板 500 は環状リングの形状に切断されることが好ましく、これにより、回路基板 500 を例えばコンタクトレンズ及び眼内レンズなどのレンズに組み込むために円錐状の部分に形成することが可能となる。マイクロコントローラ 550 は、内部プログラミング及び各種センサの状態に応じてチャージポンプを駆動する。図 3 に関して述べたように、ダイオード 502、504、506、508、510 及び 512 は、電流の逆流を遮断し、電荷をチャージポンプのあるステージから次のステージへと通過させる。コンデンサ 520 及び 522 が入力 302 に接続する（図 3）のに対してコンデンサ 514、516、及び 518 は入力 304 に接続している（図 3）。負荷コンデンサ 524 及び負荷抵抗器 526 がレンズ駆動出力と並列に存在している。トレース及びビア 528 がレンズ駆動出力を回路基板 500 上のタブ 530 と接続している。このタブ 530 は定位置に折れ曲がっており、導電性エポキシ樹脂によってレンズの一方の側面に接着することができる。

#### 【0051】

図 6 を参照すると、システムのブロック図 600 は、例示的なレンズ駆動機構が電気光学システムとどのようにインターフェースしているかを示している。例示的なシステム 600 は、電池 602 又は他の任意の適当な電源を有している。この用途では、電源 602 は、例えば小さいサイズといった矛盾するシステムの要求条件によって電圧及び電流について制約されている。電源 602 は、調整された出力を与え、規定の電池カットオフ閾値で負荷をオフし、電池の充電を可能とし、更に他の適当な機能を有しうる電力管理ブロック 604 に適用される。システム制御ブロック 606 はイベントタイミング及び作動を行う。システム制御ブロック 606 はマイクロコントローラ、状態マシン、又は他の回路として実施することができる。システム制御ブロック 606 は、所望の可変焦点光学要素の状態を決定するためにセンサ回路を含むかこれとインターフェースすることができる。レンズ駆動機構 608 は、システム制御ブロック 606 から制御信号を受信し、電源管理ブロック 604 から、又は場合により電源 602 から直接電力を受け取る。レンズ 610 がレンズ駆動機構 608 と接続している。レンズ駆動機構 608 は、プログラミングインターフェース 610 及びイベント制御ブロック 618 をそれぞれ介して、チャージポンプ 612 により電圧を増大させる、電圧調整器 614 により電圧を調整する、極性を切り替える、レンズを接地する、レンズを浮動する、などの機能を有しうる。

#### 【0052】

図 7 は、図 3 に示されるような例示的なチャージポンプ 300 へのサンプル入力波形を示している。波形 700 は、電池からの定 DC 電圧（例えば 3.5 V）である。信号 700 は、チャージポンプが動作していない場合にはオフされていてよい。波形 702 及び 704 は、例えば接地と 3.5 V との間で切り替わる相補的な信号である。1/2 のサイクルでは、702 は高く、704 は低くなっている。これにより、チャージポンプ内のコンデンサの一方の組が充電される。もう 1/2 のサイクルでは、702 は低く、704 は高くなっている。これによりコンデンサの他方の組が充電される。各コンデンサが充電される際に、直列のダイオードの両側に電位差が生じる。ダイオードが逆方向への電流を遮断

10

20

30

40

50

するためにこの電位は電源に向かう電流を生じることにはできない。この電位は、ダイオードを通り負荷に向かって流れる電流を生じる。各ステージにおいて、電圧は約 3.5 V から損失率を差し引いた分だけ増加する。

#### 【0053】

図 8 は、図 3 に関して図示、説明したような個別のダイオードの代わりに、ダイオードとして接続された金属酸化膜半導体電界効果トランジスタ (MOSFET) を用いた別の例示的なレンズ駆動機構 800 を示している。この実施態様は集積回路においてより一般的であるが、他の回路も可能であり、本発明に基づき、本明細書において述べられるレンズ駆動機構にも用いることができる。クロック入力 830 及び 832 は、チャージポンプコンデンサを駆動する相補的な信号、すなわち、図 3 に示される 302 及び 304、並びに図 7 に示される 702 及び 704 を表す。クロックバッファステージ 802 がダイオードを遮断し、レンズ駆動機構 800 をオフする。スイッチにシュートスルー電流が流れることを防止し、チャージポンプ 800 の適正な動作を保証するためには非重複クロックが必要とされる。この図では、非重複クロックをシミュレーションパラメータとして規定する。当業者であれば、クロックをデジタル制御ブロック内に生成するか、当該技術分野では周知の他の非重複クロック生成回路によって生成することができる点は認識されるであろう。供給部 826 及び 828 は電力供給入力部、すなわち、図 3 に示される 306 及び図 7 に示される 700 を表す。コンデンサ 804、806、808、810、812、814、816、818、820、822 及び 824 が、MOSFET 834、836、838、840、842、844、846、848、850、852、854 及び 856 の間に配置されている。MOSFET スイッチ 834 ~ 856 は、それらのバルク端子が接地されたものとして理解される 3 端子型の装置として示されている。例えばオン電圧及び基板効果といった MOSFET の非理想的条件を考慮してチャージポンプ 800 の動作を最適化するには更なる回路が必要とされる。例えば、チャージポンプ 800 で電圧が高められる際に MOSFET のバルク端子をより高い電圧にバイアスすることができる。本明細書において述べられる例示的なレンズ駆動機構に適した回路では、MOSFET は特殊な高電圧半導体製造プロセスにおいて装置群から適宜選択されることが好ましい。例えば、こうした MOSFET は、出力部においてチャージポンプによって発生される 60 V 以上の高さの電圧に耐えうるだけ十分に高いゲート酸化及びドレーン - ソース間破壊電圧を有することが好ましい。一般的な相補型金属酸化膜半導体 (CMOS) プロセスに使用される標準的な装置は、この例示的なレンズ駆動機構に対する十分な破壊電圧性能を有していない。したがって、高電圧及び高電圧 MOSFET の使用により、場合によりゲート及びウェルバイアスを含む駆動波形は、上記に述べた回路に適したものでなければならない。高電圧のファウンドリに固有の装置モデル及び駆動回路はこの図には示されていないが、当該技術分野における通常の知識を有するものであれば、これらの装置による適切な設計の必要性は認識されるであろう。

#### 【0054】

図 9 は、図 8 の例示的なシステムの各コンデンサの上プレートノードにおける時間に対する電圧のシミュレーションを、最終的な出力電圧とともに示している。この例又はシミュレーションでは、レンズ駆動機構は負荷を 10 ミリ秒で約 43 V にまで充電している。負荷は、実験室での測定から開発されたレンズのモデルである 100 ピコファラドと並列で 2 ギガオームである。図 8 に示される概略図は、各ステージのコンデンサにおいて 1 pF で 1 kHz のクロック周波数で動作させたものである。

#### 【0055】

次に図 10 を参照すると、本発明の例示的な実施形態に基づくレンズ駆動機構を含む電子インサートを有する例示的なコンタクトレンズが示されている。例示的なコンタクトレンズ 1000 は、電子インサート 1004 を含む軟らかいプラスチック部分 1002 を有している。この電子インサート 1004 は、例えば作動に応じて近く又は遠くに焦点を合わせる本明細書に述べられる電子部品によって作動又は制御されるレンズ 1006 を有している。回路 1008 はインサート 1004 に実装され、1 又は 2 以上の電気相互接続ト

レース1012を介して電池などの電源1010に接続されている。電気相互接続トレース1012を介して更なる回路を接続することもできる。回路1008は、1又は2以上のセンサ1014を含む、本明細書に記載される要素のいずれをも含むうる。

【0056】

当業者であれば、可変焦点レンズシステムの更なる実施形態及び変形例が可能であることは認識されるであろう。電圧増幅器への入力は電源と直接接続されてもよく、あるいは電圧調整器の出力と接続されてもよい。このようなシステムは、レンズの端子電圧の柔軟な制御を与えるHブリッジを有してもよく、あるいはシステムが一方の端子への単純なスイッチのみを有し、他方の端子は接地されてもよく、あるいはシステムがスイッチを有さず、レンズがなんらかの形で電圧増幅器の出力に常に接続されるようにしてもよい。それぞれの変形例は、システムのコスト、面積、及び性能又は効率の間のバランスが異なりうる。

10

【0057】

例示的な一実施形態では、電子部品及び電子相互接続はコンタクトレンズの光学領域ではなく、周辺領域に作製される。別の例示的な実施形態に基づけば、電子部品の配置はコンタクトレンズの周辺領域に限定される必要はない点に留意することが重要である。本明細書に述べられるすべての電子要素は、薄膜技術及び/又は透明な材料を用いて製造することができる。これらの技術が用いられる場合、電子要素は光学要素と適合性を有するかぎり、任意の適当な位置に配置することができる。

【0058】

本明細書において述べた回路は、ハードウェア、ソフトウェア、又はハードウェアとソフトウェアとの組み合わせとして実施することができる点に留意することが重要である。更に、本明細書に述べられる回路基板は、柔軟なポリイミド基板上の銅トレースにニッケル/金の表面仕上げを施したものを含む、任意の適当な基板を含むうる。

20

【0059】

本明細書に図示及び説明した実施形態は、最も実用的かつ好ましい実施形態と考えられるが、当業者であれば、本明細書に説明及び図示した特定の設計及び方法からの変更はそれ自体当業者にとって自明であり、本発明の趣旨及び範囲から逸脱することなく使用できることは明らかであろう。本発明は、記載及び例示した特定の構成に限定されるものではないが、付属の特許請求の範囲に含まれうるすべての変更例と整合するように構成されるべきである。

30

【0060】

〔実施の態様〕

(1) 眼内又は眼上の少なくとも一方において使用されるように構成された眼科用装置と、

前記眼科用装置に組み込まれる電子システムであって、制御システム、少なくとも1個のレンズアクチュエータ、及び1又は2以上の電源を含む電力システムを有し、低消費電力に適應するように構成された、電子システムと、

前記眼科用装置に組み込まれる、視力補正及び視力向上の少なくとも一方を行うように構成可能な、電子制御される焦点長を有する光学要素であって、前記電子システムと機能的に関連付けられた、光学要素と、を有する、眼科用器具。

40

(2) 前記眼科用装置がコンタクトレンズを備える、実施態様1に記載の眼科用器具。

(3) 前記コンタクトレンズがソフトコンタクトレンズを備える、実施態様2に記載の眼科用器具。

(4) 前記コンタクトレンズがハイブリッドソフト/ハードコンタクトレンズを備える、実施態様2に記載の眼科用器具。

(5) 前記眼科用装置が眼内レンズを備える、実施態様1に記載の眼科用器具。

【0061】

(6) 前記少なくとも1個のレンズアクチュエータが少なくとも1個の高電圧発生器を備える、実施態様1に記載の眼科用器具。

50

(7) 前記少なくとも1個の高電圧発生器がチャージポンプを備える、実施態様6に記載の眼科用器具。

(8) 前記少なくとも1個の高電圧発生器が、前記光学要素に直流バイアスを与えるように構成されている、実施態様6に記載の眼科用器具。

(9) 前記少なくとも1個の高電圧発生器がオープンループモードで動作するように構成されている、実施態様6に記載の眼科用器具。

(10) 前記少なくとも1個の高電圧発生器がクローズドループフィードバック制御システムを備える、実施態様6に記載の眼科用器具。

【0062】

(11) 前記光学要素が2つの焦点長の一方で作動し、前記レンズアクチュエータが対応するオン及びオフ状態で動作する、実施態様1に記載の眼科用器具。 10

(12) 前記光学要素が3つ以上の焦点長で作動し、前記少なくとも1個のレンズアクチュエータが対応するバイアスの範囲で動作する、実施態様1に記載の眼科用器具。

(13) 前記電子システムが、前記少なくとも1個のレンズアクチュエータを前記光学要素に接続するスイッチネットワークを更に備え、該スイッチネットワークが、前記少なくとも1個のレンズアクチュエータから前記光学要素に供給される電流及びバイアスを制御するように構成されている、実施態様1に記載の眼科用器具。

(14) 前記スイッチネットワークが前記光学要素を放電するように構成可能である、実施態様13に記載の眼科用器具。

(15) 前記スイッチネットワークが、前記光学要素に供給される前記バイアスを交流的に変化させるように構成可能である、実施態様13に記載の眼科用器具。 20

【0063】

(16) 前記スイッチネットワークが、前記少なくとも1個のレンズアクチュエータが電力を保存可能としつつ、光学要素バイアスを維持するために前記光学要素を高絶縁状態に置くように構成可能である、実施態様13に記載の眼科用器具。

(17) 前記電子システムが集積回路上で実施される、実施態様1に記載の眼科用器具。

(18) 前記少なくとも1個のレンズアクチュエータが集積回路内で実施される、実施態様1に記載の眼科用器具。

(19) 前記光学要素が液体メニスカスレンズを備える、実施態様1に記載の眼科用器具。 30

(20) 前記1又は2以上の電源が1つの電池を備える、実施態様1に記載の眼科用器具。

【0064】

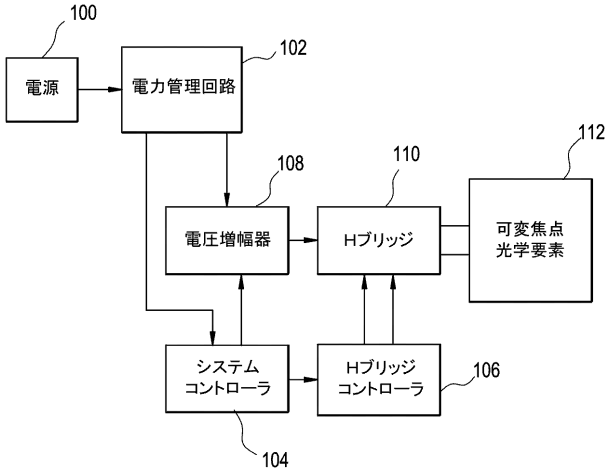
(21) 前記集積回路が回路基板上に組み込まれるか又は回路基板内に組み込まれるかの少なくとも一方である、実施態様17に記載の眼科用器具。

(22) 前記回路基板が環状リングとして構成され、かつコンタクトレンズに組み込まれるように円錐部分に形成されている、実施態様21に記載の眼科用器具。

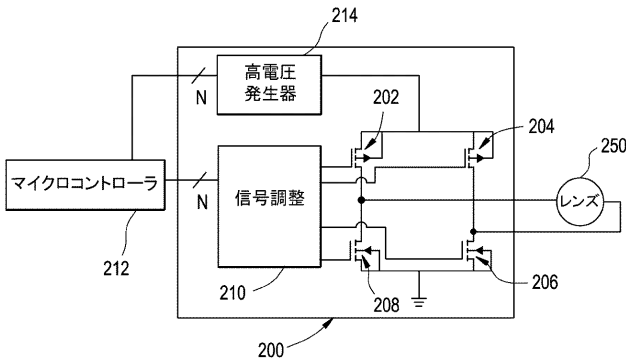
(23) 前記回路基板が環状リングとして構成され、かつ眼内レンズに組み込まれるように円錐部分に形成されている、実施態様21に記載の眼科用器具。 40

(24) 前記回路基板が、金属化トレースを有するポリマー又はプラスチックインサートの少なくとも一方を備える、実施態様21に記載の眼科用器具。

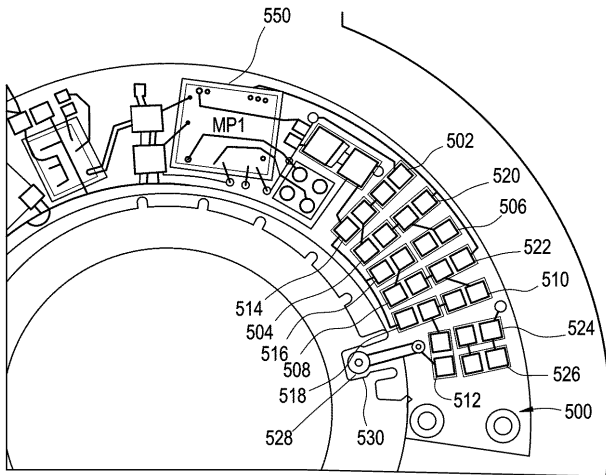
【図1】



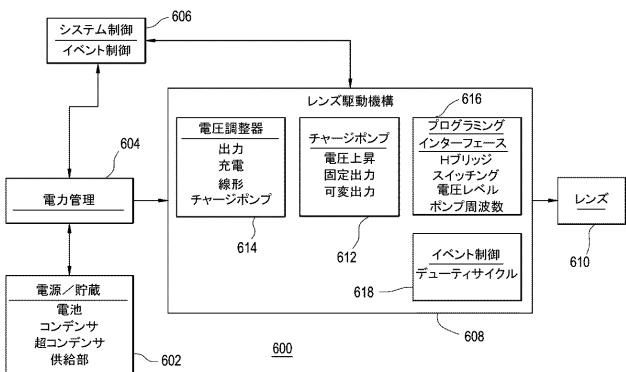
【図2】



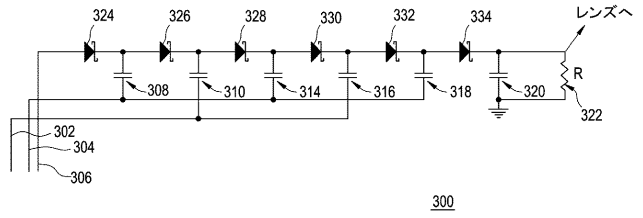
【図5】



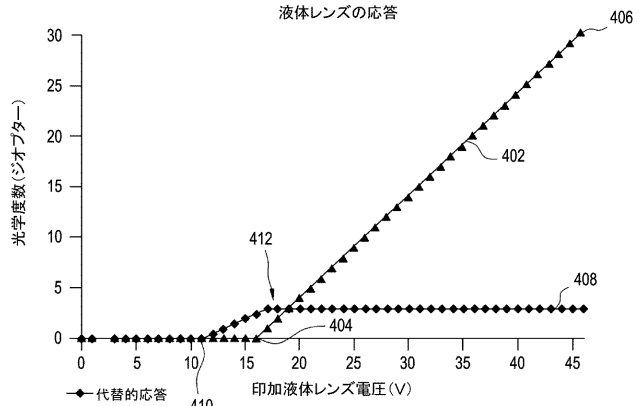
【図6】



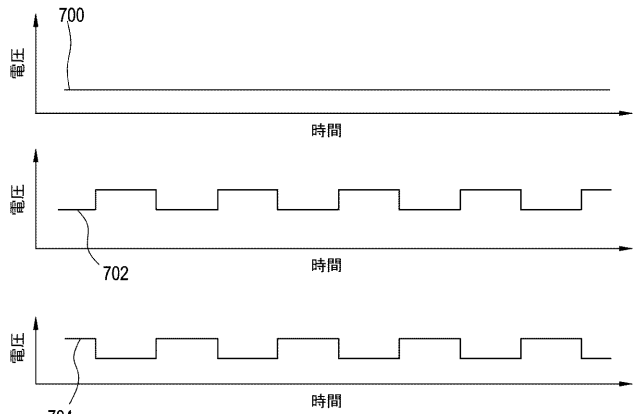
【図3】



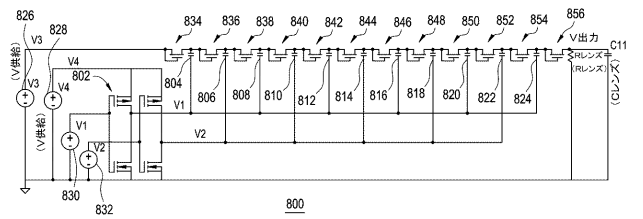
【図4】



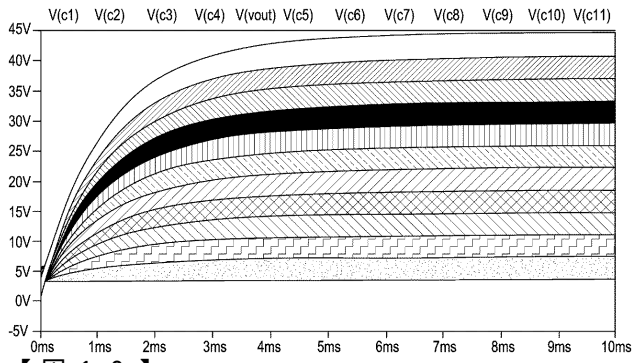
【図7】



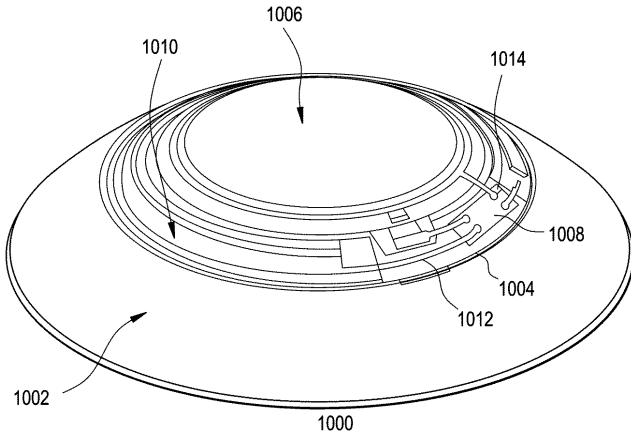
【図8】



【 図 9 】



【 図 10 】



## フロントページの続き

(51)Int.Cl. F I テーマコード(参考)  
**G 0 2 B 26/08 (2006.01)** G 0 2 B 26/08 H

(72)発明者 ダニエル・ビー・オッツ  
 アメリカ合衆国、3 2 2 5 9 フロリダ州、フルーツ・コーブ、ドライ・クリーク・コート 1 0  
 0 5

(72)発明者 スコット・ロバート・ハンフリーズ  
 アメリカ合衆国、2 7 4 1 0 ノースカロライナ州、グリーンズボロ、ミドルベリー・プレイス  
 5 7 0 2

(72)発明者 ウィリアム・チェスター・ニーリー  
 アメリカ合衆国、3 2 9 3 4 フロリダ州、メルボルン、ハーロック・ロード 3 9 5 5

(72)発明者 ランドール・ブラクストン・ピュー  
 アメリカ合衆国、3 2 2 5 9 フロリダ州、セント・ジョンズ、チェスナット・コート 3 2 1 6

Fターム(参考) 2H006 BC00 BC03 CA00  
 2H141 MA12 MB37 MB43 MB51 MC06 MF02 MF21 MF24 MZ15  
 4C097 AA25 BB01 CC01 EE00 SA01 SA04

【外国語明細書】

2013218326000001.pdf