

(19)日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11)特許出願公開番号

特開2003 - 9000

(P2003 - 9000A)

(43)公開日 平成15年1月10日 (2003.1.10)

(51) Int. Cl ⁷	識別記号	F I	テ-マ-ド* (参考)
H 0 4 N 5/335		H 0 4 N 5/335	P 4 C 0 6 1 F 4 M 1 1 8
A 6 1 B 1/04	372	A 6 1 B 1/04	5 C 0 2 4
H 0 1 L 21/339		H 0 1 L 27/14	B
27/148		29/76	301 C

審査請求 未請求 請求項の数 6 O L (全 12数) 最終頁に続く

(21)出願番号 特願2001 - 187651(P2001 - 187651)

(22)出願日 平成13年6月21日(2001.6.21)

(71)出願人 000005201

富士写真フイルム株式会社

神奈川県南足柄市中沼210番地

(72)発明者 倉西 英明

神奈川県足柄上郡開成町宮台798番地 富士

写真フイルム株式会社内

(72)発明者 袴田 和男

神奈川県足柄上郡開成町宮台798番地 富士

写真フイルム株式会社内

(74)代理人 100073184

弁理士 柳田 征史 (外 1 名)

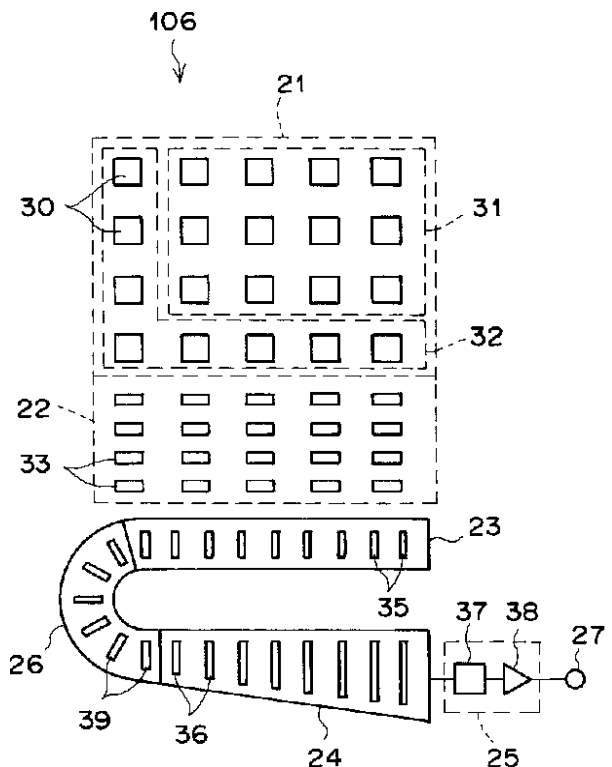
最終頁に続く

(54)【発明の名称】 撮像装置

(57)【要約】

【課題】 増倍率制御信号に基づいた増倍率により電荷を増倍する電荷増倍部を有する固体撮像手段を備えた内視鏡装置において、電荷の増倍率を測定する。

【解決手段】 内視鏡先端に搭載されたC M D - C C D撮像素子106で生体観察部を撮像する。この際、まず遮光領域32で撮像され、増倍率が略1となる増倍率制御信号が印加された電荷増倍部24で増倍された信号電荷に基づいて規準となる出力信号値を記憶する。また同じく遮光領域32で撮像され、規準温度環境下において増倍率Nとなる増倍率制御信号が印加された電荷増倍部24で増倍された信号電荷に基づく出力信号値を記憶し、この出力信号値を規準となる出力信号値で除算することにより、電荷増倍部24における実際の増倍率N'を算出する。増倍率N'が増倍率Nに近づくように増倍率制御信号の電圧を制御して、再度増倍率を測定する。この増倍率測定および電圧調整を繰り返し、増倍率Nを実現する。



【特許請求の範囲】

【請求項 1】 撮像された信号電荷を、印加された増倍率制御信号に基づいて、所定の増倍率で増倍する電荷増倍部を有する固体撮像手段と、前記増倍率制御信号を出力する増倍率制御信号出力手段とを備えた撮像装置において、

前記増倍率制御信号出力手段が、前記増倍率を略 1 とする第 1 の増倍率制御信号と、前記増倍率を略 1 より大きい値とする第 2 の増倍率制御信号とを切り換えて出力可能なものであり、

前記固体撮像手段の遮光された所定の画素で撮像され、前記第 1 の増倍率制御信号が印加された電荷増倍部で増倍された信号電荷と、前記固体撮像手段の遮光された所定の画素で撮像され、前記第 2 の増倍率制御信号が印加された電荷増倍部で増倍された信号電荷とに基づいて前記第 2 の増倍率制御信号が印加された際の前記電荷増倍部における増倍率を算出する電荷増倍率測定手段を備えたことを特徴とする撮像装置。

【請求項 2】 前記電荷増倍率測定手段が、前記固体撮像手段の遮光された所定の画素で撮像され、前記第 1 の増倍率制御信号が印加された電荷増倍部で増倍された信号電荷に基づく第 1 の出力信号値および前記固体撮像手段の遮光された所定の画素で撮像され、前記第 2 の増倍率制御信号が印加された電荷増倍部で増倍された信号電荷に基づく第 2 の出力信号値とを記憶する記憶手段と、前記第 2 の出力信号値を前記第 1 の出力信号値により除算して増倍率を算出する増倍率算出手段とを備えたものであることを特徴とする請求項 1 記載の撮像装置。

【請求項 3】 撮像された信号電荷を、印加された増倍率制御信号に基づいて、所定の増倍率で増倍する電荷増倍部を有する固体撮像手段と、前記増倍率制御信号を出力する増倍率制御信号出力手段とを備えた撮像装置において、

前記増倍率制御信号出力手段が、前記増倍率を略 1 とする第 1 の増倍率制御信号と、前記増倍率を略 1 より大きい値とする第 2 の増倍率制御信号とを切り換えて出力可能なものであり、

前記電荷増倍部以前に所定の信号電荷を注入する電荷注入手段と、

前記電荷注入手段により注入され、前記第 1 の増倍率制御信号が印加された電荷増倍部で増倍された信号電荷と、前記電荷注入手段により注入され、前記第 2 の増倍率制御信号が印加された電荷増倍部で増倍された信号電荷とに基づいて、第 2 の増倍率制御信号が印加された際の前記電荷増倍部における増倍率を算出する電荷増倍率測定手段を備えたことを特徴とする撮像装置。

【請求項 4】 前記電荷増倍率測定手段が、前記電荷注入手段により注入され、前記第 1 の増倍率制御信号が印加された電荷増倍部で増倍された信号電荷に基づく第 1 の出力信号値および前記電荷注入手段により注入され、

前記第 2 の増倍率制御信号が印加された電荷増倍部で増倍された信号電荷に基づく第 2 の出力信号値を記憶する記憶手段と、前記第 2 の出力信号値を前記第 1 の出力信号値により除算して増倍率を算出する増倍率算出手段とを備えたものであることを特徴とする請求項 3 記載の撮像装置。

【請求項 5】 前記電荷増倍率測定手段により算出された増倍率に基づいて、前記増倍率制御信号出力手段から出力される増倍率制御信号の信号特性を制御する増倍率制御手段を備えたことを特徴とする請求項 1 から 4 いずれか 1 項記載の撮像装置。

【請求項 6】 前記固体撮像手段が、内視鏡装置に組み込まれたものであることを特徴とする請求項 1 から 5 いずれか 1 項記載の撮像装置。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、被写体を撮像する撮像装置に関し、特に増倍率制御信号に基づいた増倍率で、撮像された信号電荷を増倍する電荷増倍部を有する固体撮像手段を用いて撮像を行う撮像装置に関するものである。

【0002】

【従来の技術】従来より、光学像を電気信号に変換する CCD などの固体撮像素子を用いて、観察部の光学像を撮像する撮像装置が知られている。近年、特開平7-176721号公報に記載されたような増倍率制御信号に基づいた増倍率で、撮像された信号電荷を増倍する電荷増倍手段を有する固体撮像素子が開発され、この固体撮像素子を搭載することにより、撮像装置の撮像感度の向上および撮像感度の制御が可能となった。すなわち、光学像の光量が、従来の撮像素子を用いて撮像するには不十分な場合であっても、この固体撮像素子を用いて撮像を行えば、視認可能な画像として表示することができ、また適宜撮像感度を撮像条件に合わせて制御可能となった。上記の電荷増倍手段を備えた撮像素子は、CMD (Charge Multiplying Detector) - CCD と呼ばれ、強度の電界領域中で電導電子と原子を衝突させ、このイオン化によって生じる電荷増倍効果により信号電荷を増倍し、撮像素子の撮像感度を向上させるものである。

【0003】電荷増倍手段は、信号電荷を順次信号電圧に変換して出力信号として取り出す電荷検出部より前段において信号電荷を増倍するため、電荷検出部で生じる読出ノイズを増倍することがなく、出力信号の S/N を向上させることができ、光学像の光量が不十分な環境下での撮像を行うことのある撮像装置において、出力信号の S/N の向上を可能とした。また、増倍率制御信号により固体撮像素子における信号電荷の増倍率を可変できるため、これらの電荷増倍型の固体撮像素子を搭載した撮像装置では、撮像感度が制御可能となっている。

【0004】また、従来、固体撮像素子を搭載した内視

鏡装置が広く用いられている。これらの内視鏡装置は、固体撮像素子で撮像した画像をモニタなどに表示することにより複数の人間が同時に観察することができる利点を有し、また、撮像した画像を表示する前に種々の画像処理を施すことにより、肉眼では認識することのできない組織変化などもモニタ上に表示することもでき、医療の発展に大きく貢献している。

【0005】近年では、内視鏡の細径化が進み、従来の消化器系に限らず、気管支や耳鼻咽喉、関節等へも適用されている。しかし、内視鏡の細径化にともない、照明光を伝送するライトガイドの本数も制限されるため、十分な照明光を照射することができない場合が生じ、所望の撮像感度で撮像可能な装置の開発が望まれていた。また、照明光を照射して観察を行なう通常観察の他に、励起光を照射して生体組織が発する蛍光を観察する蛍光観察なども行われている。生体組織が発する蛍光は微弱であり、撮像不可能な場合も生じるため、所望の撮像感度で撮像可能な装置の開発が待たれていた。これらの問題を解決するために、上記の電荷増倍型の固体撮像素子を内視鏡装置へ搭載した装置が、特開2001-29313公報に開示され、その構成および感度制御方法が記載されている。

【0006】

【発明が解決しようとする課題】しかしながら、上記の電荷増倍型の固体撮像素子に組み込まれる電荷増倍手段は、入力された増倍率制御信号に基づいた増倍率で、撮像された信号電荷を増倍するため、増倍率制御信号の信号特性に僅かでも変動が生じると、増倍率が変化してしまう。特に電荷の転送と増倍を同時に行う電荷増倍部により電荷を増倍する場合には、電荷の転送と増倍を数百回繰り返して、所望の増倍率を得ることがある、この場合には、例えば増倍率制御信号の電圧が所定の電圧より1%高かっただけでも、最終的な増倍率は数倍に増加してしまう。例えば増倍率制御信号を発生する駆動素子から撮像素子までの距離が長い場合には、両者を接続する駆動ラインの影響により、撮像素子に達する増倍率制御信号の電圧が所望の電圧からわずかに異なり、そのために増倍率が所望の増倍率と異なってしまう恐れがある。また、撮像素子の温度が変動すると、電荷増倍手段における増倍率が変動してしまう場合もある。このため、所望の撮像感度で撮像が可能な撮像装置を得るためには、設定された増倍率と実際の増倍率を比較して、増倍された出力信号の補正を行う補正手段、あるいは設定された増倍率と実際の増倍率に基づいて、増倍率制御信号の信号特性を制御して増倍率を設定された値に保つ制御手段などを備える必要である。これらの補正あるいは制御等を行う際には、まず増倍率を測定する必要があるが、上記の特開平7-176721号公報および特開2001-29313公報に記載された撮像装置には、具体的な増倍率の測定手段に関しては、記載されていない。

【0007】本発明は、上記事情に鑑みて、増倍率制御信号に基づいた増倍率で、撮像された信号電荷を増倍する電荷増倍部を有する固体撮像手段を備えた撮像装置において、増倍率を測定する具体的な測定手段を備えた撮像装置を提供することを目的とするものである。

【0008】

【課題を解決するための手段】本発明による撮像装置は、撮像された信号電荷を、印加された増倍率制御信号に基づいて、所定の増倍率で増倍する電荷増倍部を有する固体撮像手段と、前記増倍率制御信号を出力する増倍率制御信号出力手段とを備えた撮像装置において、前記増倍率制御信号出力手段が、前記増倍率を略1とする第1の増倍率制御信号と、前記増倍率を略1より大きい値とする第2の増倍率制御信号とを切り換えて出力可能なものであり、前記固体撮像手段の遮光された所定の画素で撮像され、前記第1の増倍率制御信号が印加された電荷増倍部で増倍された信号電荷と、前記固体撮像手段の遮光された所定の画素で撮像され、前記第2の増倍率制御信号が印加された電荷増倍部で増倍された信号電荷とに基づいて前記第2の増倍率制御信号が印加された際の前記電荷増倍部における増倍率を算出する電荷増倍率測定手段を備えたものである。

【0009】上記電荷増倍率測定手段は、前記固体撮像手段の遮光された所定の画素で撮像され、前記第1の増倍率制御信号が印加された電荷増倍部で増倍された信号電荷に基づく第1の出力信号値および前記固体撮像手段の遮光された所定の画素で撮像され前記第2の増倍率制御信号が印加された電荷増倍部で増倍された信号電荷に基づく第2の出力信号値とを記憶する記憶手段と、前記第2の出力信号値を前記第1の出力信号値により除算して増倍率を算出する増倍率算出手段とを備えたものであってもよい。

【0010】ここで、「遮光された所定の画素」としては、暗電流を測定するために受光部に設けられるオプティカルブラック画素や、物理的なシャッタにより遮光された画素、あるいは撮像手段が内視鏡等に設けられるものであれば照明をオフにすることにより遮光と同等状態にされた画素等を意味している。第1の増倍率制御信号により増倍される信号電荷と第2の増倍率制御信号により増倍される信号電荷は同一の画素により撮像されるものであってもよいし、ほぼ同一の電荷を出力すると見なすことができる画素であれば異なる画素により撮像されたものであってもよい。

【0011】本発明による他の撮像装置は、撮像された信号電荷を、印加された増倍率制御信号に基づいて、所定の増倍率で増倍する電荷増倍部を有する固体撮像手段と、前記増倍率制御信号を出力する増倍率制御信号出力手段とを備えた撮像装置において、前記増倍率制御信号出力手段が、前記増倍率を略1とする第1の増倍率制御信号と、前記増倍率を略1より大きい値とする第2の増

倍率制御信号とを切り換えて出力可能なものであり、前記電荷増倍部以前に所定の信号電荷を注入する電荷注入手段と、前記電荷注入手段により注入され、前記第 1 の増倍率制御信号が印加された電荷増倍部で増倍された信号電荷と、前記電荷注入手段により注入され前記第 2 の増倍率制御信号が印加された電荷増倍部で増倍された信号電荷とに基づいて、第 2 の増倍率制御信号が印加された際の前記電荷増倍部における増倍率を算出する電荷増倍率測定手段を備えたものである。ここで、「電荷増倍部以前」とは、電荷増倍部より前段および電荷増倍部を意味している。また、電荷注入手段は、2 回目の電荷注入を行う際には、1 回目の電荷注入を行った際に注入した信号電荷量と略同一の信号電荷量を注入するものである。

【0012】上記電荷増倍率測定手段は、前記電荷注入手段により注入され、前記第 1 の増倍率制御信号が印加された電荷増倍部で増倍された信号電荷に基づく第 1 の出力信号値および前記電荷注入手段により注入され、前記第 2 の増倍率制御信号が印加された電荷増倍部で増倍された信号電荷に基づく第 2 の出力信号値を記憶する記憶手段と、前記第 2 の出力信号値を前記第 1 の出力信号値により除算して増倍率を算出する増倍率算出手段とを備えたものであってもよい。

【0013】さらに、本発明の撮像装置は、前記電荷増倍率測定手段により算出された増倍率に基づいて、前記増倍率制御信号出力手段から出力される電荷増倍率制御信号の信号特性を制御する増倍率制御手段を備えたものであってもよい。また前記固体撮像手段は、内視鏡装置に組み込まれたものであってもよい。

【0014】

【発明の効果】本発明による撮像装置においては、固体撮像手段の遮光された所定の画素で撮像され、増倍率を略 1 とする第 1 の増倍率制御信号が印加された電荷増倍部で増倍された信号電荷と、前記固体撮像手段の遮光された所定の画素で撮像され、前記増倍率を略 1 より大きい値とする第 2 の増倍率制御信号が印加された電荷増倍部で増倍された信号電荷とに基づいて前記第 2 の増倍率制御信号が印加された際の前記電荷増倍部における増倍率を算出する具体的な増倍率測定手段を提供することができる。

【0015】また、上記電荷増倍率測定手段として、遮光された所定の画素で撮像され、前記第 1 の増倍率制御信号が印加された電荷増倍部で増倍された信号電荷に基づく第 1 の出力信号値および遮光された所定の画素で撮像され、前記第 2 の増倍率制御信号が印加された電荷増倍部で増倍された信号電荷に基づく第 2 の出力信号値とを記憶する記憶手段と、前記第 2 の出力信号値を前記第 1 の出力信号値により除算して増倍率を算出する増倍率算出手段とを備えたものを用いる場合であれば、簡単な信号処理により増倍率を求めることができる。

【0016】本発明による他の撮像装置においては、電荷注入手段により注入され、増倍率を略 1 とする第 1 の増倍率制御信号が印加された電荷増倍部で増倍された信号電荷と、電荷注入手段により注入され増倍率を略 1 より大きい値とする前記第 2 の増倍率制御信号が印加された電荷増倍部で増倍された信号電荷に基づいて、第 2 の増倍率制御信号が印加された際の前記電荷増倍部における増倍率を算出する具体的な電荷増倍率測定手段を提供することができる。また、増倍率を算出する際に、遮光された画素で撮像した信号電荷が不要であるため、増倍率の測定が遮光状態の良否により左右される恐れがなく、測定結果の信頼性が向上する。

【0017】また、上記電荷増倍率測定手段として、前記電荷注入手段により注入され、前記第 1 の増倍率制御信号が印加された電荷増倍部で増倍された信号電荷に基づく第 1 の出力信号値および前記電荷注入手段により注入され、前記第 2 の増倍率制御信号が印加された電荷増倍部で増倍された信号電荷に基づく第 2 の出力信号値を記憶する記憶手段と、前記第 2 の出力信号値を前記第 1 の出力信号値により除算して増倍率を算出する増倍率算出手段とを備えたものを用いる場合であれば、簡単な信号処理により増倍率を求めることができる。

【0018】前記電荷増倍率測定手段により算出された増倍率に基づいて、前記電荷増倍率制御信号出力手段から出力される増倍率制御信号の信号特性を制御する増倍率制御手段を備えれば、容易に増倍率を所望の値に制御することができる。

【0019】上記固体撮像手段が、内視鏡装置に組み込まれたものである場合には、内視鏡が体腔内に挿入され固体撮像素子の環境温度が変化して、電荷増倍部における増倍率が変化した場合であっても、その増倍率を測定することができる。

【0020】

【発明の実施の形態】以下、図面を参照して本発明の実施の形態を詳細に説明する。まず、図 1 および図 2 を参照して、本発明による撮像装置を適用した第 1 の具体的な実施の形態である内視鏡装置について説明する。図 1 は内視鏡装置の概略構成図であり、図 2 は本内視鏡装置に搭載される固体撮像手段としての CMD - CCD 撮像素子の模式図である。この内視鏡装置は生体観察部に、照明光である R 光（赤色光）L_r、G 光（緑色光）L_g、B 光（青色光）L_b を順次照射して、観察部で反射された反射光を、増倍率制御信号に基づいた増倍率で信号電荷を増倍する電荷増倍部を備えた CMD - CCD 撮像素子で撮像し、観察部の画像をカラー画像としてモニタ上に表示する面順次方式の内視鏡装置である。

【0021】本発明の第 1 の実施の形態にかかる内視鏡装置は、先端に電荷増倍手段を備えた CMD - CCD 撮像素子を備え、患者の病巣と疑われる部位に挿入されるスコープ部 100、照明光を発する光源を備える照明ユニ

ット110、CMD-CCD撮像素子の動作を制御するCCD制御部120、撮像した画像信号をカラー画像として表示するための画像処理を行う画像処理ユニット130、各部位に接続され、駆動タイミングなどの制御を行うコントローラ140、撮像した画像11を表示するモニタ150から構成されている。

【0022】スコープ部100は、内部に先端まで延びるライトガイド101およびCCDケーブル102を備えている。ライトガイド101およびCCDケーブル102の先端部、即ちスコープ部100の先端部には、照明レンズ104および対物レンズ105を備えている。CCDケーブル102の先端部には、電荷増倍部を有するCMD-CCD撮像素子106が接続され、該CMD-CCD撮像素子106には、プリズム107が取り付けられている。

【0023】CMD-CCD撮像素子106は、図2に示すようにフレームトランスファー型のCCD撮像素子であり、撮像した光学像を信号電荷へ変換する受光部21、信号電荷の一時的蓄積および転送を行う蓄積部22、信号電荷の水平転送を行う水平転送路23、水平転送路23から転送された信号電荷を順次転送する接続路26、接続路26から転送された信号電荷を増倍する電荷増倍部24、信号電荷を信号電圧へ変更し、増幅して出力端子27から画像処理ユニット130へ出力する出力部25を備えている。

【0024】受光部21は、光電変換と、信号電荷の垂直転送を行う垂直転送CCD30が縦n個、横m個並んで構成されている。説明を簡単にするために、図2においては縦4つ横5つの垂直転送CCD30から構成された受光部21を記載しているが、実際のCMD-CCD撮像素子106は、縦横ともに、数百個の垂直転送CCD30が設けられている。なお、受光部21は、通常の受光を行なう受光領域31およびダーク出力補正などに用いるために薄い金属膜等により光遮蔽された遮光領域32から構成されている。遮光領域32には、通常複数個の垂直転送CCD30が設けられ(図2においては、説明を簡単にするために、1つのみ記載)、これらはOPB(Optical Black)画素と呼ばれている。なお、通常の読み出し動作により、受光領域31および遮光領域32に設けられた垂直転送CCD30から電荷信号が読み出される。

【0025】蓄積部22は、薄い金属膜等により光遮蔽され、信号電荷の一時的蓄積および垂直転送を行う垂直転送CCD33から構成されている。水平転送路23は、水平転送CCD35から構成され、接続路26は転送CCD39から構成されている。

【0026】電荷増倍部24は、多数の電荷増倍セル36から構成されている。この電荷増倍セル36は、強度の電荷領域中で伝電子と原子を衝突させ、イオン化によって生じる電荷増倍効果を用いて、入力された電荷を増倍して出力するものである。なお、図2においては、蓄積部22、水平転送路23、接続路26および電荷増倍部24も、受光部21と同様に簡略化されて記載されている。

【0027】出力部25は、信号電荷を信号電圧(出力信号)へ変換する電荷検出部37および出力信号を増幅する出力アンプ38を備えている。

【0028】ライトガイド101は、照明ユニット110へ接続されている。CCDケーブル102は、CMD-CCD撮像素子106の駆動信号が送信される駆動ライン103aと、CMD-CCD撮像素子106から信号電荷を読み出す出力ライン103bが組み合わせられ、駆動ライン103aの一端は、CCD制御部120に接続され、出力ライン103bの一端は、画像処理ユニット130へ接続されている。

【0029】照明ユニット110は、白色光を射出するキセノンランプからなる白色光源111、該白色光源111に電氣的に接続されている光源用電源112、白色光源から射出される白色光を集光する集光レンズ113、白色光をR光、G光およびB光に、順次色分解するための切換フィルタ114、および切換フィルタ114を回転させるフィルタ回転部115を備えている。

【0030】上記切換フィルタ114は、図3に示すように、R光を透過するRフィルタ114a、G光を透過するGフィルタ114b、B光を透過するBフィルタ114cおよび遮光機能を有するマスク部114dとから構成されている。マスク部114dにより、照明光(R光、G光またはB光)が照射されていない間に、CMD-CCD撮像素子106では、受光部21から蓄積部22へ信号電荷が転送される。

【0031】CCD制御部120は、通常のCCD駆動信号および電荷増倍部24における増倍率を制御する増倍率制御信号を出力するCCDドライバ121と、増倍率を測定する際に用いる所定の信号値を記憶する記憶手段122と、増倍率を算出する増倍率算出手段124と、該増倍率算出手段124で算出された増倍率に基づいて、増倍率を所望の値に制御する制御信号を出力する増倍率制御手段125と、該増倍率制御手段125から出力された制御信号をアナログ信号に変換して、CCDドライバへ出力するD/A変換回路126とを備えている。

【0032】記憶手段122は、OPB画素で撮像され増倍率1で増倍された基準となる信号値を記憶するメモリ123aと、OPBで撮像され所定の増倍率で増倍された信号値を記憶するメモリ123bとから構成されている。増倍率算出手段124は、メモリ123bに記憶された信号値をメモリ123aに記憶された信号値で除算することにより電荷増倍部24における増倍率を算出するものである。増倍率制御手段125は、増倍率算出手段124で算出された増倍率が、コントローラ140により設定された増倍率に一致するように、CCDドライバ121から出力される増倍率制御信号の値をフィードバック制御するものである。なお、このフィードバック制御の詳細は後述する。

【0033】画像処理ユニット130は、CMD-CCD撮像素子106で撮像された信号のプロセス処理を行う信号処理回路131、該信号処理回路131で得られた画像信号をデジタル化するA/D変換回路132、デジタル化さ

れた画像信号を各色毎に保存する画像メモリ133、該画像メモリ133から同時化されて出力された3色の画像信号をビデオ信号に変換して出力するビデオ信号処理回路134を備えている。なお、A/D変換回路132は、必要に応じて、デジタル化された信号の一部を記憶手段122へ出力するものである。また、コントローラ140は、各部位に接続され、動作タイミングを制御している。なお、上記記憶手段122、増倍率算出手段124、増倍率制御手段125およびCCDドライバ121は、発明の電荷増倍率測定手段を構成し、特に増倍率制御手段125およびCCDドライバ121は、増倍率制御信号出力手段を構成するものである。

【0034】以下、本発明による第1の実施形態である内視鏡装置の動作について説明する。撮像に先立ち、観察者はスコープ部100を、被験者の体腔内に挿入し、スコープ部100先端を観察部10の近傍に誘導する。

【0035】説明を簡単にするために、最初に通常の撮像を行う際の動作を説明し、その後で増倍率の制御動作に関して説明するが、実際には、撮像動作と増倍率の制御動作とは平行して行われている。

【0036】まず、RGB画像のR画像を取得する際の動作を説明する。コントローラ140からの信号に基づき、光源用電源112が駆動され、白色光源111から白色光が射出される。白色光は、集光レンズ113により集光され、切換フィルタ114を透過する。切換フィルタ114では、コントローラ140からの信号に基づいて、Rフィルタ114aが光路上に配置されている。このため、白色光は、切換フィルタ114を透過するとR光Lrとなる。R光Lrは、ライトガイド101に入射され、スコープ部100の先端まで導光された後、照明レンズ104から観察部10へ照射される。

【0037】観察部10で反射されたR光Lrの反射光は、集光レンズ105により集光され、プリズム107に反射して、CMD-CCD撮像素子106上にR光反射像Zrとして結像される。

【0038】CMD-CCD撮像素子106では、受光部21の垂直転送CCD30において、R光反射像Zrが受光され、光電変換されて、光の強弱に応じた電気信号に変換される。

【0039】所定時間が経過すると、切換フィルタ114では、コントローラ140からの信号に基づいて、マスク部44が光路上に配置される。このためライトガイド101に光が入射されない期間が生じる。この間に、垂直転送CCD30に蓄積された信号電荷は、蓄積部22の垂直転送CCD33へ転送される。

【0040】蓄積部22の垂直転送CCD33に転送された信号電荷は、並列に垂直転送され、水平転送路23の水平転送CCD35に順次送り込まれる。水平転送路23では、水平1ラインの画素の信号電荷が入ると、信号電荷は水平方向に転送され、接続路26を介して、順次電荷増倍部

24の電荷増倍セル36へ転送される。電荷増倍セル36において、信号電荷は増倍率制御信号に基づいて増倍されながら順次転送される。最後の電荷増倍セル36から右端に設けられた出力部25へ出力された信号電荷は、電荷検出部37で信号電圧へ変換され、出力アンプ38で増幅されて、出力端子27から出力信号として出力される。その後、次の水平1ラインの信号電荷が、蓄積部22から水平転送路23へ転送される。このような動作を繰り返すことにより、受光部21の左下の画素から右方向へ順次信号電荷が読み出され、水平1ラインの信号電荷が読み出されると、次にその上の水平1ラインの信号電荷が読み出され、順番に移動して、R画像を形成する全信号電荷が読み出される。下から2段目以降に読み出された出力信号は、図4に示すように、まずCMD-CCD106の遮光領域32で撮像された信号が出力され、続いて受光領域31で撮像された信号が出力される。

【0041】なお、上記の蓄積部22に蓄積された信号電荷の読み出し動作が行なわれている間に、G光Lgが照明ユニット110から照射され、観察部10で反射され、集光レンズ105により集光されて、プリズム107に反射して、G光反射像Zgとして、CMD-CCD撮像素子106で受光されている。また、CMD-CCD撮像素子106における撮像動作は、CCDドライバ120から入力された動作制御信号に基づいて実行されている。

【0042】CMD-CCD撮像素子106より出力されたR画像の出力信号は、画像処理ユニット130の信号処理回路131で、プロセス処理を施されR画像信号として出力され、A/D変換回路132でデジタル信号に変換されて、画像メモリ133のR画像信号の記憶領域へ記憶される。

【0043】以後、同様な動作によりG画像信号およびB画像信号が取得され、それぞれ、画像メモリ133のG画像信号の記憶領域およびB画像信号の記憶領域へ記憶される。

【0044】3色の画像信号が画像メモリ133に記憶されると、表示タイミングに合わせて同時化されて出力され、ビデオ信号処理回路134で、ビデオ信号に変換されて、モニタ150に出力され、カラー画像11として表示される。

【0045】次に電荷増倍部24の増倍率を制御する増倍率制御動作について説明する。通常、電荷増倍部24における電荷増倍特性は、温度により変化するものである。例えば、常温環境で保管されていたスコープ部100が、患者の体内に挿入されて温度が上昇すると、その増倍特性は、図5に示す実線から破線のように変化する。このため、増倍率制御信号の電圧が一定であっても、増倍率が変化してしまう。また、体内温度は個人差があり、予め体内温度を予測して増倍率制御信号の電圧を設定しておくことは困難である。さらに、常温時の増倍特性は既知であっても、温度変化の影響による増倍特性の変化率

は個々の電荷増倍部により異なるため、温度を測定して増倍率制御信号の電圧を補正することはやはり難しい。

【0046】なお、増倍率が所定の値からずれてしまう他の要因として、CCDドライバ121とCCD撮像素子を接続するCCD駆動ラインにおける電圧降下の影響も考えられる。CCDドライバ121からCCD撮像素子間の距離は、個々の内視鏡により異なり、例えばCCDドライバから所定の電圧の増倍率制御信号が出力されていても、CCD駆動ラインにおける電圧降下により増倍率制御信号の電圧にずれが生じてしまう場合がある。増倍率制御信号の電圧の変化に対する増倍率の変化率は、図5に示すように、高い増倍率により増倍している場合に大きくなり、電圧降下の影響による増倍率の誤差が大きくなってしまふ。

【0047】この問題を解決するために、本実施の形態においては、増倍率を測定し、所望の増倍率が得られるように増倍率制御信号の電圧をフィードバック制御している。すなわち、図5に示すように、本来の増倍率として a_1 が設定され、そのために増倍率制御信号の電圧として b_1 が供給されているが、体内温度が高温であるために、実際の増倍率が a_2 にずれてしまっている場合であれば、増倍率制御信号の電圧を b_2 に下げることによって、増倍率として a_1 を実現することができる。逆にCCD駆動ラインの電圧降下の影響により、増倍率制御信号の電圧が下がってしまふと、増倍率が低い方へずれてしまった場合等には、増倍率制御信号の電圧を上げることで、所望の増倍率を実現することができる。このフィードバック制御を行うためには、まず実際の増倍率を測定する必要がある。以下増倍率の測定動作および制御動作の詳細を図6に示したフローチャートを用いて説明する。

【0048】ステップ101では、まず撮像を行う。ステップ102において、増倍率制御手段125は、増倍率が略1となる増倍率制御信号を出力させる制御信号Sを、D/A変換回路126を介してCCDドライバ121へ出力する。CCDドライバ121は、増倍率制御信号として図7の(a)に示すような増倍を行わず単に転送のみを実行する、すなわち増倍率が略1となるパルス信号を増倍率制御信号電圧として出力する。

【0049】ステップ103では、まず受光部21の横1列分の垂直転送CCD30の信号電荷を読み出す。すなわち、CCD撮像素子106の受光部21の一番下の横1列の垂直転送CCD30で撮像した信号電荷を、増倍せずに（すなわち増倍率1で増倍して）、CMD-CCD撮像素子106から読み出す。読みだされた出力信号は、信号処理回路131で信号処理を施され、A/D変換回路132でデジタル化された後、記憶手段133に出力される。なお、A/D変換回路132からデジタル化された信号が出力される際に、受光部21の遮光領域32の画素、すなわちOPB画素の一つで撮像された信号値aが増倍率を測定される際の基準値として記憶手段122へ出力され、メモ

リ123aに記憶される。

【0050】ステップ104において、増倍率制御手段125は、基準温度下であれば増倍率がコントローラ140から入力された目標増倍率Nとなる増倍率制御信号を出力させる制御信号Sを、D/A変換回路126を介してCCDドライバ121へ出力する。CCDドライバ121は、増倍率制御信号として図7の(b)に示すような、規準温度下であれば、電荷増倍部24において増倍率N1で増倍が行なわれる電圧のパルス信号を出力する。

【0051】ステップ105では、受光部21の横1列分の垂直転送CCD30の信号電荷を読み出す。すなわち、本ステップの実行が1回目であれば、CCD撮像素子106の受光部21の下から2番目の横1列の垂直転送CCD30で撮像した信号電荷を増倍して、CMD-CCD撮像素子106から読み出し、n回目であれば、CCD撮像素子106の受光部21の下からn+1番目の横1列の垂直転送CCD30で撮像した信号電荷を増倍して、CMD-CCD撮像素子106から読み出す。読みだされた出力信号は、信号処理回路131で信号処理を施され、A/D変換回路132でデジタル化された後、記憶手段133に出力される。なお、A/D変換回路132からデジタル化された信号が出力される際に、OPB画素の一つで撮像された信号値bが記憶手段122へ出力され、メモリ123bに記憶される。

【0052】ステップ106では、増倍率算出手段124において、メモリ123bに記憶された信号値bをメモリ123aに記憶された信号値aにより除算して、電荷増倍部24における実際の増倍率 $N' = a/b$ を算出し、増倍率制御手段125へ出力する。

【0053】ステップ107において、増倍率制御手段125は、実際の増倍率 N' と目標増倍率Nを比較し、一致していれば増倍率制御信号の調整を終了し、この時点でCCDドライバ121から出力されている増倍率制御信号を以後継続的に出力させる。増倍率 N' が目標増倍率Nよりも大きい場合には、ステップ108へ進み、増倍率が前回の増倍率よりも若干小さくなるように（すなわち増倍率制御信号が分小さくなるように）、新たな制御信号Sを設定し、ステップ105へ戻る。また、増倍率 N' が目標増倍率Nよりも小さい場合には、ステップ109へ進み、増倍率が前回の増倍率よりも若干大きくなるように（すなわち増倍率制御信号が分大きくなるように）、制御信号Sを変更して、ステップ105へ戻る。

【0054】上記の制御を行うことにより、まずステップ101からステップ107において、増倍率を測定することができ、この測定された増倍率に基づいて、ステップ105からステップ109において、増倍率制御信号の調整を行なうことにより、増倍率をコントローラ140により設定された所望の増倍率に一致させることができる。このような制御は、例えば内視鏡を体腔内に挿入

時に、最初に 1 回行ってよいし、1 フレーム撮像する毎に行ってもよい。また、ステップ 107 において、実際の増倍率 N' と目標増倍率 N が一致していた場合であっても、動作を終了させずに、ステップ 105 に戻るようにステップを変更すれば、受光部 21 における水平ライン（横 1 列分の垂直転送 CCD 30）毎に、微調整を繰り返すことができる。

【0055】なお、本実施の形態では、メモリ 123a および 123b において、OPB 画素の中の一つの画素で検知された信号値を記憶させたが、各水平ラインに設けられて 10 いる複数個の OPB 画素の平均信号値を記憶すれば、増倍率の測定精度が向上する。

【0056】また、最初に撮像したフレームの中の所定の OPB 画素の信号電荷を増倍率 1 で読み出して、その信号値をメモリ 123a に記憶し、次に撮像したフレームの同一の OPB 画素の信号値をメモリ 123b に記憶して、順次フレーム毎に増倍率の制御を行なうこともできる。この場合には、実際の増倍率が目標増倍率に達するまでに、数フレーム分の時間が必要であるが、同一の OPB 画素を用いて増倍率を測定するので、OPB 画素の信号 20 値に含まれるダークノイズが OPB 画素毎に異なる場合であっても、精度良く増倍率を測定することができる。

【0057】さらに、最初に撮像したフレームの中の所定の複数個の OPB 画素の信号電荷を増倍率 1 で読み出して、その信号値の平均値をメモリ 123a に記憶し、次に撮像したフレームの同一の複数個の OPB 画素の信号値の平均値をメモリ 123b に記憶して、順次フレーム毎に増倍率の制御を行なうこともできる。複数個の OPB 画素の信号値の平均値を使用することにより、ノイズの影響を受けにくく、増倍率の測定精度が向上する。なお、各 30 フレームの全 OPB 画素の信号値の平均値を用いて、増倍率を測定してもよい。

【0058】また、本実施例のように、金属膜などにより遮光された OPB 画素の信号電荷を用いて増倍率を測定する場合であれば、照明はオン、オフどちらでもよいが、照明をオフにすれば、より確実に遮光された状態での信号電荷を読み出すことができる。また、照明オフの状態、あるいはシャッタ等により受光部 21 を遮光した状態のみで増倍率の測定を行うのであれば、OPB 画素に限らず、受光領域 31 の画素を用いて増倍率を測定する 40 こともできる。

【0059】次に、図 1 および図 8 を参照して、本発明による第 2 の具体的な実施の形態である内視鏡装置について説明する。第 2 の具体的な実施の形態である内視鏡装置の概略構成は、図 1 に示す第 1 の実施の形態の内視鏡装置とほぼ同様であるため、図 1 に番号のみを付す。図 8 は本内視鏡装置に搭載される固体撮像手段としての CMD - CCD 撮像素子の模式図である。なお、図 8 においては、図 2 中の要素と同等の要素には同番号を付してあり、それらについての説明は特に必要の無い限り省 50

略する。

【0060】本発明の第 2 の実施の形態にかかる内視鏡装置は、先端に電荷増倍手段を備えた CMD - CCD 撮像素子を備え、患者の病巣と疑われる部位に挿入されるスコープ部 200、照明光を発する光源を備える照明ユニット 110、CMD - CCD 撮像素子の動作を制御する CCD 制御部 210、撮像した画像信号をカラー画像として表示するための画像処理を行う画像処理ユニット 130、各部位に接続され、駆動タイミングなどの制御を行うコントローラ 220、撮像した画像を表示するモニタ 150 から構成されている。

【0061】スコープ部 200 は、図 1 に示すスコープ部 100 における CMD - CCD 撮像素子 106 の代わりに CMD - CCD 撮像素子 201 が備えられている。他の構成はスコープ部 100 と同様である。

【0062】CMD - CCD 撮像素子 201 は、図 8 に示すようにフレームトランスファー型の CCD 撮像素子であり、水平転送路 23 と電荷増倍部 24 の間に接続路 40 が設けられ、接続路 40 には電荷注入部 41 が接続されている。電荷注入部 41 は、図 9 に示すように、コンデンサ 42、トランジスタ 43 およびトランジスタ 44 から構成されている。この電荷注入部 41 は、増倍率を測定する際にのみ使用されるものであり、図 10 の (a) に示す、転送クロックと同期したリセットパルスをトランジスタ 43 のゲートへ印加することにより、コンデンサ 42 に電荷が蓄積される。さらに、トランジスタ 44 のゲートへ、図 10 の (b) に示すタイミングで、注入パルスを印加することにより、コンデンサ 42 に蓄積された電荷が、接続路 40 へ注入される。これらの電荷の注入は、OPB 画素の信号電荷が、接続路 40 へ転送される直前に行われる。CMD - CCD 撮像素子 201 の出力端子 27 から読み出される出力信号は、1 水平ライン毎に、図 11 に示すように、まず接続路 40 の信号が読み出され、次に遮光領域 32 (OPB 画素) で撮像された信号が読み出され、最後に受光領域 31 で撮像された信号が読み出される。このため、接続路 40 から読み出された信号の中に、注入電荷の信号が含まれる。

【0063】CCD 制御部 210 は、通常の CCD 駆動信号と、電荷増倍部 24 における増倍率を制御する増倍率制御信号と、増倍率を測定する際のリセットパルスおよび注入パルスを出力する CCD ドライバ 211 を備えている。

【0064】増倍率を測定する際には、増倍率制御手段 125 は、増倍率が 1 となる増倍率制御信号を出力させる制御信号 S を、D/A 変換回路 126 を介して CCD ドライバ 211 へ出力する。CCD ドライバ 211 は、増倍率制御信号として増倍を行わず単に転送のみを実行する電圧のパルス信号を出力し、また同時に図 11 に示すタイミングで、リセットパルスおよび注入パルスを出力し、所定の電荷を接続路 40 へ注入する。

【0065】これらの注入電荷および信号電荷は、増倍せずに（すなわち増倍率1で増倍して）、CMD - CCD撮像素子201から読み出され、信号処理回路131で信号処理を施され、A/D変換回路132でデジタル化された後、記憶手段133に出力される。なお、A/D変換回路132からデジタル化された信号が出力される際に、注入電荷に対応する信号値は、記憶手段122へ出力され、増倍率を測定する際の基準値としてメモリ123aに記憶される。また、第1に実施の形態と同様に、次の水平ラインを読み出す際に、CCDドライバ211は、規準温度下

であれば、電荷増倍部24において増倍率Nで増倍が行なわれる電圧のパルス信号を増倍率制御信号として出力する。この際にも、また同時に図11に示すタイミングで、リセットパルスおよび注入パルスを出力し、所定の電荷を接続路40へ注入する。

【0066】これらの注入電荷と信号電荷は、電荷増倍部24で増倍され、CMD - CCD撮像素子201から読み出され、信号処理回路131で信号処理を施され、A/D変換回路132でデジタル化された後、記憶手段133に出力される。なお、A/D変換回路132からデジタル化された信号が出力される際に、注入電荷に対応する信号値が記憶手段122へ出力され、メモリ123bに記憶される。以後第1の実施の形態と同様に、メモリ123bに記憶された信号値をメモリ123aに記憶された信号値で除算することにより、増倍率を算出することができる。また、増倍率制御信号を微調整して、電荷増倍部24における増倍率を所望の増倍率Nに一致させることができる。また、増倍率を算出する際に、遮光された画素で撮像した信号電荷を用いていないため、増倍率の測定が遮光状態の良否により左右されることがなく、測定結果の信頼性が向上する。

【0067】なお、各実施の形態においては、CMD - CCD撮像素子から読み出した信号を、デジタル信号に変換した値から増倍率を測定していたが、変型例として、例えば信号処理部131から出力されたアナログ信号の出力波形の内、OPB画素から出力された信号部分を記憶しておき、その比から増倍率を求めるものも考えられる。信号処理部131からは、増倍率が1の場合には、図12の(a)に示すような信号が出力され、増倍率がN'の場合には、図12の(b)に示されるような信号が出力されているため、図12の(b)におけるbを図12の(a)におけるaで除算することにより、増倍率を求めることができる。

【0068】なお、上記各実施の形態においては、固体撮像手段として、2次元撮像が可能なCCD撮像素子を用いたが、固体撮像手段としてはラインCCDも使用可能である。この場合には、最初に撮像した信号電荷を増倍率1で読み出して、そのOPB画素における信号値に基づいて規準となる信号値を記憶し、次に撮像した信号電荷の中のOPB画素における信号値を記憶して、順次*

*増倍率を算出すればよい。なお、固体撮像手段としては、CCD撮像素子に限定されるものではなく、電荷増倍部により信号電荷の増倍が可能な固体撮像手段であれば、如何なるものでもよい。

【0069】また、本発明の変型例として、接続路から電荷検出部へ直接信号電荷を転送し、その出力信号値を上述の基準値として使用することも可能である。この場合は、その出力信号が「増倍率を略1とする第1の増倍率制御信号が印加された電荷増倍部で増倍された信号電荷に基づく第1の出力信号値」に該当する。

【0070】さらに、他の変型例として、電荷増倍部24で増倍されて出力された信号電荷そのもの（電圧に変換されていないもの）に基づいて、増倍率を測定するものも考えられる。また、接続路から出力された信号電荷を、上述の基準値と同様に使用することが可能である。この場合には、その信号電荷が、「増倍率を略1とする第1の増倍率制御信号が印加された電荷増倍部で増倍された信号電荷」に該当する。特に電荷注入部を備えたもので、かつ注入電荷量が既知のものであれば、注入電荷の電荷量をそのまま、上記の「増倍率を略1とする第1の増倍率制御信号が印加された電荷増倍部で増倍された信号電荷」として用いることもできる。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明による第1の具体的な実施の形態である内視鏡装置の概略構成図

【図2】第1の具体的な実施の形態の内視鏡装置に使用されるCCD撮像素子の模式図

【図3】回転フィルタの概略構成図

【図4】出力信号の波形図

【図5】増倍率制御信号の電圧値、増倍率および温度の関係を示すグラフ

【図6】増倍率測定および制御動作の流れを説明するフローチャート

【図7】増倍率制御信号の説明図

【図8】第2の具体的な実施の形態の内視鏡装置に使用されるCCD撮像素子の模式図

【図9】電荷注入部の回路図

【図10】リセットパルスおよび注入パルスの説明図

【図11】注入電荷信号の説明図

【図12】遮光領域で撮像された出力信号の波形図

【符号の説明】

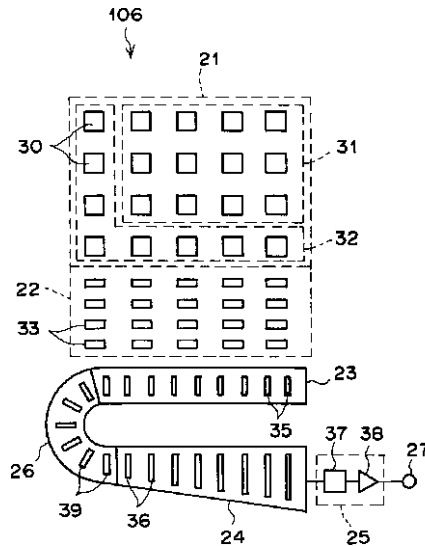
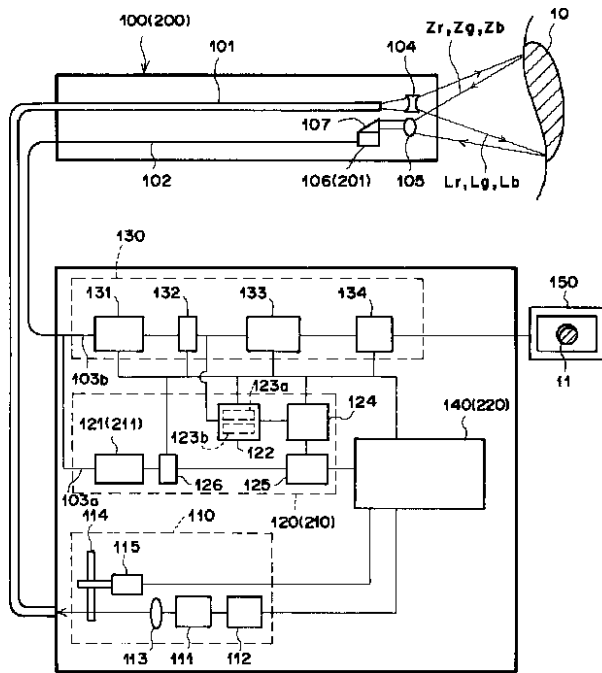
- 11 画像
- 21 受光部
- 22 蓄積部
- 23 水平転送路
- 24 電荷増倍部
- 25 出力部
- 26,40 接続路
- 30,33 垂直転送CCD
- 31 受光領域

- 32 遮光領域
- 35 水平転送CCD
- 36 電荷増倍セル
- 41 電荷注入部
- 100,200 スコープ部
- 106,201 CMD-CCD撮像素子
- 110 照明ユニット
- 120,210 CCD制御部

- *121,211 CCDドライバ
- 122 記憶手段
- 123a,123b メモリ
- 124 増倍率算出手段
- 125 増倍率制御手段
- 130 画像処理ユニット
- 140,220 コントローラ
- * 150 モニタ

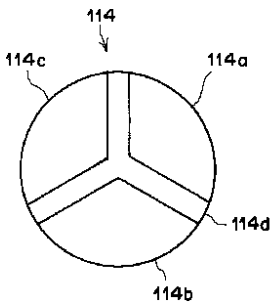
【図1】

【図2】

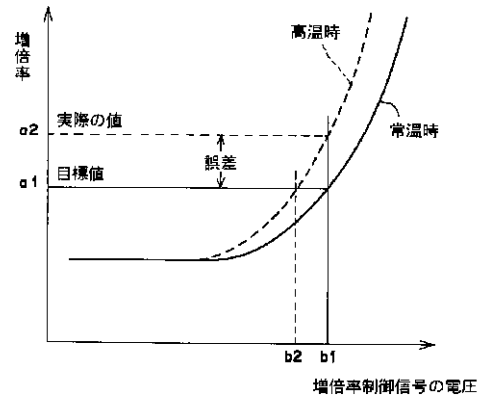
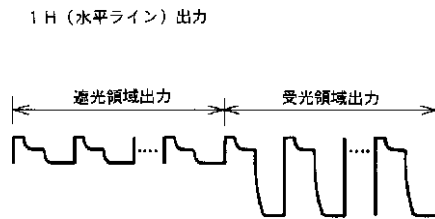


【図5】

【図3】

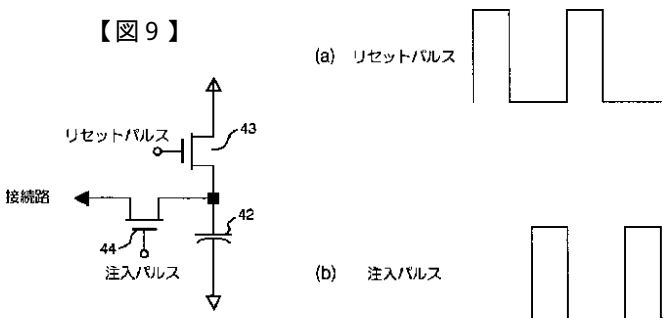


【図4】

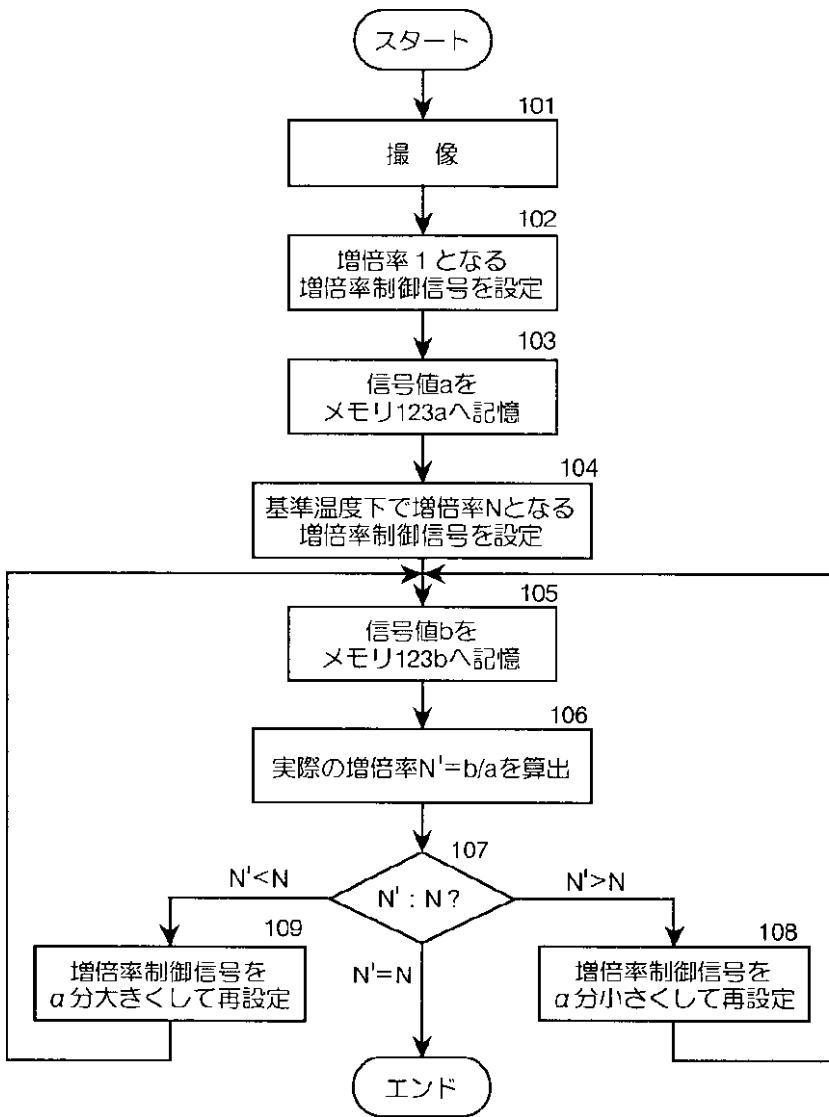


【図10】

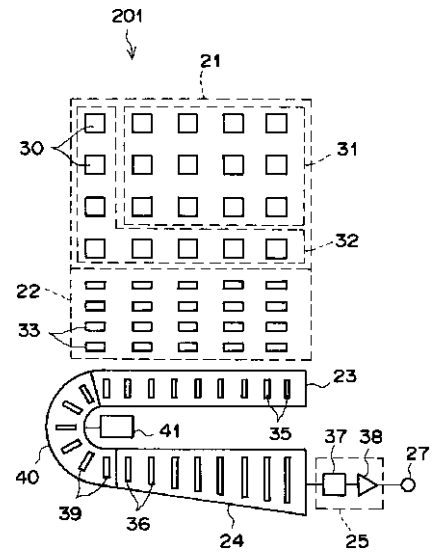
【図9】



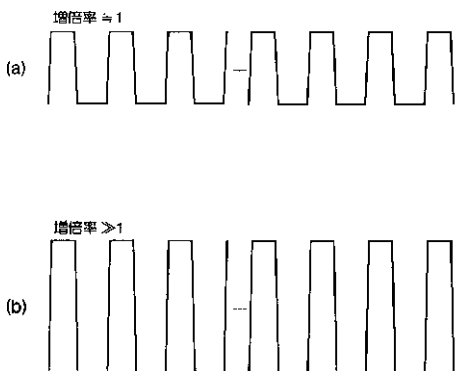
【図6】



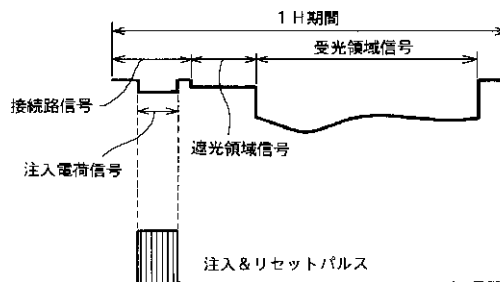
【図8】



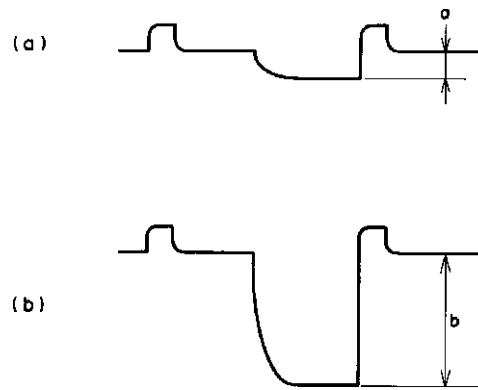
【図7】



【図11】



【図12】



フロントページの続き

(51) Int. Cl.⁷
H 0 1 L 29/762

識別記号

F I

テ-マコ-ド (参考)

F タ-ム (参考) 4C061 AA01 AA07 AA11 AA12 AA13
AA25 BB02 CC06 DD00 LL02
NN01 SS03
4M118 AA10 AB01 BA12 DA16 DA40
FA06 GD03 GD07 GD13 HA23
5C024 BX02 CY44 EX52 GY03 GY44
GZ36 HX55

专利名称(译)	摄像装置		
公开(公告)号	JP2003009000A	公开(公告)日	2003-01-10
申请号	JP2001187651	申请日	2001-06-21
[标]申请(专利权)人(译)	富士胶片株式会社		
申请(专利权)人(译)	富士胶片有限公司		
[标]发明人	倉西英明 袴田和男		
发明人	倉西 英明 袴田 和男		
IPC分类号	A61B1/04 H01L21/339 H01L27/148 H01L29/762 H04N5/335 H04N5/369 H04N5/3725 H04N5/374		
FI分类号	H04N5/335.P H04N5/335.F A61B1/04.372 H01L27/14.B H01L29/76.301.C A61B1/04.530 A61B1/045.630 A61B1/05 H01L27/148.B H04N5/335.690 H04N5/335.725 H04N5/335.740 H04N5/369 H04N5/3725 H04N5/374		
F-TERM分类号	4C061/AA01 4C061/AA07 4C061/AA11 4C061/AA12 4C061/AA13 4C061/AA25 4C061/BB02 4C061/CC06 4C061/DD00 4C061/LL02 4C061/NN01 4C061/SS03 4M118/AA10 4M118/AB01 4M118/BA12 4M118/DA16 4M118/DA40 4M118/FA06 4M118/GD03 4M118/GD07 4M118/GD13 4M118/HA23 5C024/BX02 5C024/CY44 5C024/EX52 5C024/GY03 5C024/GY44 5C024/GZ36 5C024/HX55 4C161/AA01 4C161/AA07 4C161/AA11 4C161/AA12 4C161/AA13 4C161/AA25 4C161/BB02 4C161/CC06 4C161/DD00 4C161/LL02 4C161/NN01 4C161/SS03		
外部链接	Espacenet		

摘要(译)

解决的问题：在具有固态图像拾取装置的内窥镜设备中测量电荷倍增系数，该固态图像拾取装置具有电荷倍增部，该电荷倍增部用于基于倍增因数控制信号将电荷乘以倍增因数。通过安装在内窥镜的尖端上的CMD-CCD图像拾取装置拾取生物体观察部分的图像。此时，首先，基于在遮光区域32中成像并由电荷乘法单元24相乘的信号电荷，存储用作标准的输出信号值，该电荷乘法单元向其施加了乘数约为1的乘数控制信号。。类似地，存储基于在遮光区域32中成像并且由电荷乘法单元24相乘的信号电荷的输出信号值，在标准温度环境下该电荷乘法单元24被施加了具有乘法因子N的乘法因子控制信号。通过将信号值除以参考输出信号值来计算电荷倍增单元24中的实际倍增因子N \times 39。控制乘数控制信号的电压，使得乘数N \times 39接近乘数N，并且再次测量乘数。通过重复该乘法因子测量和电压调整来实现乘法因子N。

