

(19) 日本国特許庁(JP)

## (12) 特許公報(B2)

(11) 特許番号

特許第5319872号  
(P5319872)

(45) 発行日 平成25年10月16日(2013.10.16)

(24) 登録日 平成25年7月19日(2013.7.19)

(51) Int.Cl.

H01L 27/148 (2006.01)  
H04N 5/372 (2011.01)

F 1

H01L 27/14  
H04N 5/335 720

B

請求項の数 18 外国語出願 (全 18 頁)

(21) 出願番号	特願2006-39971 (P2006-39971)
(22) 出願日	平成18年1月20日 (2006.1.20)
(65) 公開番号	特開2006-203222 (P2006-203222A)
(43) 公開日	平成18年8月3日 (2006.8.3)
審査請求日	平成21年1月13日 (2009.1.13)
(31) 優先権主張番号	0501149.9
(32) 優先日	平成17年1月20日 (2005.1.20)
(33) 優先権主張国	英国 (GB)

前置審査

(73) 特許権者	506055379 アンドー テクノロジー パブリック リ ミテッド カンパニー イギリス ノーザン アイルランド ビー ティー12 7エイエル ベルファスト スプリングヴェール ビジネス パーク ミレニアム ウェイ 9
(74) 代理人	100082005 弁理士 熊倉 賢男
(74) 代理人	100067013 弁理士 大塚 文昭
(74) 代理人	100086771 弁理士 西島 孝喜
(74) 代理人	100109070 弁理士 須田 洋之

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】電子増倍CCDの自動較正

## (57) 【特許請求の範囲】

## 【請求項 1】

試験信号を素子から電子増倍管に入力させる段階と電子増倍管の出力から電子増倍管の利得を判断する段階とを含む、少なくとも1つの光検知器を含む素子から受信した信号を使用上増倍するように構成された電子増倍管の利得を判断する方法であって、

前記試験信号は、前記少なくとも1つの光検知器上への電磁信号の入射の不存在下で、該少なくとも1つの光検知器によって発生した電荷を含むか又はそれから導出されたものであり、

クロック誘導電荷及び/又は暗電流を前記素子内で促進させるように、前記素子内で電荷移動を達成するための、少なくとも1つの制御信号を構成する段階を更に含み、

前記少なくとも1つの制御信号の振幅は、電荷移動中にクロック誘導電荷を促進させることを特徴とする方法。

## 【請求項 2】

前記少なくとも1つの制御信号は、周期的信号であり、

前記周期を電荷移動中にクロック誘導電荷を促進させるように設定する段階、  
を更に含むことを特徴とする請求項1に記載の方法。

## 【請求項 3】

前記素子内で電荷移動が達成されるように、少なくとも1つのクロック信号を非逆転モードで動作させる段階を更に含むことを特徴とする請求項1又は2に記載の方法。

**【請求項 4】**

前記電子増倍管の利得が有効にされた時及び該電子増倍管の利得が無効にされた時に前記試験信号を該電子増倍管に入力させる段階と、該電子増倍管の利得が有効にされた時の該試験信号に応答した該電子増倍管の出力を該電子増倍管の利得が無効にされた時の該試験信号に応答した該電子増倍管の出力と比較することによって利得を判断する段階とを更に含むことを特徴とする請求項 1 から請求項 3 のいずれか 1 項に記載の方法。

**【請求項 5】**

前記判断又は測定された利得に応答して前記電子増倍管の利得を調節する段階を更に含むことを特徴とする請求項 1 から請求項 4 のいずれか 1 項に記載の方法。

**【請求項 6】**

前記素子は、少なくとも 1 つの電荷結合素子 ( C C D ) を含むことを特徴とする請求項 1 から請求項 5 のいずれか 1 項に記載の方法。

**【請求項 7】**

少なくとも 1 つの光検知器を含む素子から電子増倍管に試験信号を入力させるための手段と電子増倍管の出力から電子増倍管の利得を判断するための手段とを含む、電子増倍管の利得を検知するための装置であって、

前記試験信号は、前記少なくとも 1 つの光検知器上への電磁信号の入射の不存在下で、該少なくとも 1 つの光検知器によって発生した電荷を含むか又はそれから導出されたものであり、

クロック誘導電荷及び / 又は暗電流を前記素子内で促進させるように、前記素子内で電荷移動を達成するための、少なくとも 1 つの制御信号を構成する手段を更に含み、

前記構成する手段は、前記少なくとも 1 つの制御信号の振幅を、電荷移動中にクロック誘導電荷を促進させるように設定するように構成されている、

ことを特徴とする装置。

**【請求項 8】**

前記少なくとも 1 つの制御信号は、周期的信号であり、

前記構成する手段は、前記周期を電荷移動中にクロック誘導電荷を促進させるように設定するように構成されている、

ことを特徴とする請求項 7 に記載の装置。

**【請求項 9】**

前記電子増倍管の利得が有効にされた時及び該電子増倍管の利得が無効にされた時に前記試験信号を該電子増倍管に入力させる手段と、該電子増倍管の利得が有効にされた時の該試験信号に応答した該電子増倍管の出力を該電子増倍管の利得が無効にされた時の該試験信号に応答した該電子増倍管の出力と比較することによって利得を判断する手段とを更に含むことを特徴とする請求項 7 又は 8 に記載の装置。

**【請求項 10】**

少なくとも 1 つの光検知器及び電子増倍管を有する少なくとも 1 つの電荷結合素子 ( C C D ) を含む装置であって、前記電子増倍管は、前記少なくとも 1 つの C C D から受信した信号を使用上増倍するように構成されており、請求項 7 に記載されている電子増倍管の利得を検知するための装置を更に含む、

ことを特徴とする装置。

**【請求項 11】**

試験信号を素子から電子増倍管に入力させる段階と電子増倍管の出力から電子増倍管の利得を判断する段階とを含む、少なくとも 1 つの光検知器を含む素子から受信した信号を使用上増倍するように構成された電子増倍管の利得を判断する方法であって、

前記試験信号は、前記少なくとも 1 つの光検知器上への電磁信号の入射の不存在下で、該少なくとも 1 つの光検知器によって発生した電荷を含むか又はそれから導出されたものであり、

クロック誘導電荷及び / 又は暗電流を前記素子内で促進させるように、前記素子内で電荷移動を達成するための、少なくとも 1 つの制御信号を構成する段階を更に含み、

10

20

30

40

50

前記少なくとも 1 つの制御信号は、周期的信号であり、  
前記周期を電荷移動中にクロック誘導電荷を促進させるように設定する段階、  
を更に含む、  
ことを特徴とする方法。

**【請求項 1 2】**

前記素子内で電荷移動が達成されるように、少なくとも 1 つのクロック信号を非逆転モードで動作させる段階を更に含むことを特徴とする請求項 1 1 に記載の方法。

**【請求項 1 3】**

前記電子増倍管の利得が有効にされた時及び該電子増倍管の利得が無効にされた時に前記試験信号を該電子増倍管に入力させる段階と、該電子増倍管の利得が有効にされた時の該試験信号に応答した該電子増倍管の出力を該電子増倍管の利得が無効にされた時の該試験信号に応答した該電子増倍管の出力と比較することによって利得を判断する段階とを更に含むことを特徴とする請求項 1 1 又は 1 2 に記載の方法。 10

**【請求項 1 4】**

前記判断又は測定された利得に応答して前記電子増倍管の利得を調節する段階を更に含むことを特徴とする請求項 1 1 から請求項 1 3 のいずれか 1 項に記載の方法。

**【請求項 1 5】**

前記素子は、少なくとも 1 つの電荷結合素子 (CCD) を含むことを特徴とする請求項 1 1 から請求項 1 4 のいずれか 1 項に記載の方法。 20

**【請求項 1 6】**

少なくとも 1 つの光検知器を含む素子から電子増倍管に試験信号を入力させるための手段と電子増倍管の出力から電子増倍管の利得を判断するための手段とを含む、電子増倍管の利得を検知するための装置であって、

前記試験信号は、前記少なくとも 1 つの光検知器上への電磁信号の入射の不存在下で、該少なくとも 1 つの光検知器によって発生した電荷を含むか又はそれから導出されたものであり、

クロック誘導電荷及び / 又は暗電流を前記素子内で促進させるように、前記素子内で電荷移動を達成するための、少なくとも 1 つの制御信号を構成する手段を更に含み、

前記少なくとも 1 つの制御信号は、周期的信号であり、

前記構成する手段は、前記周期を電荷移動中にクロック誘導電荷を促進させるように設定するように構成されている、 30

ことを特徴とする装置。

**【請求項 1 7】**

前記電子増倍管の利得が有効にされた時及び該電子増倍管の利得が無効にされた時に前記試験信号を該電子増倍管に入力させる手段と、該電子増倍管の利得が有効にされた時の該試験信号に応答した該電子増倍管の出力を該電子増倍管の利得が無効にされた時の該試験信号に応答した該電子増倍管の出力と比較することによって利得を判断する手段とを更に含むことを特徴とする請求項 1 6 に記載の装置。

**【請求項 1 8】**

少なくとも 1 つの光検知器及び電子増倍管を有する少なくとも 1 つの電荷結合素子 (CCD) を含む装置であって、前記電子増倍管は、前記少なくとも 1 つの CCD から受信した信号を使用上増倍するように構成されており、請求項 1 6 に記載されている電子増倍管の利得を検知するための装置を更に含む、 40

ことを特徴とする装置。

**【発明の詳細な説明】**

**【技術分野】**

**【0001】**

本発明は、限定はしないが特に「電荷結合素子 (CCD)」に使用される時の電子増倍構造体、及び特にその較正に関するものである。

**【背景技術】**

10

20

30

40

50

## 【0002】

「電子増倍電荷結合素子（EMCCD）」は、CCD装置の一種であり、通常、標準的なCCD作製技術を用いて製造される。公知のEMCCDの例は、「L3Vision（登録商標）」の下でE2Vにより、また、「Impactron（登録商標）」の下でティサス・インストルメンツにより提供されている。CCDと同様に、EMCCDは、光電効果によって画像又は他の光学的データを捕捉するためにカメラ又は他の機器に使用することができる。

## 【0003】

図1は、10として全体的に示す従来の「フレーム転送EMCCD」の概略図である。  
他の種類の従来のEMCCDも存在し、本明細書で以下に説明する本発明もこれらに適用可能であることが理解されるであろう。EMCCD10は、光電セル14又は光検知器のアレイ12を含む。これらは、一般的にピクセルと呼ばれるものである。アレイ12は、一般的に従来のCCDアレイを含む。アレイ12は、一般的に2次元アレイであり、行及び列の数は素子によって異なる。場合によっては、アレイは1次元でもよく、すなわち、單一行のセル14を含む場合がある。CCDの種類の一部では、アレイ12は、第1又は画像区域16及び第2又は記憶区域18を含むことができる。使用中、光子は、画像区域16のセル14上に衝突し、各セル14は、入射放射線のレベルにより1つ又はそれよりも多い電子、すなわち、ある一定の量の電荷を発生する（光発生電子正孔ペア光電効果により）。各セル14、及びより具体的にはそれから導出されたデータは、EMCCD10によって捕捉された各画像又は他のデータセットの要素又はピクセルを提供する。アレイの第2の区域18は、記憶区域と呼ぶことができ、画像区域16で発生したデータ又は電荷は、捕捉後に記憶区域18に転送又は移される。記憶区域18のセル14は、通常は、光子がセルに衝突するのを防止するために、典型的にアルミニウムの堆積層で隠される。

10

20

30

## 【0004】

2次元アレイの場合、シフトレジスタ20、通常は、複数のセル又はステージ23を含むシリアルシフトレジスタは、アレイ12と関連付けられており、これを通して使用中にデータがアレイ12から読み取られる。一般的に、電子又は電荷の形態のデータは、一度に1行づアレイ12からシフトレジスタ20内に転送される。一般的に、シフトレジスタ20の一端22は、電荷-電圧増幅器24に接続され、レジスタ20内のデータは、端部22を通じてレジスタ20から出て増幅器24を通って連続的に移動され、出力信号29を生成する。

30

## 【0005】

セル14及びレジスタ20は、あらゆる適切な半導体材料で形成され、1つのセル14及び23から別のセルへの電子又は電荷の移動又は転送は、クロック信号という好ましい形態の制御信号によって達成される。クロック信号は、一般的に、セル14及び23内の適切な電界の操作によって電子をセル14及び23間で移動又は転送させる電圧信号の形を取る。一般的に、アレイ12の画像区域16から記憶区域18へのデータ又は電子の転送は、第1の組のクロック信号（入力部50で印加）及び第2の組のクロック信号（入力部52に印加）の刻時の組合せによって制御される。記憶区域18からのデータ又は電子の転送（存在する場合）は、第2の組のクロック信号52によって制御され、レジスタ20からのデータ又は電子の転送は、第3の組のクロック信号（入力部54で印加）によって制御される。一般的に、各組のクロック信号は、少なくとも2つ（時には3つ又は4つ）のクロック信号を含み、組内の各信号は、通常は位相と呼ばれ、各それぞれの組は、使用上は各それぞれのセル又はステージ14及び24に印加される。

40

## 【0006】

従来のCCDと比較したEMCCDの重要で顕著な特徴は、シフトレジスタ20の端部22と出力増幅器24との間に構造体26の設置である。この構造体は、通常は半導体電子増倍管を含み、一般的に、EM利得レジスタ又は「電荷増倍レジスタ」と呼ばれる。EM利得レジスタ26は、一般的に、シフトレジスタ、通常はシリアルシフトレジスタの形態を取り、これは、シフトレジスタ20とほぼ類似であり、従って複数のステージ又

50

はセル 27 を含むことができる。EM 利得レジスタ 26 を通じて又はそれからのデータ又は電子の転送は、第 4 の組のクロック信号（入力部 56 で印加）によって制御される。

#### 【0007】

ここで、EMCCD の作動原理を典型的な 3 段 CCD シフトレジスタ構造を参照して説明する。図 2A 及び図 2B は、EM 利得レジスタ 26 としての使用に適切な全体的に 21 として示すシフトレジスタの一部分の概略図を示している。制御信号をレジスタ 21 に印加するために、複数の電極又は端子 28 がレジスタ 21 と関連付けられる。隣接端子 28 は、電位差が隣接端子 28 間で生成されるように異なるか又はそれぞれの制御信号を供給する。隣接端子 28 間の電位差によってレジスタ 21 の関連部分に電界ができ、それによつて電子をレジスタ 21 に沿って 1 つのステージ又はセルから次のものに移動又は転送させる。これは、電荷移動として公知である。制御信号の適切な調整により、電子をレジスタ 21 に沿ってレジスタ 21 の出力部に移動させ、増幅器 24 に供給するための出力信号を生成することができる。従つて、アレイ 12 から得られたデータは、レジスタ 21 に沿つて移動される。

#### 【0008】

この例においては、制御信号は、R1、R2、及び R3 と指定することができる 3 つの電圧クロック信号又は段を含む（代替的に、2 つ又はそれよりも多い段及び対応する制御信号がある場合がある）。通常の CCD シフトレジスタ（例えば、レジスタ 20）に関しては、各段は、それぞれの端子 28 を通じて固定した順序で（例えば、R1、R2、R3）レジスタ 21 の各ステージ又はセルに印加される。レジスタ 21 が EM 利得レジスタとしての役目を果たすことができるよう、付加的な端子 28A が各ステージ又はセルに対して設けられ、この付加的な端子 28A は、固定基準信号（例えば、直流信号）を供給する。一例として、図 2A 及び図 2B においては、電極 28A が、R1 段及び R2 段を供給する電極間に設けられる。電極 28A は、使用中は固定の電位に保持され、隣接電極 28B（この例では R2 段を印加する）が刻時され、すなわち、電荷移動のみに対して必要であるものよりも高い電圧振幅が使用される点を除き、正常として R2 段に対してクロック信号を供給する。例えば、正常な電荷移動の場合、クロック振幅は、実際の CCD 及びその正確な設計に依存するが、一般的に 6 から 15V であり、EM 利得に必要とされるものは、実際の CCD 及びその正確な設計に依存するが、一般的に 20V から 50V である。固定電圧又は直流、電極 28A、及び刻時された電極 28B の構成と、それらの間の相対的に大きな電圧差（これ以降、EM 電圧と呼ぶ）とは、極度の電界（これ以降、EM 電界と呼ぶ）をレジスタ 21 の関連部分にもたらし、これは、移動中の電子が「衝撃イオン化」を引き起こすほど十分に高いものである。「衝撃イオン化」は、図 2B に示すように（当業者である読者は、CCD における通常の電荷移動に精通しているであろうから、明瞭性の理由で増倍移動のみを示す）、新しい電子、すなわち、増倍又は EM 利得を発生する。移動毎の電子の増倍は、相対的に小さいものであり、一般的に X1.01 から X1.015 付近である。これは、大きくないと考えられるであろうが、多数の移動にわたって実行された時には、かなりの EM 利得が達成される。例えば、仮に 591 回の移動（典型的ではあるが限定はしない）にわたって実行される移動毎の X1.015 増倍を用いると、1.015 の 591 乗の利得（6630 の増倍係数）が達成される。このような利得レベルは、EMCCD が最良の ICCD 及び「電子衝撃」CCD（EB-CCD）と同じか又はそれを超えるビット毎の感度を有することを意味する。

#### 【0009】

上述の例を取ると、EM 利得レジスタ 26 に供給される 1 つの電子により、6630 個の電子が出るはずであるが、これは平均で 6630 であり、実際には結果の広がりがあることになることに注意されたい。この増倍の統計的性質が分析され、所定の数の入力電子及び所定の EM 利得に対して EM 利得レジスタ 26 の出力でもたらされるある一定の数の電子の確率  $P_{(n, G, x)}$  を説明する一般式は、次のように与えることができる。

10

20

30

40

## 【数1】

$$P_{(n,G,x)} = \frac{x^{(n-1)} e^{-x/G}}{G^n (n-1)!} \quad [1]$$

ここで、nは入力電子の数、Gは全EM利得、及びxは出力電子の数である。

## 【0010】

EM利得は、EM電圧及び作動温度の関数であり、利得は、一般的に、利得オンの後に利得オフにして、所定の信号、例えば試験信号の比を取ることによって測定することができる。利得オフは、電極28Bにおけるより低いクロック振幅、すなわち、CCDにおける通常の電荷移動に使用されるものと実質的に同じか又は類似である振幅を用いることによって達成することができる。試験信号は、一般的に、安定した光源から生成された試験画像から導出され、生成された電荷の比のみを判断すればよいことから、放射計供給源や特定の波長は不要である。製造時のEMCCD10の較正、すなわち、工場較正では、一般的に、異なるEMクロック電圧及び温度に対してEM利得を測定し、その後にこの情報を使用して望ましい性能を与えるように作動EM電圧範囲を調節する段階を伴う。クロック振幅に対する（又は、より具体的にはEM電圧に対する）EM利得の依存性は、非常に鋭いものであり（特定のEMCCDに対してEMクロック電圧の関数として典型的なEM利得を示す対数目盛に注意して図3を参照されたい）、従って安定した電子的設計が必要である。温度に対する依存性は、それほど鋭いものではないが、良好な作動温度安定性が同じく必要である（異なるEMクロック電圧に対して温度の関数として典型的なEM利得を示す図4を参照されたい）。

10

20

30

40

## 【0011】

一部のEMCCDは、使用量と共にEM利得が減少する時効効果として公知の特定の問題を確かに有する。使用量という用語は、EM電界を通じて加速される電荷蓄積量に関連するものである。時効効果は、電荷が移動中に通過するEM電界強度と組み合わされたEM利得レジスタ26を通過する電荷量に依存するよう見える。それはまた、EM電界強度に非常に強く依存するようにも見え、従って、EMCCD10が高いEM利得で作動する時に、時効速度は、不相応に大きくなる可能性がある。幸いにも、時効効果自体が経時に減少することが既に観察されており、これは、適切に使用すれば、素子も多年にわたって有用なままであるはずであることを意味している。

## 【0012】

時効効果の説明は、十分に理解されていないが、高い電界を通じて電荷を加速することは、EM電極28Bとレジスタ26のステージ27が形成される活性シリコン（又は、他の半導体材料）との間に設けられた二酸化シリコンから一般的に形成される絶縁層（図示せず）に電荷を埋め込む状態にさせると仮定される。この緩やか電荷の蓄積は、電極28Bによって生成された電界強度を実質的に低減すると仮定されている。関連する機構とは無関係に、この電界強度の減少は、EM電圧を上げることによって補正することができる。しかし、これは、通常はEMCCD10の再較正、すなわち、本質的に工場較正の繰返しを必要とする。この較正を繰返し、カメラをその最初の性能に戻すようにEM電圧範囲に対する調節を行うことができると考えられる。代替的に、新たな較正データを記録して実際の調節を全く行うことなく使用することもできるであろうが、いずれの方法でも、EM利得の再較正又は測定が必要である。

## 【0013】

EM利得の温度依存性は、それが経時変化せず、温度に鋭く依存しないために有意な問題ではない。従って、EMクロック振幅又はEM電圧のどの再較正も1つの温度で行い、他の温度に外挿することができる。唯一の条件は、選択した温度が、理想的には予想作動温度の範囲内であるべきであるということである。高性能カメラは、一般的に -50 と

50

-100 の間で作動し、一方、量産市場カメラは、一般的に -20 と 0 の間で作動すると考えられる。

#### 【0014】

上述のように、クロック振幅に対する EM 利得の依存性は非常に鋭く、経時変化がシリコン（又は、レジスタ 26 が作られる他の半導体材料）内に使用される EM 電界に強く依存するので、望ましい利得を達成するのに要求されるよりも高くなない電界を使用すべきであり（すなわち、通常作動範囲内）、それ以外の場合には、時効効果が加速される。従つて、あらゆる較正手順を慎重に制御する必要がある。これは、製造時には比較的簡単であろうが、ユーザ側のサイトで行われる時には、特に経験の浅いユーザによって行われる時には問題である。定期的な工場での再較正は一解決策ではあるが、これは、EMCCD を収容する機器、典型的にはカメラを工場に戻すことを必要とするであろうし、いざにせよ、ユーザは、EM の測定なしに較正が必要であるということを知ることができない。

10

#### 【発明の開示】

##### 【発明が解決しようとする課題】

#### 【0015】

従つて、ユーザ及び／又は余分な外部ハードウェア（例えば、安定化された光源）による技能を伴う介入の必要なしに EMCCD の自動的な再較正を容易にすることが望ましいと考えられる。

#### 【課題を解決するための手段】

#### 【0016】

20

従つて、本発明の第 1 の態様は、使用上、少なくとも 1 つの光検知器を含む素子から受信した信号を増倍するように構成された電子増倍管の利得を判断する方法を提供し、本方法は、試験信号を素子から電子増倍管に入力させる段階と、電子増倍管の出力から電子増倍管の利得を判断する段階とを含み、この試験信号は、上述の少なくとも 1 つの光検知器上への電磁信号の入射以外の理由により、この少なくとも 1 つの光検知器によって発生した電荷を含むか又はそれから導出されたものである。

#### 【0017】

一部の実施形態では、試験信号は、暗電荷又は暗電流を含むか又はそれから導出される。代替的に又はそれに加えて、試験信号は、クロック誘導電荷（CIC）又は疑似電荷を含むか又はそれから導出される。暗電荷は、暗電流の結果として蓄積する電荷又は電子である。CIC はまた、「疑似電荷」としても公知である。

30

一実施形態では、本方法は、電子増倍管の利得が有効にされた時及び電子増倍管の利得が無効にされた時に試験信号を電子増倍管に入力させる段階と、この利得が、電子増倍管の利得が有効にされた時の試験信号に応答した電子増倍管の出力を電子増倍管の利得が無効にされた時の試験信号に応答した電子増倍管の出力に比較することによって判断される段階とを含む。

#### 【0018】

本方法は、上述の素子内の暗電流及び／又は CIC を増大させるか又は促進させる段階を更に含むことができる。これは、あらゆる適切な手段により、例えば、1 つ又はそれよりも多い制御装置又はクロック、上述の装置内の電荷の移動を達成する信号の適切な選択及び／又は構成により達成することができる。例えば、電荷移動中に CIC を促進させるほど十分に高い振幅を有するように上述のクロック信号の 1 つ又はそれよりも多くを設定することにより達成される。一般的に、振幅は、電荷移動を達成するのに通常使用される振幅を少なくとも 25%、好ましくは少なくとも 50% 超えるものである。暗電流は、例えば、上述のクロック信号の 1 つ又はそれよりも多くが外されるように構成することによって増大させることができる（これは、暗電流のマグニチュードの 1 から 2 衍の増大をもたらすことができる）。CIC は、代替的に又はそれに加えて、上述のクロック信号の少なくとも 1 つの周期を典型的には約 10 ミリ秒を超える程度、及び好ましくは数十ミリ秒まで増大させることによって促進させることができる。

40

#### 【0019】

50

別の実施形態では、電子増倍管の利得は、電子増倍管の利得が有効にされた時の上述の試験信号に応答して電子増倍管の出力の特性を分析することによって判断される。好ましくは、この特性には、電子増倍管へのそれぞれの単一電子の入力によって引き起こされるイベントが含まれる。分析には、既知の出力結果（例えば、曲線当て嵌め又は他の数学的技術による）又は予測された出力結果（例えば、曲線当て嵌め又は他の数学的技術による）に対して検出又は測定出力の特性を比較する段階を伴う場合がある。

好ましい実施形態では、本方法は、判断された又は測定された利得に応答して電子増倍管の利得を調節する段階を更に含む。

#### 【0020】

本発明の第2の態様は、電子増倍管の利得を検知するための装置を提供し、この装置は、少なくとも1つの光検知器を含む素子から電子増倍管に試験信号を入力させるための手段と、電子増倍管の出力から電子増倍管の利得を判断するための手段とを含み、この試験信号は、上述の少なくとも1つの光検知器上への電磁信号の入射以外の理由により、この少なくとも1つの光検知器によって発生した電荷を含むか又はそれから導出されるものである。好ましい実施形態では、この装置は、少なくとも1つのCCD又はEMCCDを含む。

10

#### 【0021】

本発明の第3の態様は、少なくとも1つの電荷結合素子（CCD）と電子増倍管とを含む装置を提供し、電子増倍管は、使用上、少なくとも1つのCCDから受信した信号を増倍するように構成されており、この装置は、更に、本発明の第2の態様の装置を含む。

20

便利な態様においては、本発明の方法は、マイクロプロセッサ、マイクロコントローラ、又は装置に含まれるか又は装置に関連する他のコンピュータによって実行することができるコンピュータソフトウェア又はコンピュータプログラムコードによって全体的又は部分的に実施することができる。

#### 【0022】

本発明の第4の態様は、コンピュータに本発明の第1の態様の方法を実行させるためのコンピュータプログラムコードを含むコンピュータプログラム製品を提供する。

本発明の更に別の有利な態様は、本発明の特定的な実施形態の以下の説明を考察すれば当業者に明らかになるであろう。

本発明の特定的な実施形態を例示的に添付図面を参照して以下に説明する。

30

#### 【発明を実施するための最良の形態】

#### 【0023】

本発明は、図1に示す一般的なタイプのEMCCDと共に、又はあらゆる他のCCDタイプ、例えば、フレーム転送（FT）、インターライン、フルフレーム（FF）、「フレームインターライン（FI）」、及びその他と共に使用することができる。これ以降に示す実施形態は、特定のEMCCDの関連で説明されており、当業者には明らかなように、本発明があらゆる他のEMCCDに適用可能であることは理解されるであろう。

#### 【0024】

EM利得が低下するか又は減少した時を判断するための手段を提供する。好ましくは、EM利得の再較正又は調節のための手段も提供する。選択した較正方法は、カメラ（又は、EMCCDが一部を形成する他の装置）の正確な使用法に依存すると考えられる。例えば、EMCCDベースの装置（例えば、カメラ）の2つの典型的な使用が存在する。

40

1)より大きな計器（例えば、DNAチップ読取装置）の内側で定期的な測定を行う装置／カメラ。このような計器は、通常、その作動の異なる態様に対して定期的な診断を行い、これらは、EM利得の較正又は調節の理想的な時になると考えられる。

2)装置／カメラがデータを連續的に取得している用途（例えば、監視）。このような用途においては、装置の通常の連続作動を妨げない較正方法を用いることが望ましいと考えられる。

#### 【0025】

装置／カメラの用途がどのようなものであっても、あらゆる較正は、EM利得を測定す

50

るための手段を有することを伴っている。EM利得測定を行うために、ある一定量の制御された電荷、すなわち、1つ又はそれよりも多い電子を利得レジスタ26に供給することが可能である必要がある。この電荷の発生原はどこであって重要なことではなく、最も自明の光源は、外部光信号である。従来であれば、これは、光の漏れがなくカメラに取り付けることができる外部の安定化された光源を含むことになる。一部のCCDには、素子自体に内蔵された電荷注入ゲート(CIG)構造が装備されている。CIGを使用すると、電荷を供給することができるが、現行のEMCCDは、CIGを含まない傾向があり、いずれの場合にも、既存のCIGは、この目的に理想的なものではない。新しい設計には、EM利得較正を目的として特別設計されるこのような又は類似の構造を含むことができるであろう。安定化された光源であれば、装置/カメラに内蔵することができ、これは、他の理由で既に以前から行われている(非EMCCDカメラの場合)。これは機能するであろうが、多少の問題があり、大きな問題は、内部光源が通常使用時に入射光を妨げてはならないということであり、それと付加的な経費である。

#### 【0026】

本発明の好ましい実施形態では、EM利得を測定するために信号源として暗電流及び/又は「クロック誘導電荷(CIC)」を利用すること、すなわち、電荷又は1つ又はそれよりも多い電子をEM利得レジスタ26に供給することが提案されている。

「クロック誘導電荷(CIC)」は、「疑似電荷」としても公知であり、通常の刻時処理中に時折り発生する電荷である。この現象は、EMCCDに独特のものではなく、全ての種類のCCDに存在するが、CCD又はEMCCDが適正に作動している時には、発生する電荷量は、無視することができるほど少量である可能性があり、例えば、10回又は100回の移動毎に電子1つだけ又は更にそれよりも少ない電子を発生する場合がある。

#### 【0027】

暗電流は、漏れ電流と呼ぶこともあり、CCD又はEMCCDに存在するがCCD/EMCCDアレイ上への放射線の入射からは生じない背景信号又は電流を含む。暗電流は、主として熱的に生成された自由電子の結果として生じる。

暗電流及び/又はCICをEM利得測定の信号源として使用することを提案する。2つの好ましい方法に対してこれ以降に説明する。

1) EM利得の印加の有無を問わず暗電流及び/又はCICの量を測定し、それぞれの検出暗電流及び/又はCIC値の比率を取ってEM利得を確かめる。必要であれば、測定を容易にするために暗電流及び/又はCICを強化するようにクロックレベル及びパターンを通常の設定から変えることができる。

2) 必ずしも通常の設定からクロックレベル又はパターンを変えることなく、先の式1を通じて暗電流及び/又はCICから生じる離散的な単一イベントの統計的分布を用いてEM利得を確かめる。

#### 【0028】

方法1は、十分な暗電流及び/又はCICがある場合に使用することができる。従来であれば、これは、適度に冷却された装置/カメラ、例えば、-30及びそれよりも高い温度に本方法を限定すると考えられたであろう。これは、以下で説明するようそうではない。通常、EMCCD機器の製造業者は、深い冷却(通常は-50よりも低い)により及びCCDチップの慎重な刻時により、それぞれ、暗電流及びCICの両方を最小限に抑えるように努力している。高性能の装置/カメラにおいては、暗電流及びCICの通常のレベルは非常に低く、実際的には有用な精度で較正を行うのに十分な電荷を捕捉するには何時間も又は恐らくは何日も掛かるであろう。しかし、高性能の科学用カメラに一般的に使用されている種類の適切な電子ハードウェア及びソフトウェアを用いて、CCD/EMCCDは、暗電流又はCICのいずれか又は両方を通常の使用中に一般的に存在するレベルを超えて増大するように作動させることができる。一例として、暗電流は、外された(非逆転モード)刻時パターン又は信号を使用して増大させることができる。一般的に、これは、クロック信号の低いレベルが、クロックサイクルの低周期の間に表面暗電流(これは暗電流の最大成分である)を抑制するほどCCD基板に対して十分に低い電位である

10

20

30

40

50

値に結び付けられていない又は結合されないことを意味する。CCDを刻時する時に通常使用されるであろう振幅よりも高いクロック振幅を使用して、CICを増大させることができる。例えば、クロック信号の通常の振幅が10から12Vの領域にある場合、約15V又はそれよりも大きい振幅への増加は、望ましいCICの増加を達成するべきである。一般的に、少なくとも25%、より好ましくは少なくとも50%の増加が好ましい。代替的に又はそれに加えて、クロック時期の変化は、CICを増大させることができる。例えば、クロック時期は、CICを促進させる長さまで長くしてもよい(CCDの通常の作動中に使用されるクロック信号の周期と比較して)。これは、通常の電荷移動に使用される時の数マイクロ秒又はそれ未満に比べると典型的には数十マイクロ秒である。前者の任意選択肢は、最大電極電圧定格値を超えることなく、移動あたり1電子までの非常に多量の信号を発生することができる。CIC発生は、CCD温度とほとんど無関係であり、これは、暗電流が実用としては小さすぎる場合がある深く冷却されたシステムには重要なことである。「衝撃イオン化」は非常に温度依存性であるが、状態寿命の負の温度依存性を考慮した時には、CIC発生が単に僅かに温度依存性であることが見出されるので、CICが非常に温度依存性であるということは一般的な誤解である。

#### 【0029】

CICを増大させる方法は、画像区域16、記憶区域18、シリアルレジスタ20、及び/又はEM利得レジスタ26を含む、EMCCD10のあらゆる部分又は2つ又はそれよりも多い部分の組合せに適用することができる。集積、ピンニング、及び/又は蓄積の様々な通常のCCD読み取り方法又はその組合せを用いても測定を容易にすることができる。これは、いかなる外部の安定化された光源又は他の外部装置の必要もなく、EM利得の正確な較正を短時間で行うことができることを意味する。場合によっては、ユーザ/オペレータは、EM利得測定/較正が行われている時にカメラが暗闇にあることを確実にする必要があるであろう。装置/カメラが一体化シャッタを有する場合、作動全体は、測定/較正作業(一般的にシャッタを閉じさせることを伴うと考えられる)の開始は別として、いかなるユーザ入力もなしに行うことができる。フレーム転送CCD(FT)又はインターラインCCDの場合は、各CCDタイプが覆われた記憶区域を有し(通常は、典型的にアルミニウムで形成された直接に付加されたマスクにより)、これらの区域を利用して増大したCIC又は暗電流を発生させることができるので、シャッタさえも不要である場合がある。このような場合、画像区域16は、刻時されないのであるし、また、存在する場合は、CCD10のアンチブルーミング機能は、画像区域に発生しているあらゆる過剰電荷を排出するであろう。更に、一般的にはPC又は他の外部コンピュータであるが、代替的に又はそれに加えて搭載型マイクロプロセッサを含むことができる制御コンピュータ(図示せず)は、とりわけ、クロック信号を含むEMCCD10の作動を制御するが、そのリアルタイムクロックを使用して自動的又は定期的にユーザに較正/利得測定手順の実行を喚起するようにプログラムすることができる。代替的に、制御コンピュータは、そのリアルタイムクロックを使用して、ユーザが知る必要さえもなく所定の間隔でEM利得を自動的に検査して次に自動的に調節するようにプログラムすることができる。この自動的な検査及び較正是、装置/カメラの通常の意図された使用法を妨げないと考えられる時期、例えば、カメラソフトウェアの実行後又は連続作動システムに対しては夜間に行うことができる。

#### 【0030】

ここで、第1の方法の特定的な実施形態を一例として説明する。この実施例においては、単に例示的であるという目的のために、EMCCD10は、公知の市販EMCCDチップ、すなわち、E2Vによって供給されるようなCCD97を含むと仮定される。EM電圧対EM利得の較正是、单一のCCD作動温度に対して行われる。同じ較正を他の温度に対しても行うことができるが、上述のようにこれは不要と考えられる。

#### 【0031】

CCD97は、512×512ピクセルの活性画像区域を含むFTのCCD装置であり、図1に示すEMCCDと類似のものである。それは、60電子RMSの読み取りノイズで1

10

20

30

40

50

1 M H z の最大ピクセル読取速度を有するが、アンチブルーミングを有していない。完全なデータシートは、「e 2 v . c o m」ウェブサイトから取得することができる。この実施例においては、これらの温度では暗電流が実用には低すぎることになるので、低温作動の最も要件の厳しい場合は、- 5 0 と - 1 0 0 の間であるとも仮定されている。このような温度では、C I C 発生による信号を用いることを提案する。画像区域 1 6 及び記憶区域 1 8 が振幅 1 5 V のクロック信号で刻時される時には、各セル 1 4 は、C I C の形で垂直移動あたり（すなわち、レジスタ 2 0 に向う下方の移動（図 1 で見た時））0 . 5 電子（このC C D に対する一般的な値、かつこれ以降に例示的な目的で使用される値）を生成することも更に仮定される。このクロック振幅は、通常の電荷移動作動及び低いC I C に必要とされるものを約 4 ボルト越えるものである。

10

#### 【 0 0 3 2 】

この実施例においては、アレイ 1 2 は、実質的に入射光から隔離されるべきである。これは、シャッタを開じることにより、又は、装置 / カメラにシャッタがない場合には、装置 / カメラを暗闇に配置することによって達成することができる。C C D 9 7 はアンチブルーミングを有していないので、画像区域上に落ちるどの光も電荷を引き起こし、すなわち、それを発生してE M 利得測定中に画像区域から記憶区域の中にブルーミングする可能性があると考えられるので、E M 利得測定を行うのに、遮蔽された記憶区域 1 8 だけを使用することにはならない。従って、アレイ 1 2 は、暗闇に保持されるべきである。

有利な態様では、一連の「きれいに保つ」走査を行ってE M C C D 1 0 に存在することがあるあらゆる光発生残留電荷を除去する。この走査は、それがE M C C D 1 0 全体を読み取る限り、広範囲の読み取作動のいずれも含むことができる。

20

#### 【 0 0 3 3 】

出力信号 2 9 は、E M 利得が達成されることなく測定又は記録される。これは、電荷移動は達成されるが、E M 電圧は「衝撃イオン化」を引き起こさないように、E M 利得レジスタ 2 6 に対する制御又はクロック信号 5 6 を設定することによって達成することができる。図示の実施例においては、これは、電荷移動のみを達成するのに通常使用されるか（この実施例では約 1 1 V ）、又は少なくとも「衝撃イオン化」を引き起こすほど十分には高くない振幅を用いて、電極 2 8 B でクロック信号を用いることによって達成することができる。

#### 【 0 0 3 4 】

30

出力信号 2 9 から測定値を取るために、試験信号をE M 利得レジスタ 2 6 に供給する必要がある。簡素化のために、このC C D 上に存在する暗い基準ピクセル及び他の非画像ピクセルは、それらを考慮することが基本原理又は以下で引き出す結論に影響を与える、単に実施例を追って行くことをより困難にするだけなので無視することにする。この実施例では、E M 利得レジスタ 2 6 に対する試験信号を取得するために、電荷又は電子は、この実施例では垂直方向に（図 1 で見た時）1 0 2 4 個のセル 1 4 及び水平方向に（図 1 で見た時）5 1 2 個のセル 1 4 を含むC C D アレイ 1 2 の全て（画像区域 1 6 及び記憶区域 1 8 の両方）から集められる。代替的に、電荷 / 電子は、画像区域 1 6 、及び / 又は記憶区域 1 8 、及び / 又はレジスタ 2 0 、及び / 又はE M C C D 1 0 内のあらゆる他の光電セルから集めることができる。

40

#### 【 0 0 3 5 】

例示的なアレイ 1 2 が最大解像度画像として読み出される場合、それは、単に平均で 0 . 5 電子 / ピクセルを与えるだけである。従って、アレイ 1 2 の全ての 1 0 2 4 個の垂直セルの行をそれぞれの单一の蓄積値にピンニングし（得られる電子 / 電荷は、レジスタ 2 0 のそれぞれのステージに格納される）、蓄積値の各々を单一の線（すなわち、レジスタ 2 0 の一連の読み出しが好ましい。これは、「完全垂直ピン処理（F V B ）」として公知である。他の従来の読み出方法を代替的に使用することができることが理解されるであろう。

#### 【 0 0 3 6 】

これを達成するために、アレイ 1 2 の画像区域 1 6 及び記憶区域 1 8 の電荷移動を制御

50

するそれぞれのクロック信号 5 0 及び 5 2 は、 C I C 促進振幅（例えば、この例においては 15 V）に設定され、かつセル 1 4 を垂直方向にレジスタ 2 0 内に移動又はビンディングするのに使用され、各ピクセルは、上述のように、アレイ 1 2 のそれぞれの列から完結してそれぞれのセル 2 3 に格納されるある一定量の電子又は電荷を含む。本実施例においては、これによって 5 1 2 個のビンディングされたピクセルがレジスタ 2 0 に作り出され、電子又は電荷の数は、 C I C から生じる各ピクセルに関連している。次に、レジスタ 2 0 内の電荷移動を制御するクロック信号 5 4 を使用して、レジスタ 2 0 のコンテンツを連続的に E M 利得レジスタ 2 6 内に移動する（一般的に、信号 5 4 及び 5 6 は、レジスタ 2 0 の各ピクセルが一種の「パイプライン」として増倍レジスタを下って增幅器 2 4 内に送られる時に段階的に刻時される）。従って、 C I C によって発生された試験信号は、 E M 利得レジスタに供給される。本実施例においては、レジスタ 2 0 は、通常の電荷移動振幅で刻時されることが好ましいが、代替的実施形態では、それは、高められた C I C 促進振幅で刻時することができる。10

#### 【 0 0 3 7 】

有利な態様では、出力信号 2 9 の各測定値は、出力信号測定結果を比較することができる基準信号又はレベルに関連付けられる。これは、暗基準レベルと呼ぶことができ、「存在する信号なし」に対応する。本実施例においては、暗基準レベルは、 C I C がないか又は少なくとも人工的に増大された C I C がない出力基準レベルを提供する。便利な態様においては、基準信号 / レベルは、オーバースキャン技術を用いて取得することができる。オーバースキャン処理は、アレイ 1 2 が実際よりも大きいかのように C C D アレイ 1 2 を読み取る段階（すなわち、出力信号 2 9 から読取値又は測定値を取る段階）を伴っている。例えば、アレイ 1 2 は、その次元が 1 0 2 4 セル × 1 0 2 4 セルであるかのように読み取ることができる。これは、アレイ 1 2 から得られたレジスタ 2 0 のコンテンツをアレイ 1 2 から E M 利得レジスタ 2 6 の中に移動することと同様に、レジスタ 2 0 は、 1 つ又はそれよりも多いダミーピクセル（この実施例においては 5 1 2 個）がレジスタ 2 0 からレジスタ 2 6 に移動されるように更に刻時されることを意味する（上述のアレイ 1 2 からの C I C の移動後に、アレイ 1 2 は、ダミーピクセルが C I C を含まないことを保証するために刻時されない）。従って、出力 2 9 から取られた測定値又は画像の半分は、存在しないピクセル（オーバースキャン又はダミーピクセルと呼ぶ）を含み、一方、他の半分は、試験信号ピクセル（この実施例では、 C I C によって発生される）を含むことになる。ダミーピクセル又はデータは、基準レベル / 信号の役目をする。20

#### 【 0 0 3 8 】

従って、 1 つの読取値（すなわち、出力信号 2 9 から取られた測定値）は、本実施例においては、単一の行の 1 0 2 4 個のピクセルから成ることになり、半分は、 5 1 2 個の背景又はダミーピクセルを含み、他の半分は、平均で 5 1 2 電子 / ピクセルの信号を有する C I C 試験信号を含む（理由は、 0 . 5 電子 / ピクセルを有するアレイ 1 2 内の各列の 1 0 2 4 個のセル 1 4 が、それぞれの単一ピクセル又はセル 2 3 内にビンディングされたから）。

#### 【 0 0 3 9 】

測定値が取られた状態で、 5 1 2 個の背景ピクセル及び 5 1 2 個の C I C 信号ピクセルをそれぞれ平均することができ、平均値の差を測定出力値として取ることができ（一般的に電子において）。この単一の読み出し測定に関連した全ノイズ  $N_T$  は、以下のように計算することができる。40

## 【数2】

$$N_T = \sqrt{2\left(\frac{N_R^2}{512}\right) + S} \quad [2]$$

ここで、 $N_R$ は、読み出しノイズ（一般的に60電子/ピクセル RMS）であり、 $S$ は、試験信号（この場合は512電子/ピクセルのCIC信号）である。読み出しノイズの2という係数は、試験信号の背景又はダミー部からの読み出しノイズを考慮するために含められ、512の除数は、これが測定値が平均されるピクセル数であるために存在する。得られる「SN比」は、 $S$ を $N_T$ で割ったものであり、この実施例に対しては22.3である。

## 【0040】

今度はEM利得が活性化した第2の出力測定値が必要である。従って、第2の出力読取に対しては、EM電圧（クロック電圧又は他の制御信号によって作り出される）は、「衝撃イオン化」（及び、従ってEM利得）を引き起こすと相応の、好ましくは、落ち着くのに必要なあらゆる時間を可能にする値に設定される。得られるEM利得は、Gと呼ぶことができる。この実施例においては、Gは、1000(X1000)と仮定する。従って、CIC試験信号が上述のように発生された時、得られる出力信号29は、この実施例では512,000電子/ピクセルを含むことになる。これは、シリアルレジスタ26の飽和レベルに近いものであり、水平ピンニングを用いないことを選択した理由である。この読み出しに関連した全ノイズ $N_T$ は、以下のようになる。

## 【数3】

$$N_T = \sqrt{2\left(\frac{N_R^2}{512G^2}\right) + F_N S} \quad [3]$$

## 【0041】

EM利得の影響（及び、付隨的に、従来の増幅器利得に対するEM利得の重要な目的）は、読み出しノイズを係数Gだけ低減することである。しかし、それはまた、その確率的性質による新しいノイズ源を加えるものである。これは、典型的なEMCCDに対して1.4という値を通常は有する「ノイズ指数」項 $F_N$ によって表される。これによって、19.1の「SN比」( $S/N_T$ )が式[3]から与えられる。EM利得は、非常に弱い信号との使用に良好に適するものであるが、より強い信号と共に使用された時には逆効果になる可能性があることに注意されたい。

## 【0042】

EM利得Gの測定値を得るために、EM利得を有効及び無効にした状態でそれぞれの測定出力の比を計算する。Gが約X1000である実施例においては、これによって、「SN比」10.3が得られる（値の比を取る時にはノイズが加わることに注意）。ほとんどの実用的な場合に対して、少なくとも100分の1（すなわち、「SN比」100）の精度でEM利得測定値を有することが望ましいと考えられるので、これは特に満足できるというものではない。CICは、必要とされる電圧がCCD97チップに対する最大定格値を超えると考えられるので、本実施例において容易に更に増大することができない。従って、繰返し測定値が取られて蓄積される。結果を約10の係数だけ改善することが望ましく、従って、測定が100回繰り返される。各測定に掛かる時間は2ミリ秒未満であることから、1秒未満の全測定時間が可能である。

EM利得の測定は、EM電圧設定値の範囲に対して繰り返すことができ、EM利得の値

10

20

30

40

50

をあらゆる E M 電圧設定値に対して取得することができるよう、曲線当て嵌めを適用することができる。必要であれば、更に別のこののような測定を異なる温度で繰り返すことができる。

#### 【 0 0 4 3 】

好ましい実施形態では、「方法 2」は、単一イベントの検出及び多数のこれらの単一イベントの統計又は特性の分析に依存する。理想的な C C D、すなわち、暗闇内にあり暗電流及び C I C がないものに対しては、各ピクセルに対する信号レベル読出しは同じであり、C C D の読出しノイズによって変動するだけであるべきである。これはまた、E M 利得が高い値、例えば X 1 0 0 0 に設定されている状態でさえも E M C C D に当て嵌まることである。実際の C C D は、暗電流及び C I C は確かにあるが、冷却及び適切かつ正常な作動でこれらを非常に低くすることができる（低いとは、ほとんどのピクセル又はセル読出しがゼロ電子に対応し、単に時たまの読出しが 1 つの電子に対応することを意味し、例えば、1 0 : 1 又はそれよりも高い比、例えば、約 1 0 0 0 : 1 の比が達成可能である）。これらの非常に低い信号レベルでは、ピクセル又はセル読出しが 2 つ又はそれよりも多い電子に対応することになる確率は、無視することができるほど小さいものである。X 1 0 0 0（例えば）の E M 利得を用いて、すなわち、E M レジスタ 2 6 に入力される 1 つの電子に対応する出力信号 2 9 の読出しへ、1 0 0 0 電子（平均で）まで増倍されたことになり、ゼロ電子読出しに対応する近傍の読出し / 出力値（すなわち、レジスタ 2 6 に入力される電子なしに対応する出力値）と比較すると、相対的に大きな読出し / 出力値を含むことになる。従って、1 電子に対応する読出し / 出力値は、読出しノイズの変動を超えて検出可能であることになる。データストリーム又は出力信号 2 9 が時間にわたって分析される場合、単一電子に対応する出力値は、出力信号 2 9 内のスパイクとして現れ、「背景」ゼロ電子読取りを超えて区別することができる。これらのスパイクは、単一イベントと呼ぶことができる。スパイク又はイベントを確実に検出可能にするために、それらは、互いに容易に区別することができるほど十分に離れて発生することが好ましく、すなわち、イベントは離散的イベントであることが好ましい。これは、十分に低いレベルの暗電流 / C I C が存在することを保証することによって達成される。

#### 【 0 0 4 4 】

これらの非常に低い信号レベル（例えば、1 イベント、すなわち、平均 1 0 回の読出し毎に 1 つの電子よりも少ない）を達成するために、C C D は、深く冷却され（- 5 0 又はそれよりも低く）、低い C I C に比例して刻時されるべきであり、使用される実際の刻時方法又は他の技術は、結果が低い暗電流 / C I C 信号レベルである限り重要ではない。C C D 機器製造業者は、通常は、この性能を達成することを当然のこととして努力しており、従って、ここで更に説明する必要はない。

「方法 2」は、1 0（平均で）毎に 1 イベントよりも高い信号レベルに対して働くようにすることができるが、分析は遙かに複雑になることに注意することが重要である。

#### 【 0 0 4 5 】

「方法 2」は、C C D の読出しノイズよりも上に単一イベントを増倍するほどの十分に高い E M 利得に対してのみ適切であることに注意すべきである。C C D 及び E M C C D からの読出しノイズは、とりわけ、特定の C C D 設計及び読出し速度に依存するが、6 0 電子 R M S という高いものになる可能性がある。従って、単一イベントを検出して有用な分析を行うために、E M 利得は、好ましくは 2 0 0 を超えるべきである。

#### 【 0 0 4 6 】

「方法 2」は、相対的に高いフレーム速度で実行されている時でも装置 / カメラの正常作動を妨げることなく実施することができるという利点を有する。これは、通常の読出し作動中に一般的に存在するオーバースキヤンピクセル又は行を表す出力信号 2 9 の部分から統計データを収集することができ、すなわち、イベントをそこから取ることができるからである。映像用途においては、フィールドプランギング時間中にイベントを検出することができる。この方法は、連続作動を必要とする、例えば監視における用途に特に適する。例えば、N T S C 又は P A L フォーマットにおいて、フレーム毎に約 2 0 行のオーバー

10

20

30

40

50

スキャンデータを読み出すように構成することが可能であろう。

以下により詳細に説明するように、検出された一連のイベントの特性は、EM利得を判断するために、過去の記録した又は予測したデータに照らして比較することができる。

#### 【0047】

ここで「方法2」の特定の実施例を一例として説明する。ここでもまた、CCD97を例示的な素子として使用する。この実施例においては、CCD/EMCCDが暗闇にある状態で单一イベント統計データを収集し、利得が約X1000である時に（所定の精度を得るために必要なイベント数は、利得と共に変わることになることに注意されたい）1%の精度でEM利得を測定するためにそれを使用する。-90、10MHzの読み出し速度、通常の刻時、及び暗闇での最大解像度（すなわち、ピニングなし）画像読み出しモードで作動している時に、このCCD装置は、0.002イベント/ピクセルという典型的なイベント速度を与える。ここでの主たる関心は単一電子入力イベント（レジスタ26への）であるから、式[1]は以下のように簡素化される。

#### 【数4】

$$P_{(G,x)} = \frac{e^{-x/G}}{G} \quad [4]$$

10

20

#### 【0048】

例示のために、図5は、3つの異なるEM利得に関するこの式のプロットを示している。y軸は確率をプロットしており、x軸は、単一入力電子から生じる出力電子数xである。電子数は整数であり、従って、図5は、実際には面積1のヒストグラムである。高EM利得（例えば、約X1000）でのEMCCDからの暗い画像（この場合には、暗闇での最大解像度画像読み出し値を含む）では、单一イベントは、出力信号29においてランダムに分布したスパイクとして現れるので、読み出しノイズフロアから容易に区別可能である。イベントの統計データ又は特性を収集するために閾値レベルを設定することができ、この閾値を超えて突出するどのスパイクも单一イベントとして数え、ノイズフロアを超えるその高さが測定される（便利な態様においては、電子単位で）。閾値は、読み出しノイズスパイクをイベントと間違わないほど十分に高く、しかし、不十分なイベントの計数をもたらすことになるほど高くないように設定する必要がある。従って、このCCD素子に対しては180電子であるノイズフロアの3つの標準偏差を用いることが推奨される。イベントはこのように測定され、EM利得を判断するために式4が測定イベントの特性に当て嵌められる。指定の精度を与えるために収集する必要があるイベント数を知るために、Nがイベント総数である場合に以下になるように標準的なノイズ統計学を式[4]に適用することができる。

#### 【数5】

$$\frac{1}{N} = \sum_{x=180 \rightarrow \infty} (P_{(G^+,x)} - P_{(G^-,x)})^2 \quad [5]$$

30

40

#### 【0049】

X1000の利得でEM利得における1%の精度を得るために、式[5]は、G<sup>+</sup>=1005及びG<sup>-</sup>=995に対して解くことができ、これによって、約8500イベントが得られる。0.002イベント/ピクセルのイベント速度において及び毎秒30フレームのフレーム速度での512×512ピクセルの画像において、これは、蓄積するのに1秒を優に下回るであろう。オーバースキャンを使用して画像あたり1オーバースキャン行の

50

みという非常に制約された場合を仮定した場合、出力イベントから十分な統計量 / データを取得して EM 利得を判断するのに約 4 分掛かることになる。これらのイベントを取得しながら装置 / カメラを依然として使用することができるので、これが問題になる可能性は全くない。

#### 【0050】

以上説明した実施形態では、特定の読み出しモードを説明した。本明細書で説明した EM 利得測定を行うのに使用することができるビンディング及び蓄積の多くの置き換えを組み込む多くの読み出しモードが存在することが理解されるであろう。これらの多くは互換性があるが、一部は、CCD タイプ (FT、インターライン、フルフレーム (FF)、その他) 、サイズ、及び作動温度によって他よりも有用である。これらは、標準的で公知の技術であり、それらを本明細書で全て説明することは実際的ではない。10

本発明は、本発明の範囲から逸脱することなく修正又は変更することができる本明細書で説明した実施形態に限定されないものとする。

#### 【図面の簡単な説明】

#### 【0051】

【図 1】「フレーム転送」型 EMC CD の概略図である。

【図 2 A】図 1 の EMC CD に含まれるような典型的な EM 利得レジスタを表し、かつそれに印加された作動信号を示す概略図である。

【図 2 B】図 1 の EMC CD に含まれるような典型的な EM 利得レジスタを表し、かつそれに印加された作動信号を示す概略図である。20

【図 3】特定の EMC CD に対する EM クロック電圧の関数として EM 利得を典型的な例として示すグラフである。

【図 4】特定の EMC CD に対する異なる EM クロック電圧に対する温度の関数として EM 利得を典型的な例として示すグラフである。

【図 5】3 つの異なる EM 利得に対して单一入力電子に対する EM 利得レジスタ出力確率を示すグラフである。

#### 【符号の説明】

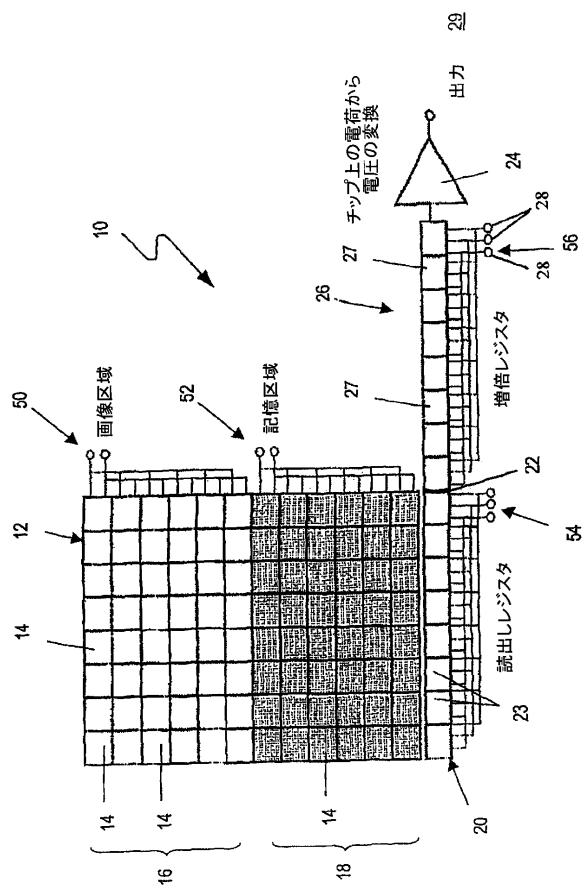
#### 【0052】

21 シフトレジスタ

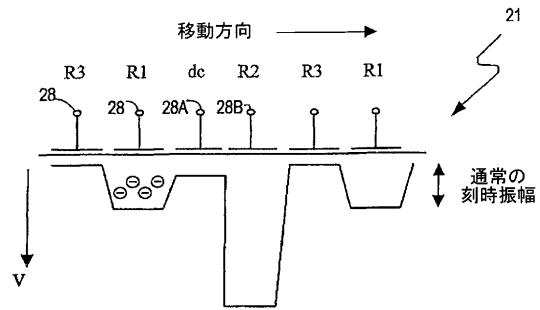
28 電極又は端子

30

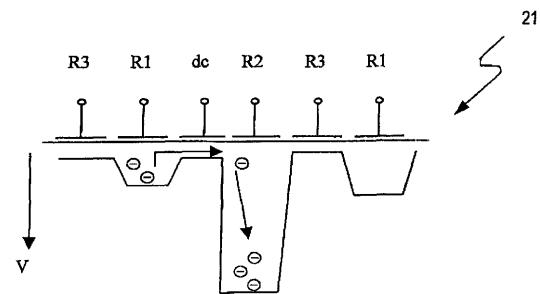
【図1】



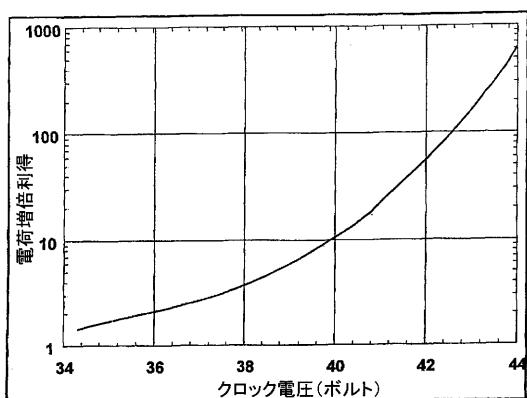
【図2 A】



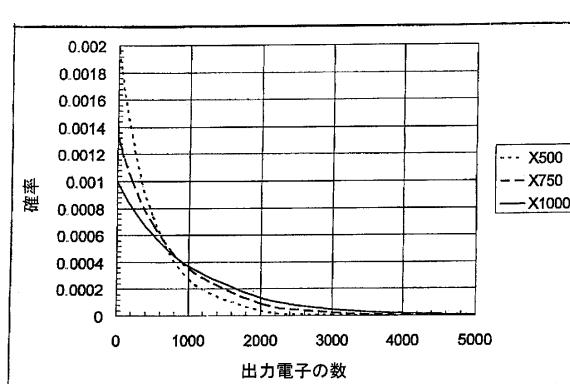
【図2 B】



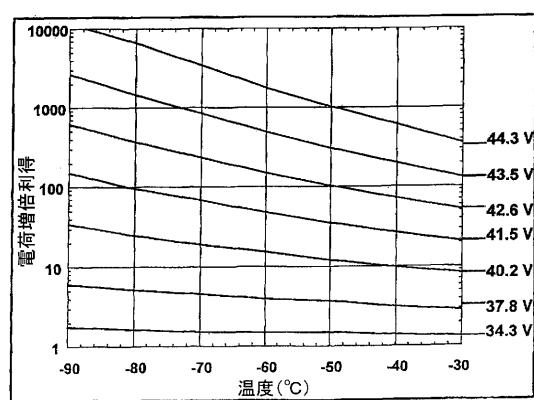
【図3】



【図5】



【図4】



---

フロントページの続き

(74)代理人 100109335

弁理士 上杉 浩

(72)発明者 ドナル デンヴァー

イギリス ノーザン アイルランド ビーティー8 6エルジェイ ベルファスト ニュートン  
パーク 58

審査官 井出 和水

(56)参考文献 特開2003-009000(JP,A)

特開2005-005512(JP,A)

特開平06-125501(JP,A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

H01L 27/148

H04N 5/30

- H04N 5/378