

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第3906858号
(P3906858)

(45) 発行日 平成19年4月18日(2007.4.18)

(24) 登録日 平成19年1月26日(2007.1.26)

(51) Int. Cl.	F I		
GO 1 S 17/36 (2006.01)	GO 1 S 17/36		
GO 1 S 17/89 (2006.01)	GO 1 S 17/89		
GO 1 C 3/06 (2006.01)	GO 1 C 3/06	1 2 O Q	
HO 1 L 27/146 (2006.01)	GO 1 C 3/06	1 4 O	
HO 4 N 5/335 (2006.01)	HO 1 L 27/14	A	
請求項の数 2 (全 15 頁) 最終頁に続く			

(21) 出願番号 特願2004-272000 (P2004-272000)
 (22) 出願日 平成16年9月17日(2004.9.17)
 (65) 公開番号 特開2006-84429 (P2006-84429A)
 (43) 公開日 平成18年3月30日(2006.3.30)
 審査請求日 平成16年9月24日(2004.9.24)

(73) 特許権者 000005832
 松下電工株式会社
 大阪府門真市大字門真1048番地
 (74) 代理人 100087767
 弁理士 西川 恵清
 (74) 代理人 100085604
 弁理士 森 厚夫
 (72) 発明者 栗原 史和
 大阪府門真市大字門真1048番地 松下
 電工株式会社内
 (72) 発明者 高田 裕司
 大阪府門真市大字門真1048番地 松下
 電工株式会社内

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 距離画像センサ

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

所定周期の変調信号で強度変調された光を対象空間に照射する発光源と、対象空間からの光を受光してそれぞれ受光光量に応じた電荷を生成する複数個の感光部を有し対象空間を撮像する光検出素子と、各感光部が対象空間からの光を受光する受光期間を制御する制御回路部と、感光部で生成された電荷を用いて対象物までの距離を求めこの距離を画素値とする距離画像を生成する画像生成部とを備え、受光期間は、変調信号の位相に同期しかつ変調信号の周期よりも短く設定され、光検出素子は、複数個隣接した感光部を演算単位とし、複数の受光期間で得られる電荷を変調信号の1周期以上の期間である検出期間ごとに集積した電荷を画像生成部に与え、かつ演算単位となる各感光部の受光期間を、検出期間毎に前記位相のうちの異なる位相の受光期間に変更するように電荷の転送タイミングが制御回路部で制御され、画像生成部は、複数の検出期間の電荷量を受光期間別に積算した電荷量を用いて距離を求め、当該距離を距離画像の画素値とすることを特徴とする距離画像センサ。

10

【請求項2】

前記画像生成部は、演算単位となる前記各感光部で得られた電荷を積算する複数の検出期間において、各検出期間ごとの受光期間の回数を同回数ずつとすることを特徴とする請求項1記載の距離画像センサ。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

20

【0001】

本発明は、対象空間を撮像し対象空間に存在する対象物までの距離を画素値とした距離画像を生成する距離画像センサに関するものである。

【背景技術】

【0002】

従来から、対象空間で光を走査するとともに対象空間内の対象物からの反射光を受光し、三角測量法の原理を用いて対象物までの距離を求めることにより、対象空間の三次元情報を得ることができる測距センサが提案されている（たとえば、特許文献1参照）。

【0003】

しかしながら、三角測量法の原理による測距センサで対象空間の三次元情報を得るには対象空間で光を走査する必要があるから、対象空間の全体について三次元情報が得られるまでに比較的長い時間を要し、たとえば移動物体を追跡するような用途では用いることができないという問題がある。

【0004】

この種の問題を解決するものとして、強度変調した光を対象空間に照射するとともに、対象空間の画像を撮像し、投光時と受光時との位相差を用いて対象空間内の対象物までの距離が得られる距離画像センサを先に提案した（たとえば、特許文献2参照）。

【特許文献1】特開平9-257418号公報

【特許文献2】特開2004-45304号公報

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【0005】

ところで、上述した距離画像センサは、対象空間を撮像する複数の感光部を配列した光検出素子を用い、対象空間に照射した光の強度変調の位相に同期する受光期間での受光光量に基づいて対象物までの距離を求めている。また、受光期間は変調信号の1周期分よりも短い時間に設定してあり、感光部で生成された電荷を変調信号の1周期以上の検出期間ごとに光検出素子から取り出して距離の演算を行っている。

【0006】

感光部で発生するショットノイズの影響を低減してSN比を大きくするには、検出期間を長期間に設定することによって受光光量を増加させることが望ましいが、感光部が受光する光には外光成分が含まれており、外光成分が多く含まれる環境では検出期間を長くすれば光検出素子が飽和しやすくなる。光検出素子が飽和すると感光部の受光光量は強度変調した光とは無関係になるから、当該感光部に対応する画素については距離を正確に求めることができなくなるという問題が生じる。一方、検出期間を短くすれば光検出素子の飽和は生じにくくなるものの、上述したようにSN比が低下し、SN比が極端に低下すれば距離を正確に求めることができなくなる。

【0007】

本発明は上記事由に鑑みて為されたものであり、その目的は、光検出素子の飽和を防止しながらも高SN比が得られるようにして距離の測定精度を高めた距離画像センサを提供することにある。

【課題を解決するための手段】

【0008】

請求項1の発明は、所定周期の変調信号で強度変調された光を対象空間に照射する発光源と、対象空間からの光を受光してそれぞれ受光光量に応じた電荷を生成する複数の感光部を有し対象空間を撮像する光検出素子と、各感光部が対象空間からの光を受光する受光期間を制御する制御回路部と、感光部で生成された電荷を用いて対象物までの距離を求めこの距離を画素値とする距離画像を生成する画像生成部とを備え、受光期間は、変調信号の位相に同期しかつ変調信号の周期よりも短く設定され、光検出素子は、複数個隣接した感光部を演算単位とし、複数の受光期間で得られる電荷を変調信号の1周期以上の期間である検出期間ごとに集積した電荷を画像生成部に与え、かつ演算単位となる各感光部の

10

20

30

40

50

受光期間を、検出期間毎に前記位相のうちの異なる位相の受光期間に変更するように電荷の転送タイミングが制御回路部で制御され、画像生成部は、複数の検出期間の電荷量を受光期間別に積算した電荷量を用いて距離を求め、当該距離を距離画像の画素値とすることを特徴とする。

【0010】

請求項2の発明では、前記画像生成部は、演算単位となる前記各感光部で得られた電荷を積算する複数の検出期間において、各検出期間ごとの受光期間の回数を同回数ずつとすることを特徴とする。

【発明の効果】

【0012】

本発明の構成によれば、一定の検出期間ごとに光検出素子から画像生成部に電荷を引き渡すから、光検出素子で集積する電荷量を比較的少なくすることができ、光検出素子の飽和を防止することができるという利点があり、しかも、画像生成部では複数の検出期間分の電荷を積算した電荷量を用いて距離を求めるからショットノイズの影響を受けにくくなり高SN比が得られ、距離を高い精度で測定できるという利点がある。加えて、演算単位となる各感光部の受光期間を、検出期間毎に前記位相のうちの異なる位相の受光期間に変更するとともに、複数の検出期間の電荷量を受光期間別に積算した電荷量を用いて距離を求めるから、検出期間内で異なる感光部が変調信号の異なる位相に同期した受光期間に光を受光する場合でも、距離を求めるために積算された電荷量には、演算単位である複数個の感光部の位置情報は含まれないことになり、得られた距離の信頼性が高くなる。

【発明を実施するための最良の形態】

【0013】

まず本実施形態で用いる距離画像センサの基本構成について説明する。距離画像センサは、図1に示すように、対象空間に光を照射する発光源2を備えるとともに、対象空間からの光を受光し受光光量を反映した出力値の電気出力が得られる光検出素子1を備える。対象空間に存在する対象物Obまでの距離は、発光源2から対象空間に光が照射されてから対象物Obでの反射光が光検出素子1に入射するまでの時間（「飛行時間」と呼ぶ）によって求める。ただし、飛行時間は非常に短いから、対象空間に照射する光の強度が一定周期で周期的に変化するように変調した強度変調光を用い、強度変調光を受光したときの位相を用いて飛行時間を求める。

【0014】

図2(a)に示すように、発光源2から空間に放射する光の強度が曲線イのように変化し、光検出素子1で受光した受光光量が曲線ロのように変化するとすれば、位相差は飛行時間に相当するから、位相差を求めることにより対象物Obまでの距離を求めることができる。また、位相差は、曲線イの複数のタイミングで求めた曲線ロの受光光量を用いて計算することができる。たとえば、曲線イにおける位相が0度、90度、180度、270度の位相で求めた曲線ロの受光光量がそれぞれA0、A1、A2、A3であるとする（受光光量A0、A1、A2、A3を斜線部で示している）。ただし、各位相における受光光量A0、A1、A2、A3は、瞬時値ではなく所定の受光期間Twで積算した受光光量を用いる。いま、受光光量A0、A1、A2、A3を求める間に、位相差が変化せず（つまり、対象物Obまでの距離が変化せず）、かつ対象物Obの反射率にも変化がないものとする。また、発光源2から放射する光の強度を正弦波で変調し、時刻tにおいて光検出素子1で受光される光の強度が $A \cdot \sin(\omega t + \phi) + B$ で表されるものとする。ここに、Aは振幅、Bは直流成分（外光成分と反射光成分との平均値）、 ω は角振動数、 ϕ は初期位相である。光検出素子1で受光する受光光量A0、A1、A2、A3を受光期間Twの積算値ではなく瞬時値とし、変調信号の周期に同期した時刻 $t = n / f$ （ $n = 0, 1, 2, \dots$ ）における受光光量を、 $A_0 = A \cdot \sin(\omega t + \phi) + B$ とすれば、受光光量A0、A1、A2、A3は、次のように表すことができる。なお、反射光成分とは、発光源2から放射され対象物Obにより反射された後に光検出素子1に入射する光の成分を意味する。

10

20

30

40

50

$$A_0 = A \cdot \sin(\quad) + B$$

$$A_1 = A \cdot \sin(\quad / 2 + \quad) + B$$

$$A_2 = A \cdot \sin(\quad + \quad) + B$$

$$A_3 = A \cdot \sin(3 \quad / 2 + \quad) + B$$

図2では位相差がであるから、光検出信号1の受光光量に関する波形の初期位相（時刻 $t = 0$ の位相）は $-\quad$ になる。つまり、 $\quad = -\quad$ であるから、 $A_0 = -A \cdot \sin(\quad) + B$ 、 $A_1 = A \cdot \cos(\quad) + B$ 、 $A_2 = A \cdot \sin(\quad) + B$ 、 $A_3 = -A \cdot \cos(\quad) + B$ であり、結果的に、各受光光量 A_0 、 A_1 、 A_2 、 A_3 と位相差 \quad との関係は、次式のようになる。

$$\quad = \tan^{-1} \{ (A_2 - A_0) / (A_1 - A_3) \} \quad \dots (1)$$

10

(1)式では受光光量 A_0 、 A_1 、 A_2 、 A_3 の瞬時値を用いているが、受光光量 A_0 、 A_1 、 A_2 、 A_3 として受光期間 T_w における積算値を用いても(1)式で位相差 \quad を求めることができる。

【0015】

また、光検出素子1で受光される光の強度を $A \cdot \cos(\quad t + \quad) + B$ とする場合、つまり変調信号の周期に同期した時刻 $t = n / f$ ($n = 0, 1, 2, \dots$) における受光光量を、 $A_0 = A \cdot \cos(\quad) + B$ とすれば、位相差 \quad を次式で求めることができる。

$$\quad = \tan^{-1} \{ (A_1 - A_3) / (A_0 - A_2) \}$$

この関係は、変調信号に同期させるタイミングを 90 度ずらした関係である。また、距離値の符号は正であるから、位相差 \quad を求めたときに符号が負になる場合には、 \tan^{-1} の括弧内の分母または分子の各項の順序を入れ換えるか括弧内の絶対値を用いるようにしてもよい。

20

【0016】

上述のように対象空間に照射する光の強度を変調するために、発光源2としては、たとえば多数個の発光ダイオードを一平面上に配列したものや半導体レーザと発散レンズとを組み合わせたものなどを用いる。また、発光源2は、制御回路部3から出力される所定の変調周波数である変調信号によって駆動され、発光源2から放射される光は変調信号により強度が変調される。制御回路部3では、たとえば 20 MHz の正弦波で発光源2から放射する光の強度を変調する。なお、発光源2から放射する光の強度は正弦波で変調する以外に、三角波、鋸歯状波などで変調してもよく、要するに、一定周期で強度を変調するのであれば、どのような構成を採用してもよい。

30

【0017】

光検出素子1は、規則的に配列された複数個の感光部11を備える。また、感光部11への光の入射経路には受光光学系5が配置される。感光部11は光検出素子1において対象空間からの光が受光光学系5を通して入射する部位であって、感光部11において受光光量に応じた量の電荷を生成する。また、感光部11は、平面格子の格子点上に配置され、たとえば垂直方向（つまり、縦方向）と水平方向（つまり、横方向）とにそれぞれ等間隔で複数個ずつ並べたマトリクス状に配列される。

【0018】

受光光学系5は、光検出素子1から対象空間を見るとき視線方向と各感光部11とを対応付ける。すなわち、受光光学系5を通して各感光部11に光が入射する範囲を、受光光学系5の中心を頂点とし各感光部11ごとに設定された頂角の小さい円錐状の視野とみなすことができる。したがって、発光源2から放射され対象空間に存在する対象物 O_b で反射された反射光が感光部11に入射すれば、反射光を受光した感光部11の位置により、受光光学系5の光軸を基準方向として対象物 O_b の存在する方向を知ることができる。

40

【0019】

受光光学系5は一般に感光部11を配列した平面に光軸を直交させるように配置されるから、受光光学系5の中心を原点とし、感光部11を配列した平面の垂直方向と水平方向と受光光学系5の光軸とを3軸の方向とする直交座標系を設定すれば、対象空間に存在する対象物 O_b の位置を球座標で表したときの角度（いわゆる方位角と仰角）が各感光部1

50

1に対応する。なお、受光光学系5は、感光部11を配列した平面に対して光軸が90度以外の角度で交差するように配置することも可能である。

【0020】

本実施形態では、上述のように、対象物Obまでの距離を求めるために、発光源2から対象空間に照射される光の強度変化に同期する4点のタイミングで受光光量A0、A1、A2、A3を求めている。したがって、目的の受光光量A0、A1、A2、A3を得るためのタイミングの制御が必要である。また、発光源2から対象空間に照射される光の強度変化の1周期において感光部11で発生する電荷の量は少ないから、複数周期に亘って電荷を集積することが望ましい。そこで、図1のように各感光部11で発生した電荷をそれぞれ集積する複数個の電荷集積部13を設けるとともに、各感光部11において利用できる電荷を生成する領域の面積を変化させることにより各感光部11の感度をそれぞれ調節する複数個の感度制御部12を設けている。

10

【0021】

各感度制御部12では、感度制御部12に対応する感光部11の感度を上述した4点のうちいずれかのタイミングで高め、感度が高められた感光部11では当該タイミングの受光光量A0、A1、A2、A3に対応する電荷を主として生成するから、当該受光光量A0、A1、A2、A3に対応する電荷を当該感光部11に対応する電荷集積部13に集積させることができる。

【0022】

ところで、感度制御部12は感光部11において利用できる電荷を生成する領域の面積（実質的な受光面積）を変化させることにより各期間の電荷の生成量を変化させるものであるから、電荷集積部13に集積された電荷は必ずしも受光光量A0、A1、A2、A3が得られる期間に生成された電荷だけではなく、他の期間に生成された電荷も混入することになる。いま、感度制御部12において、受光光量A0、A1、A2、A3に対応した電荷を生成する期間（以下では、「受光期間」と呼ぶ）の感度を、それ以外の期間（以下では、「保持期間」と呼ぶ）の感度をとし、感光部11は受光光量に比例する電荷を生成するものとする。この条件では、受光光量A0に対応した電荷を集積する電荷集積部13には、 $A_0 + (A_1 + A_2 + A_3) + A \times (A \times \text{は受光光量 } A_0, A_1, A_2, A_3 \text{ が得られる期間以外の受光光量})$ に比例する電荷が蓄積され、受光光量A2に対応した電荷を集積する電荷集積部13には、 $A_2 + (A_0 + A_1 + A_3) + A \times$ に比例する電荷が蓄積される。上述したように、位相差を求める際には $(A_2 - A_0)$ を求めており、 $A_2 - A_0 = (\quad) (A_2 - A_0)$ になり、同様にして $A_1 - A_3 = (\quad) (A_1 - A_3)$ になるから、 $(A_2 - A_0) / (A_1 - A_3)$ は電荷の混入の有無によらず理論上は同じ値になるのであって、電荷が混入しても求める位相差は同じ値になる。

20

30

【0023】

感光部11と感度制御部12と電荷集積部13とを備える光検出素子1は1つの半導体装置として構成され、光検出素子1には電荷集積部13に集積された電荷を半導体装置の外部に取り出すために電荷取出部14が設けられる。電荷取出部14はCCDイメージセンサにおける垂直転送部および水平転送部と同様の構成を有する。

40

【0024】

電荷取出部14から取り出された電荷は画像生成部4に画像信号（電気出力）として与えられ、画像生成部4において対象空間内の対象物Obまでの距離が上述した(1)式を用いて受光光量A0、A1、A2、A3から算出されることになる。すなわち、画像生成部4では各感光部11に対応した各方向における対象物Obまでの距離が算出され、対象空間の三次元情報が算出される。この三次元情報を用いると、対象空間の各方向に一致する画素の画素値が距離値である距離画像を生成することができる。

【0025】

以下に光検出素子1の具体的構造例を説明する。図3に示す光検出素子1は、複数個（たとえば、100×100個）の感光部11をマトリクス状に配列したものであって、た

50

例えば1枚の半導体基板上に形成される。感光部11のうち垂直方向の各列では一体に連続する半導体層21を共用するとともに半導体層21を垂直方向への電荷(本実施形態では、電子を用いる)の転送経路として用い、さらに各列の半導体層21の一端から電荷を受け取って水平方向に電荷を転送するCCDである水平転送部Thを半導体基板に設ける構成を採用することができる。

【0026】

すなわち、図4に示すように、半導体層21が感光部11と電荷の転送経路とに兼用された構造であって、フレーム・トランスファ(FT)方式のCCDイメージセンサと類似した構造になる。また、FT方式のCCDイメージセンサと同様に、感光部11を配列した撮像領域Daに隣接して遮光された蓄積領域Dbを設けてあり、蓄積領域Dbに蓄積した電荷を水平転送部Thに転送する。撮像領域Daから蓄積領域Dbへの電荷の転送は垂直ブランキング期間に一気に行い、水平転送部Thでは1水平期間に1水平ライン分の電荷を転送する。図1に示した電荷取出部14は、半導体層21における垂直方向への電荷の転送経路としての機能とともに水平転送部Thを含む機能を表している。ただし、電荷集積部13は蓄積領域Dbを意味するのではなく、撮像領域Daにおいて電荷を集積する機能を表している。言い換えると、蓄積領域Dbは電荷取出部14に含まれる。

10

【0027】

半導体層21は不純物が添加してあり、半導体層21の主表面は酸化膜からなる絶縁膜22により覆われ、半導体層21に絶縁膜22を介して複数個の制御電極23を配置している。この光検出素子1はMIS素子として知られた構造であるが、1個の光検出素子1として機能する領域に複数個(図示例では5個)の制御電極23を備える点が通常のMIS素子とは異なる。絶縁膜22および制御電極23は発光源2から対象空間に照射される光と同波長の光が透過するように材料が選択され、絶縁膜22を通して半導体層21に光が入射すると、半導体層21の内部に電荷が生成される。図示例の半導体層21の導電形はn形であり、光の照射により生成される電荷として電子eを利用する。図3は1個の感光部11に対応する領域のみを示したものであり、半導体基板(図示せず)には上述したように図3の構造を持つ領域が複数個配列されるとともに電荷取出部14となる構造が設けられる。電荷取出部14として設ける垂直転送部は、図3の左右方向に電荷を転送することを想定しているが、図3の面に直交する方向に電荷を転送する構成を採用することも可能である。また、電荷を図の左右方向に転送する場合には、制御電極23の左右方向の幅寸法を1 μ m程度に設定するのが望ましい。

20

30

【0028】

この構造の光検出素子1では、制御電極23に正の制御電圧+Vを印加すると、半導体層21には制御電極23に対応する部位に電子eを集積するポテンシャル井戸(空乏層)24が形成される。つまり、半導体層21にポテンシャル井戸24を形成するように制御電極23に制御電圧を印加した状態で光が半導体層21に照射されると、ポテンシャル井戸24の近傍で生成された電子eの一部はポテンシャル井戸24に捕獲されてポテンシャル井戸24に集積され、残りの電子eは半導体層21の深部での再結合により消滅する。また、ポテンシャル井戸24から離れた場所で生成された電子eも半導体層21の深部での再結合により消滅する。

40

【0029】

ポテンシャル井戸24は制御電圧を印加した制御電極23に対応する部位に形成されるから、制御電圧を印加する制御電極23の個数を変化させることによって、半導体層21の主表面に沿ったポテンシャル井戸24の面積(言い換えると、受光面において利用できる電荷を生成する領域の面積)を変化させることができる。つまり、制御電圧を印加する制御電極23の個数を変化させることは感度制御部12における感度の調節を意味する。たとえば、図3(a)のように3個の制御電極23に制御電圧+Vを印加する場合と、図3(b)のように1個の制御電極23に制御電圧+Vを印加する場合とでは、ポテンシャル井戸24が受光面に占める面積が変化するのであって、図3(a)の状態のほうがポテンシャル井戸24の面積が大きいから、図3(b)の状態に比較して同光量に対して利用

50

できる電荷の割合が多くなり、実質的に感光部 1 1 の感度を高めたことになる。このように、感光部 1 1 および感度制御部 1 2 は半導体層 2 1 と絶縁膜 2 2 と制御電極 2 3 とにより構成されていると言える。ポテンシャル井戸 2 4 は光照射により生成された電荷を保持するから電荷集積部 1 3 として機能する。

【 0 0 3 0 】

ポテンシャル井戸 2 4 から電荷を取り出すには、F T 方式の C C D と同様の技術を採用すればよく、ポテンシャル井戸 2 4 に電子 e が集積された後に、電荷の集積時とは異なる印加パターンの制御電圧を制御電極 2 3 に印加することによってポテンシャル井戸 2 4 に集積された電子 e を一方向（たとえば、図の右方向）に転送することができる。つまり、半導体層 2 1 を C C D の垂直転送部と同様に電荷の転送経路に用いることができる。さらに、電荷は図 4 に示した水平転送部 T h を転送され、半導体基板に設けた図示しない電極から光検出素子 1 の外部に取り出される。要するに、制御電極 2 3 への制御電圧の印加パターンを制御することにより、各感光部 1 1 ごとの感度を制御するとともに、光照射により生成された電荷を集積し、さらに集積された電荷を転送することができる。

10

【 0 0 3 1 】

本実施形態における感度制御部 1 2 は、利用できる電荷を生成する面積を大小 2 段階に切り換えることにより感光部 1 1 の感度を高低 2 段階に切り換えるのであって、受光光量 A 0、A 1、A 2、A 3 のいずれかに対応する電荷を感光部 1 1 で生成しようとする受光期間にのみ高感度とし（電荷を生成する面積を大きくし）、他の期間である保持期間には低感度にする。高感度にする受光期間と低感度にする保持期間とは、発光源 2 を駆動する変調信号に同期させて設定される。また、変調信号の複数周期に亘ってポテンシャル井戸 2 4 に電荷を集積した後に電荷取出部 1 4 を通して光検出素子 1 の外部に電荷を取り出すようにしている。変調信号の複数周期に亘って電荷を集積しているのは、変調信号の 1 周期内では感光部 1 1 が利用可能な電荷を生成する期間が短く（たとえば、変調信号の周波数を 2 0 M H z とすれば 5 0 n s の 4 分の 1 以下）、生成される電荷が少ないからである。変調信号の複数周期分の電荷を集積することにより、信号電荷（発光源 2 から照射された光に対応する電荷）と雑音電荷（外光成分および光検出素子 1 の内部で発生するショットノイズに対応する電荷）との比を大きくとることができ、大きな S N 比が得られる。

20

【 0 0 3 2 】

ところで、本実施形態では、2 個の感光部 1 1 を用いることにより、変調信号の 1 周期内で受光光量 A 0、A 1、A 2、A 3 に対応する電荷を 2 種類ずつ生成する構成を採用している。つまり、垂直方向に隣接する 2 個の感光部 1 1 により演算単位を構成し、演算単位となる 2 個の感光部 1 1 から得られる電気出力を距離画像の 1 画素分の画素値を得るために用い、演算単位となる 2 個の感光部 1 1 で受光光量 A 0、A 2 に対応する電荷を生成する期間と、受光光量 A 1、A 3 に対応する電荷を生成する期間とを設けている。さらに、受光光量 A 0、A 2 に対応する電荷を生成する期間については、演算単位となる 2 個の感光部 1 1 の一方が受光光量 A 0 に対応する電荷を生成する期間と他方が受光光量 A 0 に対応する電荷を生成する期間との 2 期間に分け、受光光量 A 1、A 3 に対応する電荷を生成する期間については、演算単位となる 2 個の感光部 1 1 の一方が受光光量 A 1 に対応する電荷を生成する期間と他方が受光光量 A 1 に対応する電荷を生成する期間との 2 期間に分けている。要するに、4 期間ですべての感光部 1 1 がそれぞれ受光光量 A 0、A 1、A 2、A 3 に対応する電荷を生成することになる。

30

40

【 0 0 3 3 】

以下に動作を具体的に説明する。図 3 に示した例では、1 個の感光部 1 1 について 5 個の制御電極 2 3 を設けた例を示しているが、両側の 2 個の制御電極 2 3 は、感光部 1 1 で電荷（電子 e）を生成している間に隣接する感光部 1 1 に電荷が流出するのを防止するための障壁を形成するものであって、2 個の感光部 1 1 を演算単位とする場合には隣接する感光部 1 1 のポテンシャル井戸 2 4 の間には、いずれかの感光部 1 1 で障壁が形成されるから、各感光部 1 1 には 3 個ずつの制御電極 2 3 を設けるだけで足りることになる。この構成によって、感光部 1 1 の 1 個当たりの占有面積が小さくなり、2 個の感光部 1 1 を演

50

算単位としながらも視線方向の分解能の低下を抑制することが可能になる。

【0034】

ここでは、図5に示すように、演算単位となる2個の感光部11にそれぞれ設けた3個ずつの制御電極23を区別するために各制御電極23に(1)~(6)の数字を付す。(1)~(6)の数字を付与した制御電極23を有する2個の感光部11は、距離画像センサにおける1画素に対応する。なお、1画素ずつの感光部11に対応付けて、それぞれオーバーフローレインを設けるのが望ましい。

【0035】

図5(a)(b)はそれぞれ制御電極23に対して制御回路部3から異なる印加パターンで制御電圧+Vを印加した状態(半導体基板に設けた図示しない基板電極と制御電極23との間に制御電圧+Vを印加した状態)を示しており、ポテンシャル井戸24の形状からわかるように、図5(a)では1画素となる2個の感光部11のうち制御電極(1)~(3)に正の制御電圧+Vを印加するとともに、残りの制御電極(4)~(6)のうちの中央の制御電極(5)に正の制御電圧+Vを印加している。また、図5(b)では制御電極(1)~(3)のうちの中央の制御電極(2)に正の制御電圧+Vを印加するとともに、残りの制御電極(4)~(6)に正の制御電圧+Vを印加している。つまり、1画素を構成する2個の感光部11に印加する制御電圧+Vの印加パターンを交互に入れ換えている。2個の感光部11に印加する制御電圧+Vの印加パターンを入れ換えるタイミングは、変調信号における逆位相の(位相が180度異なる)タイミングになる。なお、各感光部11に設けた3個の制御電極23に同時に制御電圧+Vを印加している期間以外は、各感光部11に設けた中央部の1個の制御電極23(つまり、制御電極(2)(5))にのみ制御電圧+Vを印加し、他の制御電極23は0Vに保つ状態とする。

【0036】

たとえば、1画素を構成する2個の感光部11において受光光量A0、A2に対応する電荷を交互に生成する場合は、図2のように、一方の感光部11で受光光量A0に対応する電荷を生成するために3個の制御電極(1)~(3)に制御電圧+Vを印加している受光期間Twに、他方の感光部11では受光光量A2に対応する電荷を保持するために1個の制御電極(5)にのみ制御電圧+Vを印加する。同様にして、一方の感光部11で受光光量A2に対応する電荷を生成するために3個の制御電極(4)~(6)に制御電圧+Vを印加している受光期間Twには、他方の感光部11では受光光量A0に対応する電荷を保持するために1個の制御電極(2)にのみ制御電圧+Vを印加する。また、受光光量A0、A2に対応する電荷を生成する受光期間Tw以外の保持期間では制御電極(2)(5)にのみ制御電圧+Vを印加する。図2(b)(c)に受光光量A0、A2に対応する電荷を蓄積する際の各制御電極(1)~(6)に制御電圧+Vの印加のタイミングを示す。図において斜線部が制御電圧+Vを印加している状態を示し、空白部が制御電極(1)~(6)に電圧を印加していない状態を示している。

【0037】

1画素を構成する2個の感光部11において受光光量A1、A3に対応する電荷を生成する場合も同様であって、受光光量A0、A2に対応する電荷を生成する場合とは制御電極23に制御電圧+Vを印加するタイミングが、変調信号の位相において90度異なる点が相違するだけである。

【0038】

受光光量A0、A2に対応する電荷を生成する期間と、受光光量A1、A3に対応する電荷を生成する期間とは、ともに変調信号の1周期分以上(望ましくは複数周期分)の一定期間であり、この期間を検出期間として変調信号の複数周期分の電荷を電荷集積部13に集積する。また、検出期間毎に次の検出期間までの間の期間を読出期間として撮像領域Daから蓄積領域Dbに電荷を転送する。

【0039】

本実施形態では、受光光量A0に対応する電荷を制御電極(1)~(3)に対応するポテンシャル井戸24に蓄積するとともに受光光量A2に対応する電荷を制御電極(4)~

10

20

30

40

50

(6) に対応するポテンシャル井戸 24 に蓄積する検出期間を複数回連続して設け、受光光量 A1 に対応する電荷を制御電極 (1) ~ (3) に対応するポテンシャル井戸 24 に蓄積するとともに受光光量 A3 に対応する電荷を制御電極 (4) ~ (6) に対応するポテンシャル井戸 24 に蓄積する検出期間を複数回連続して設けるといった動作を繰り返す。つまり、図 7 に示すように、受光光量 A0、A2 に対応する電荷を集積する検出期間 S11、S12、..... と読出期間 R11、R12、..... とを複数回繰り返す積算期間 Pa と、受光光量 A1、A3 に対応する電荷を集積する検出期間 S21、S22、..... と読出期間 R21、R22、..... とを複数回繰り返す積算期間 Pb とを交互に繰り返し、各積算期間 Pa、Pb ごとに各受光光量 A0、A1、A2、A3 に対応する電荷をそれぞれ積算する。位相差 (もしくは距離) を求める演算には、変調信号の 4 つの位相に同期する受光期間 Tw に相当する電荷が必要であるから、本実施形態では 2 回の積算期間 Pa、Pb においてそれぞれ積算した電荷の電荷量を用いて位相差 (もしくは距離) の演算を行う。各検出期間 S11、S12、.....、S21、S22、..... においてどの受光光量 A0、A1、A2、A3 に対応する電荷を電荷集積部 13 (ポテンシャル井戸 24) に対応するかは、制御回路部 3 が感度制御部 13 の感度を制御 (制御電極 23 に印加する制御電圧を制御) することによって選択する。なお、積算期間 Pa、Pb に積算した電荷量の積算値ではなく平均値を用いて距離を演算してもよい。

10

【0040】

読出期間 R11、R12、.....、R21、R22、..... には、変調信号の 4 つの位相に同期する受光期間 Tw の受光光量 A0、A1、A2、A3 に対応する電荷を光出力素子 1 の外部に電気出力として取り出す。取り出した電気出力は画像生成部 4 において位相差の演算に用いられ、結果的に各画素に対応する視線方向に存在する対象物 Ob までの距離を求めることが可能になる。

20

【0041】

上述の例では 3 個の制御電極 23 ((1) ~ (3) または (4) ~ (6)) に同時に印加する制御電圧と、1 個の制御電極 23 ((2) または (5)) にのみ印加する制御電圧とを等しくしているから、ポテンシャル井戸 24 の面積は変化するもののポテンシャル井戸 24 の深さは等しくなっている。この場合、制御電圧を印加していない制御電極 23 ((1) (3) または (4) (6)) において生成された電荷は、同程度の確率でポテンシャル井戸 24 に流れ込む。つまり、感光部 11 を構成する 3 個の制御電極 23 のうちの 1 個にのみ制御電圧 + V を印加することによって電荷集積部 13 として機能している領域と、3 個の制御電極 23 のすべてに制御電圧 + V を印加している領域との両方に同程度の量の電荷が流れ込む。つまり、電荷を保持しているポテンシャル井戸 24 に流れ込む雑音成分が比較的多いものであるから、ダイナミックレンジを低下させる原因になる。

30

【0042】

そこで、図 6 のように、演算単位となる 2 個の感光部 11 に設けた各 3 個の制御電極 (1) ~ (3) または (4) ~ (6) に同時に印加する制御電圧が、1 個の制御電極 (2) または (5) にのみ印加する制御電圧よりも高くなるように設定し、大面積のポテンシャル井戸 24 を小面積のポテンシャル井戸 24 よりも深く設定するのが望ましい。このように、主として電荷 (電子 e) を生成しているポテンシャル井戸 24 を、主として電荷の保持を行っているポテンシャル井戸 24 よりも深くすることにより、制御電圧を印加していない制御電極 (1) (3) または (4) (6) に対応する部位で生じた電荷は、深いほうのポテンシャル井戸 24 に流れ込みやすくなる。つまり、制御電極 23 に一定の制御電圧 + V を印加する場合に比較すると、電荷を保持するポテンシャル井戸 24 に流れ込む雑音成分を低減することができる。

40

【0043】

上述した例では、各積算期間 Pa、Pb において 4 種類の受光光量 A0、A1、A2、A3 に対応する電荷を生成する感光部 11 が決められているから、演算した距離には感光部 11 の位置の相違による誤差が含まれる可能性がある。とくに、対象物 Ob に段差があり、受光光量 A0 と受光光量 A2 とに対応する感光部 11 が段差に跨る部位に一致してい

50

るとすれば、求められる距離の信頼性が低下することになる。

【0044】

この種の問題を解決するには、検出期間ごとに、受光光量 A_0 に対応する電荷を制御電極(1)～(3)に対応するポテンシャル井戸24に蓄積するとともに受光光量 A_2 に対応する電荷を制御電極(4)～(6)に対応するポテンシャル井戸24に蓄積する状態と、受光光量 A_2 に対応する電荷を制御電極(1)～(3)に対応するポテンシャル井戸24に蓄積するとともに受光光量 A_0 に対応する電荷を制御電極(4)～(6)に対応するポテンシャル井戸24に蓄積する状態と、受光光量 A_1 に対応する電荷を制御電極(1)～(3)に対応するポテンシャル井戸24に蓄積するとともに受光光量 A_3 に対応する電荷を制御電極(4)～(6)に対応するポテンシャル井戸24に蓄積する状態との4状態を循環的に切り換えればよい。つまり、各検出期間ごとに、各電荷集積部13にそれぞれ集積する電荷を各受光光量 A_0 、 A_1 、 A_2 、 A_3 に対応する電荷から循環的に選択するのである。この動作を繰り返すことによって、4種類の受光期間 T_w の受光光量 A_0 、 A_1 、 A_2 、 A_3 に対応する電荷を4回の整数倍の読出動作で光出力素子1の外部に電気出力として取り出すことができる。

10

【0045】

さらに詳しく説明すると、画像生成部4では、図8(a)に示すように、検出期間 S_1 、 S_2 、 S_3 、 S_4 ごとに設けた読出期間 R_1 、 R_2 、 R_3 、 R_4 において変調信号の2つの異なる位相に同期した受光期間 T_w に相当する電気出力が光検出素子1から与えられる。位相差(もしくは距離)を求める演算には、すべての位相の受光期間 T_w に相当する電気出力が必要であるから、検出期間 S_1 、 S_2 、 S_3 、 S_4 の4回分の電気出力を用いて位相差(もしくは距離)の演算を行う。図示例では、4回の検出期間 S_1 、 S_2 、 S_3 、 S_4 および読出期間 R_1 、 R_2 、 R_3 、 R_4 の期間 P_1 で対象物 O_b までの距離が得られるから、期間 P_1 は画像の1フレーム分の時間に相当する。

20

【0046】

上述した期間 P_1 には、図8(b)に示すように、受光光量 A_0 、 A_2 に相当する電気出力が得られる2回の検出期間 S_1 、 S_2 と、受光光量 A_1 、 A_3 に相当する電気出力が得られる2回の検出期間 S_3 、 S_4 とが含まれており、受光光量 A_0 、 A_2 に相当する電気出力が得られる2回の検出期間 S_1 、 S_2 ではそれぞれの受光光量 A_0 、 A_2 が得られた感光部11が入れ代わり、また、受光光量 A_1 、 A_3 に相当する電気出力が得られる2回の検出期間 S_3 、 S_4 ではそれぞれの受光光量 A_1 、 A_3 が得られた感光部11が入れ代わる。そこで、受光光量 A_0 、 A_2 に相当する電気出力が得られる2回の検出期間 S_1 、 S_2 において得られた電気出力の積算値(または平均値)を受光光量 A_0 、 A_2 ごとに求め、また、受光光量 A_1 、 A_3 に相当する電気出力が得られる2回の検出期間 S_3 、 S_4 において得られた電気出力の積算値(または平均値)を受光光量 A_1 、 A_3 ごとに求めて、4個の積算値(または平均値)をそれぞれ受光光量 A_0 、 A_1 、 A_2 、 A_3 に相当する値に用いて(1)式の演算を行う。このような演算により、各受光光量 A_0 、 A_1 、 A_2 、 A_3 に対応した電気出力を得る際の感光部11の位置のずれによる距離測定の信頼性の低下を低減することができる。

30

40

【0047】

なお、上述した距離画像センサの構成例では、受光光量 A_0 、 A_1 、 A_2 、 A_3 に対応する4つの受光期間 T_w を変調信号の1周期内で位相の間隔が90度ずつになるように設定しているが、変調信号に対する位相が既知であれば4つの受光期間 T_w は90度以外の適宜の間隔で設定することが可能である。ただし、間隔が異なれば位相差を求める算式は異なる。また、4つの受光期間 T_w の受光光量に対応した電荷(電気出力)を取り出す周期は、対象物 O_b の反射率および外光成分が変化せず、かつ位相差も変化しない時間内であれば、変調信号の1周期内で4種類の電気出力を取り出すことも必須ではない。さらに、太陽光や照明光のような外乱光の影響があるときには、発光源2から放射される光

50

の波長のみを透過させる光学フィルタを感光部 1 1 の前に配置するのが望ましい。図 5、図 6 を用いて説明した構成例では、感光部 1 1 ごとに 3 個ずつの制御電極 2 3 を対応付けているが、制御電極 2 3 を 4 個以上設けるようにしてもよい。また、上述の例では F T 方式の C C D イメージセンサと同様の構成を採用しているが、インターライン・トランスファ (I T) 方式、フレーム・インターライン・トランスファ (F I T) 方式と同様の構成を採用することも可能である。

【 0 0 4 8 】

上述した構成例では、光検出素子 1 において垂直方向に配列した各 2 個ずつの感光部 1 1 を演算単位とし、光検出素子 1 から感光部 1 1 の電気出力を 1 回読み出す検出期間においては、演算単位となる 2 個の感光部 1 1 において受光光量 A_0 、 A_2 または受光光量 A_1 、 A_3 に相当する電気出力が得られるように制御回路部 3 において各感光部 1 1 の受光期間 T_w を制御している。言い換えると、変調信号における規定の位相に同期して設定された 4 つの受光期間 T_w のうちの 2 つの受光期間 T_w の電気出力を一括して読み出している。この構成に対して、垂直方向に配列した各 4 個ずつの感光部 1 1 を演算単位とし、変調信号の位相に同期して設定された 4 つの受光期間 T_w の電気出力が演算単位となる各感光部 1 1 で得られるように感光部 1 1 の受光期間 T_w を制御することも可能である。この場合には、受光光量 A_0 、 A_1 、 A_2 、 A_3 に対応する 4 つの受光期間 T_w の電気出力を 1 回の検出期間で読み出すことができる。

10

【 0 0 4 9 】

また、上述した構成例では、光検出素子 1 から得られる受光光量 A_0 、 A_1 、 A_2 、 A_3 に対応した電気出力の積算値または平均値を求め、この値を用いて各画素の画素値である距離を求めているが、画像生成部 4 では検出期間毎に各感光部 1 1 ごとの電気出力が入力され、電気出力を平均しなければ各 1 個の感光部 1 1 において距離を求めるのに必要な受光光量 A_0 、 A_1 、 A_2 、 A_3 に相当する 4 種類の電気出力が得られるから、この 4 種類の電気出力を用いて対象物 O_b までの距離を求めることも可能である。さらに、光検出素子 1 で受光する受光光量の変化幅は、外乱光に時間変化がなければ、発光源 2 から対象空間に照射される光の強度変調の振幅よりも小さくなる。そこで、常時は演算単位となる感光部 1 1 の電気出力を組み合わせて上述のようにして距離を求め、距離を求めるために演算単位としている感光部 1 1 で受光した受光光量 A_0 、 A_1 、 A_2 、 A_3 の変化幅 (最大値と最小値との差) が、予想された変化幅よりも大きいときに異常値と判断し、異常値

20

30

【 図面の簡単な説明 】

【 0 0 5 0 】

【 図 1 】 本発明の実施形態を示すブロック図である。

【 図 2 】 同上の動作説明図である。

【 図 3 】 同上に用いる光検出素子の要部の動作説明図である。

【 図 4 】 同上に用いる光検出素子の平面図である。

【 図 5 】 同上に用いる光検出素子の要部の動作説明図である。

【 図 6 】 同上に用いる光検出素子の要部の動作説明図である。

40

【 図 7 】 同上の動作説明図である。

【 図 8 】 同上の他の動作例の動作説明図である。

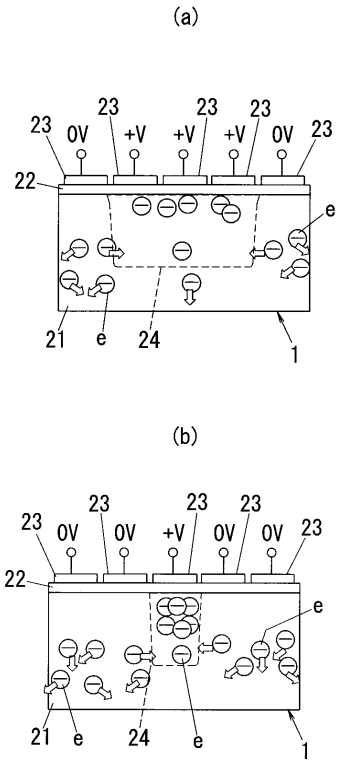
【 符号の説明 】

【 0 0 5 1 】

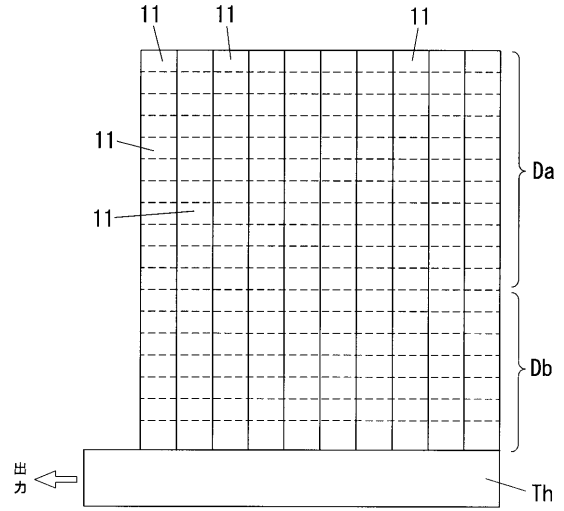
- 1 光検出素子
- 2 発光源
- 3 制御回路部
- 4 画像生成部
- 5 受光光学系
- 1 1 感光部

50

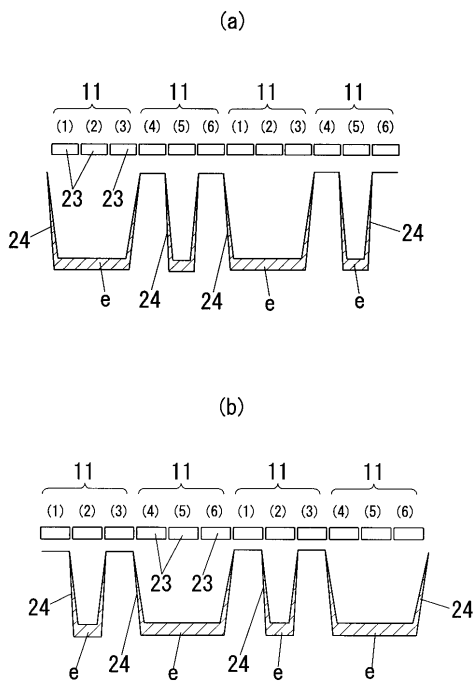
【 図 3 】



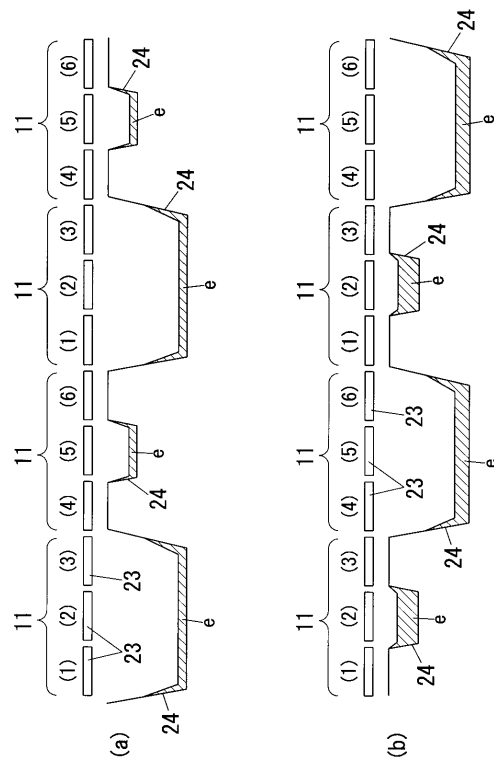
【 図 4 】



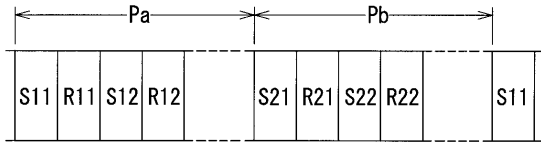
【 図 5 】



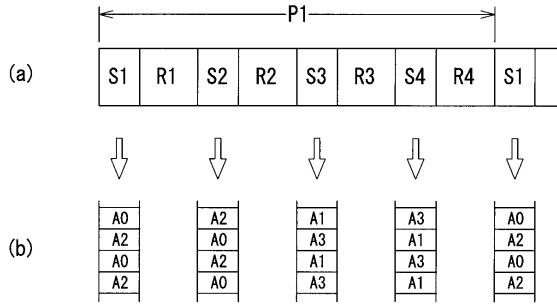
【 図 6 】



【 図 7 】



【 図 8 】



フロントページの続き

(51)Int.Cl. F I
H 0 4 N 5/335 Q

(72)発明者 橋本 裕介
大阪府門真市大字門真1048番地 松下電工株式会社内

(72)発明者 常定 扶美
大阪府門真市大字門真1048番地 松下電工株式会社内

審査官 大和田 有軌

- (56)参考文献 特開2004-045304(JP,A)
特開2006-084430(JP,A)
特開2004-356594(JP,A)
特開2004-309310(JP,A)
特表2004-525351(JP,A)
特開2004-032682(JP,A)
特表2003-532122(JP,A)
特表2002-516490(JP,A)
特表2000-517427(JP,A)
特表平10-508736(JP,A)
Robert Lange, et al., "Demodulation Pixels in CCD and CMOS Technologies for Time-of-Flight Ranging", Proceedings of SPIE, 2000年 5月, Vol.3965, p.177-188
Rudolf Schwarte, et al., "New optical four-quadrant phase-detector integrated into a photogate array for small and precise 3D-cameras", Proceedings of SPIE, 1997年 2月, Vol.3023, p.119-128
T. Spirig, et al., "The Lock-In CCD - Two-Dimensional Synchronous Detection of Light", IEEE Journal of Quantum Electronics, 1995年 9月, Vol.31, No.9, p.1705-1708

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

G 0 1 S	7 / 4 8	-	7 / 5 1
G 0 1 S	1 7 / 0 0	-	1 7 / 9 5
G 0 1 B	1 1 / 0 0	-	1 1 / 3 0
G 0 1 C	3 / 0 0	-	3 / 3 2
H 0 1 L	2 1 / 3 3 9		
H 0 1 L	2 7 / 1 4	-	2 7 / 1 4 8
H 0 1 L	2 9 / 7 6 2		
H 0 4 N	5 / 3 0	-	5 / 3 3 5