

InGaAsリニアイメージセンサ

目次

1. 構造、動作原理

- p02 1-1 構造
1-2 動作原理

2. 特性

- p03 2-1 入出力特性
2-2 直線性変動率
2-3 変換効率
2-4 分光感度特性
2-5 感度不均一性
2-6 暗出力
2-7 ノイズ

3. 使い方

- p08 3-1 セットアップ
3-2 駆動方法

4. 駆動回路

p13

5. 応用例

- p14 5-1 ミニ分光器
5-2 光チャンネルモニタ
5-3 穀物選別機

InGaAsリニアイメージセンサは近赤外線検出用のリニアイメージセンサです。InGaAsフォトダイオードアレイをゼロバイアスで駆動することにより、暗電流の影響を極力抑え、近赤外域で広いダイナミックレンジを実現しています。異物検査用InGaAsリニアイメージセンサは、ROICの改善により高速読み出しと高ゲインを実現しています。当社のInGaAsリニアイメージセンサは、以下の特長をもっています。

- 広いダイナミックレンジ
- チャージアンプ方式のため高ゲイン
- 飽和制御回路を内蔵
- ゲインの選択が可能
- ゼロバイアス駆動のため低暗電流
- CDS回路によって低ノイズを実現
- タイミング発生回路内蔵のため簡単動作
- ハイブリッドタイプ: 異なる感度波長範囲の裏面入射型チップを内蔵
- 広い感度波長範囲
- 低クロストーク

浜松ホトニクス社のInGaAsリニアイメージセンサ

入射型	用途	感度波長範囲 (μm)	画素数	画素サイズ [μm (H) $\times$ μm (V)]	パッケージ
表面入射型	分光分析 (標準タイプ)	0.9~1.7	128	50 $\times$ 250	セラミック
			256	50 $\times$ 250, 50 $\times$ 500	セラミック、メタル
			512	25 $\times$ 250, 25 $\times$ 500	
	分光分析 (ラマン分光)	0.85~1.45	512	25 $\times$ 500	メタル
	異物検査	0.9~1.7	256	50 $\times$ 50	セラミック
			512	25 $\times$ 25	
			1024	25 $\times$ 25, 25 $\times$ 100	
	分光分析 (長波長タイプ)	0.9~1.85	256	50 $\times$ 250	メタル
		0.9~2.05	512	25 $\times$ 250	
			256	50 $\times$ 250	
		0.9~2.15	256	50 $\times$ 250	
			512	25 $\times$ 250	
		0.9~2.25	256	50 $\times$ 250	
			256	50 $\times$ 250	
		0.9~2.55	512	25 $\times$ 250	
裏面入射型	分光分析 (標準タイプ)	0.95~1.7	128	50 $\times$ 250, 50 $\times$ 500	セラミック
			256	25 $\times$ 250, 25 $\times$ 500, 50 $\times$ 500	セラミック、メタル
			512	25 $\times$ 500	
	異物検査	0.95~1.7	256	50 $\times$ 50	セラミック
			512	25 $\times$ 25	
			1024	12.5 $\times$ 12.5	
			512	25 $\times$ 25	
	分光分析 (ハイブリッドタイプ)	0.95~2.15	508 (254 + 254)	25 $\times$ 250	メタル

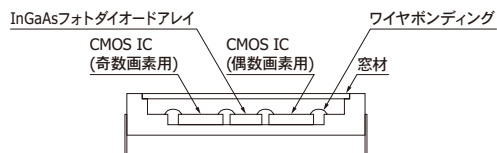
1. 構造、動作原理

1-1 構造

InGaAsリニアイメージセンサは、InGaAsフォトダイオードアレイと、チャージアンプアレイ・サンプル&ホールド回路・シフトレジスタ・読み出し回路・タイミング発生回路をもったCMOS IC (ROIC)から構成されています。InGaAsフォトダイオードアレイとCMOS ICは、表面入射型ではワイヤボンディング、裏面入射型ではバンプボンディングによって接続されています。表面入射型と裏面入射型の断面図を図1-1に、特長を表1-1に示します。パッケージには、常温動作用セラミックパッケージや電子冷却素子が内蔵されたメタルパッケージがあり、用途に応じて選択できます。電子冷却型InGaAsリニアイメージセンサのブロック図を図1-2に示します。アナログ入力V_{dd} (+5 Vまたは+3.3 V)、GND、チャージアンプリセット電圧 (INP)、画素電圧 (PDN)、読み出し回路リセット電圧 (V_{inp}, Fvref)、デジタル入力のマスタークロックパルス (CLK)と蓄積時間制御パルス (Reset)を入力すれば、アナログビデオ出力 (Video)とサンプル&ホールド用デジタル出力 (AD_trig, AD_sp)が得られます。

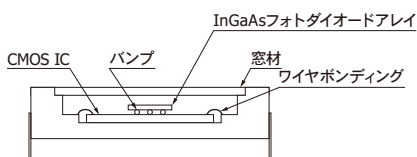
[図1-1] 断面図

(a) 表面入射型



KMIRC0131JA

(b) 裏面入射型

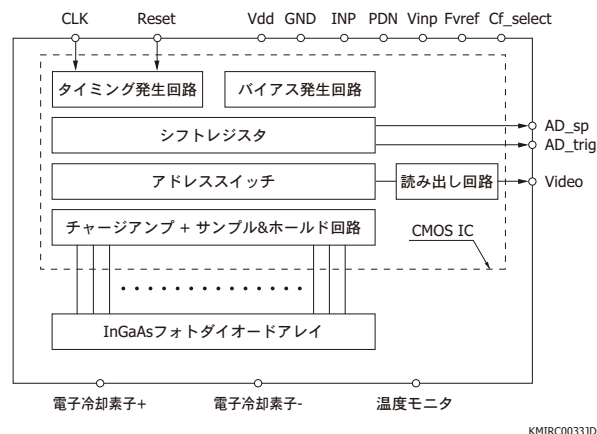


KMIRC0053JA

[表1-1] 表面入射型と裏面入射型の特長

表面入射型	裏面入射型
・広い感度波長範囲 ・高い量子効率	・狭画素ピッチが可能 ・小型化が可能 ・感度波長範囲が異なる複数チップのハイブリッド実装が可能

[図1-2] ブロック図 (電子冷却型)

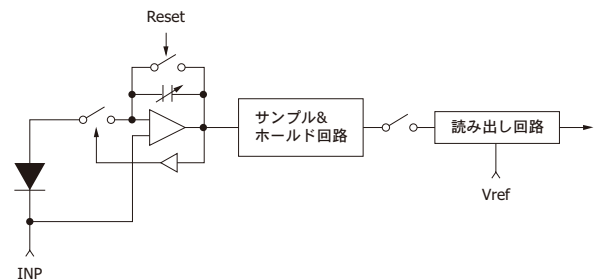


KMIRC0033JD

1-2 動作原理

InGaAsリニアイメージセンサのCMOS ICには、「チャージアンプとサンプル&ホールド回路」のアレイが形成され、InGaAsフォトダイオードアレイの各画素と1対1で接続されています。図1-3に1画素分の等価回路を示します。

[図1-3] 等価回路 (1画素分)



KMIRC0034JA

InGaAsリニアイメージセンサのフォトダイオードに光が入射すると電荷が発生し、チャージアンプのフィードバック容量に流れ込みます。差動入力型チャージアンプを採用しており、フォトダイオードをほぼゼロバイアスで駆動することができるため暗電流を下げるができます。なお、この暗電流による出力は固定パターンであるため、光入射がある場合の出力信号から暗電流による出力を減算することによって、光入射により発生した出力信号のみを取り出すことができます。なお、InGaAsフォトダイオードは化合物半導体のため格子欠陥が存在し、暗電流の絶対値およびそのバラツキはSiフォトダイオードと比較すると大きな値となります。その結果InGaAsフォトダイオードでは、最大蓄積時間 (暗電流によって飽和するまでの蓄積時間)が画素間で異なります。暗電流の大きな画素が飽和し、その後も蓄積していくとチャージアンプのフィードバック容量では蓄積しきれない電荷があふれて隣の画素に流れ込み、信号出力の純度を下げてしまいます (ブルーミング)。この対策として、チャージアン

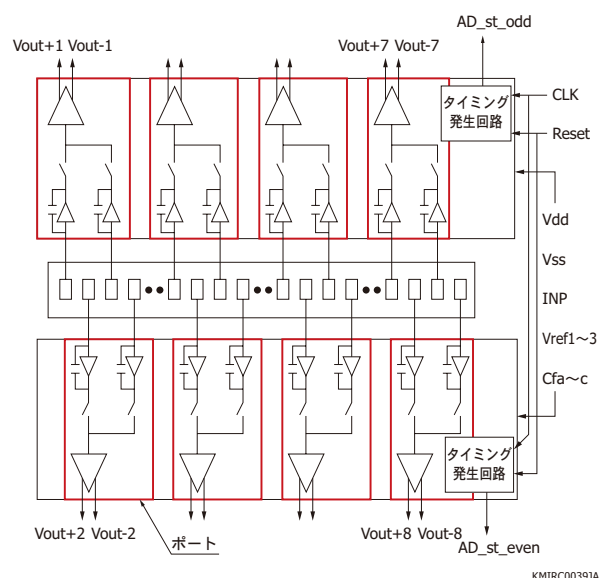
プのフィードバック容量が飽和したことを検知し、蓄積を停止する回路を各画素に設けることにより、ブルーミングの回避をしています。

チャージアンプは、連続した信号を取り出すために積分容量をリセットする必要があります。その際、大きなリセットノイズが発生するという欠点があります。このリセットノイズを除去しないと、高精度の測定を行うことができません。InGaAsリニアイメージセンサのCDS回路では、リセット直後に信号処理回路内で蓄積開始出力をホールドし、次に蓄積終了出力をホールドし、その差を取ることでリセット時のスイッチングノイズを除去しています。

なお、標準タイプはダイナミックレンジを優先した回路構成で、高速タイプは高速読み出しを優先した回路構成となっています。

また、マルチポートタイプは、さらに高速化を実現するために、画素をポートに分割して並列に読み出す方式を採用しています [図1-4]。

【図1-4】マルチポート読み出しの例 (8ポート)



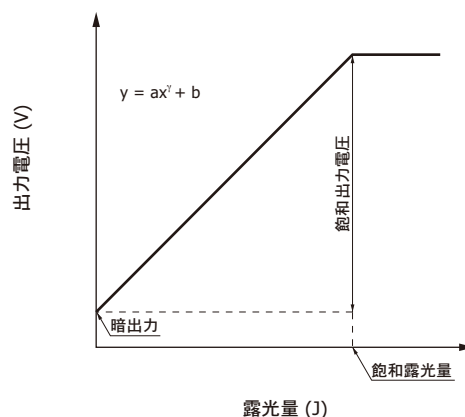
2. 特性

2-1 入出力特性

イメージセンサの入射光量と信号出力の関係を示した特性を入出力特性といいます。InGaAsリニアイメージセンサはチャージアンプ方式で動作するため、露光量（単位: J）は、光量（単位: W）と蓄積時間（単位: s）の積で表されます。

InGaAsリニアイメージセンサの出力は、電圧で表されます。図2-1に入出力特性の概念図を示します。斜線部分は式 (2-1) で表されます。

【図2-1】入出力特性の概念図 (対数グラフ)



$$y = ax^{\gamma} + b \quad \dots\dots\dots (2-1)$$

y: 出力電圧
a: 感度 (露光量に対する出力比)
x: 露光量
γ: 傾き係数
b: 暗出力 (露光量=0 のときの出力)

露光量を増やした場合、出力電圧の上限はチャージアンプの出力電圧範囲で決まるため、入出力特性は屈曲点をもちます。この屈曲点における露光量を飽和露光量、出力電圧を飽和出力電圧、チャージアンプに蓄えられた電荷量を飽和電荷量と呼びます。

当社のデータシートでは飽和出力電圧 (Vsat) は、光入射による出力の飽和電圧から暗出力を引いた差と定義しています。

飽和電荷量 (Qsat) は式 (2-2) で表されます。

$$Q_{sat} = C_f \times V_{sat} \quad \dots\dots\dots (2-2)$$

Cf: チャージアンプの積分容量 [F]

積分容量が10 pF、飽和出力電圧が2.8 Vの場合、飽和電荷量は28 pCとなります。

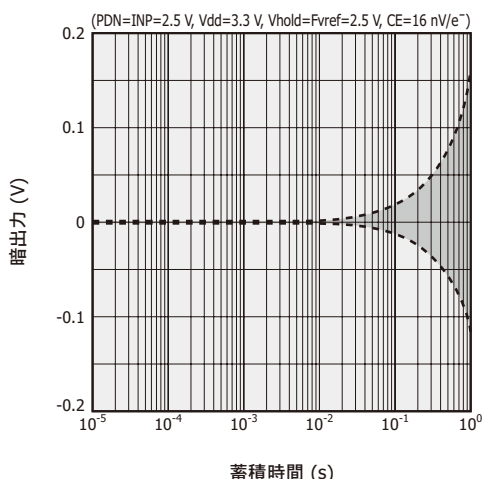
チャージアンプリセット電圧 (INP) と画素電圧 (PDN)

を同電位にすることでフォトダイオードをほぼゼロバイアスで駆動できます。しかし実際にはチャージアンプにはオフセット電圧が存在し、各画素の印加電圧には数mV程度のバラツキがあります。このため、光を入射しない状態（暗状態）では、蓄積時間を延ばすと出力がプラス方向（明出力の方向）に伸びていく画素とマイナス方向（明出力の方向の反対）に伸びていく画素が存在します。

マイナス方向の出力範囲はチャージアンプの出力電圧範囲で決まり、約0.3～0.5 Vで飽和します。マイナス方向に出力が伸びると不都合が生じる場合は、PDNをINPよりもわずかに高電位にすることでフォトダイオードに逆バイアスがかかり、すべての画素の出力を明出力の方向にそろえることができます。このとき、フォトダイオードをゼロバイアスで駆動する場合に比べて暗電流は大きくなります。暗出力と蓄積時間の関係を図2-2に示します。

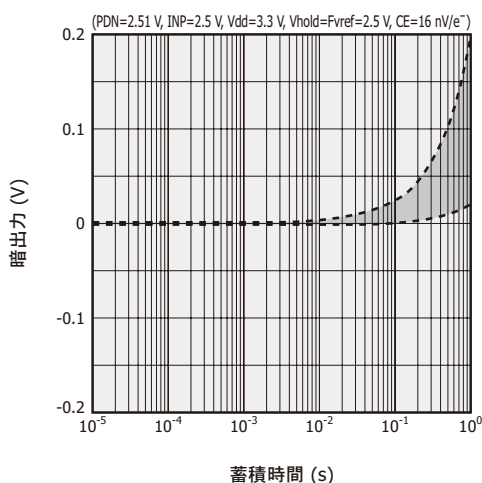
【図2-2】 暗出力（ビデオ信号からオフセット電圧を減算）－蓄積時間（G13913-256FG, 代表例）

(a) フォトダイオードをゼロバイアスで駆動



KMIRB0128JA

(b) フォトダイオードを逆バイアスで駆動



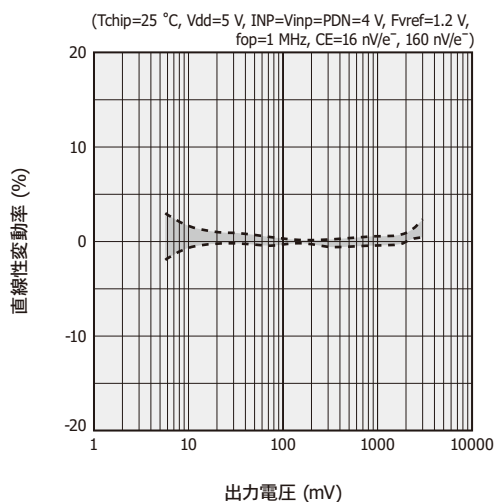
KMIRB0129JA

2-2 直線性変動率

前項における傾き係数 (γ) は、入出力特性を対数グラフで示したときの傾きに相当します。 γ の値は1ですが、実際の入出力特性は1よりわずかにずれています。このズレを直線性変動率（リニアリティエラー）と呼び、パーセントで表示します。

図2-3にランダムサンプリングの直線性変動率を示します。直線性変動率は飽和の95%以下の露光量に対して±3%以下と小さい値になっています。

【図2-3】 直線性変動率（G11508-512SA）



KMIRB0106JB

2-3 変換効率

変換効率（CE: Conversion Efficiency）は、チャージアンプに蓄えられた電荷1つ当たりの出力電圧です。当社のInGaAsリニアイメージセンサでは、外部電圧によってチャージアンプの積分容量（Cf）を切り替えることで、複数の変換効率から選択できます。変換効率は式（2-3）で表されます。積分容量が小さいほど変換効率は大きくなり、高ゲインになります。

$$CE = \frac{q}{C_f} \dots\dots\dots (2-3)$$

q: 1電子当たりの電荷量 [C]

2-4 分光感度特性

PN接合で形成された受光部に入射した光のエネルギーが、InGaAsのバンドギャップエネルギーより大きいと、価電子帯の電子が伝導帯に励起され、電子-正孔対が生成されます。この生成電荷は、拡散によってフォトダイオードの空乏層に到達し、電界で加速されPN接合を通過し、信号として読み出されます。バンドギャップエネ

ルギーよりも小さいエネルギーの光は検出することができません。カットオフ波長 (λ_c) は式 (2-4) で表されます。

$$\lambda_c = \frac{1.24}{E_g} [\mu\text{m}] \quad \dots\dots\dots (2-4)$$

E_g : バンドギャップエネルギー [eV]

$\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}$ ($x=0.53$) のバンドギャップエネルギーは常温で 0.73 eV のため、カットオフ波長は 1.7 μm です。また、長波長タイプの $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}$ ($x=0.82$) のバンドギャップエネルギーは常温で 0.48 eV のため、カットオフ波長は 2.6 μm になります。

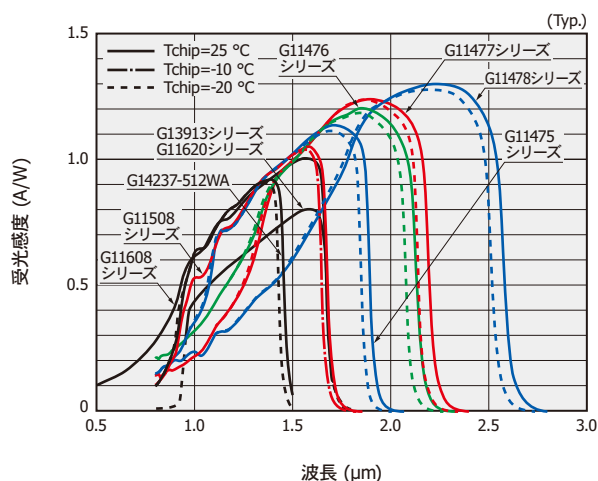
InGaAs の光吸収係数は、波長によって異なります。長波長ほど光吸収係数が小さくなり、カットオフ波長付近で急激に減少します。長波長の光ほど InGaAs 基板の深部まで到達し、キャリアの生成位置が深くなります。キャリアは特定の寿命をもっており、生成されてから特定の距離 (拡散長) しか拡散できないため、同じ入射光量が入っても空乏層に到達し信号として出力される確率は、波長によって異なります。また、フォトダイオード上の絶縁膜などの表面保護膜による入射光の干渉・反射・吸収も波長によって異なり、感度に影響します。

図2-4に分光感度特性の例を示します。温度が変わると、分光感度特性も変化します。これは、バンドギャップエネルギーが温度依存性をもっているためです。温度が低下すると、InGaAs のバンドギャップエネルギーが大きくなるため、最大感度波長およびカットオフ波長が短波長側に移動します。

裏面入射型は表面入射型に比べて感度が低くなります。InGaAs フォトダイオードは厚さ約 300 μm の InP 基板上に形成されますが、裏面入射型では InP 基板で光が吸収されます。0.95 μm 以下の光のほとんどが InP 基板で吸収されるため、裏面入射型では 0.95 μm 以下の感度が極めて低くなります。

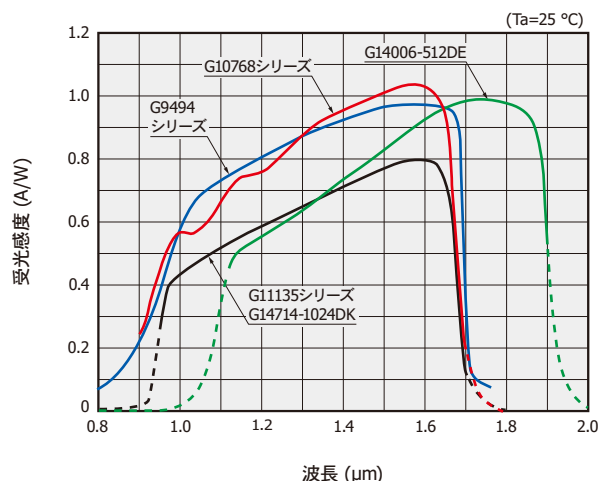
[図2-4] 分光感度特性

(a) 分光分析用



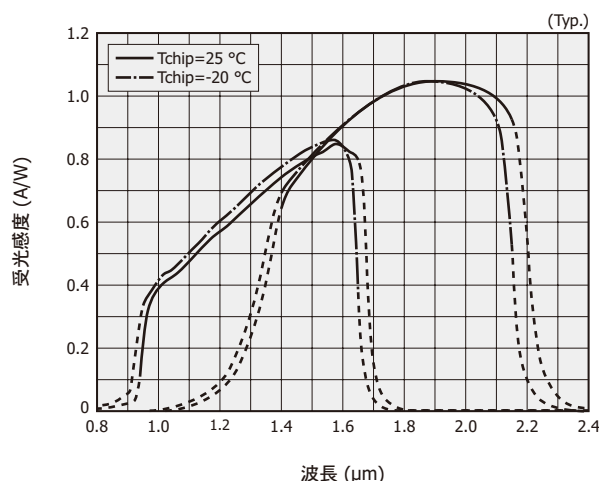
KMIRB0068JG

(b) 異物検査用



KMIRB0112JB

(c) ハイブリッドタイプ (G12230-512WB)



KMIRB0094JB

2-5 感度不均一性

InGaAs リニアイメージセンサには多数の InGaAs フォトダイオードが配列されていますが、それぞれのフォトダイオードの感度にはバラツキがあります。これは、InGaAs 基板内の結晶欠陥や製造工程における加工や拡散のバラツキに加えて、CMOS チャージアンプアレイのバラツキなどに起因しています。当社の InGaAs リニアイメージセンサでは、フォトダイオードの有効受光面に均一な光を入射したときの全画素出力のバラツキを感度不均一性 (PRNU: Photoresponse Nonuniformity) として式 (2-5) のように定義しています。

$$\text{PRNU} = (\Delta X / X) \times 100 [\%] \quad \dots\dots\dots (2-5)$$

X : 全画素の出力の平均値
 ΔX : 最大または最小出力画素の出力と X との差の絶対値

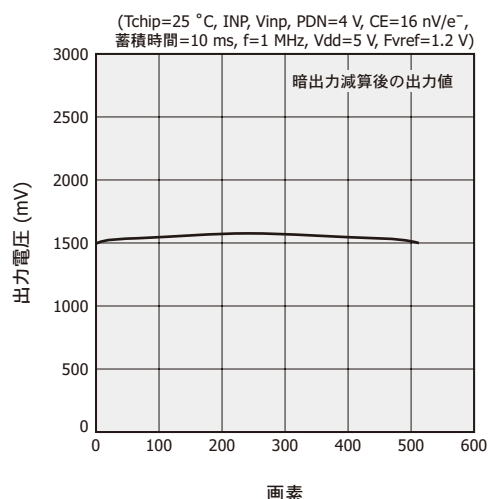
感度不均一性の出荷検査は、飽和出力電圧の約 50%、使用光源はハロゲンランプまたは赤外 LED で行われています。InGaAs リニアイメージセンサは、検出部に化

化合物半導体結晶を用いているため、フォトダイオードアレイ中に結晶欠陥などが存在し、異常出力信号を示す画素（不良画素）があります。感度不均一性の仕様は、 $\pm 5\%$ ～ $\pm 20\%$ の範囲です。

受光窓上の傷や汚れによって感度不均一性が悪化することがあるため、素子の取り扱いには注意が必要です。図2-5に感度不均一性の測定例を示します。いずれもランダムサンプリングのデータです。

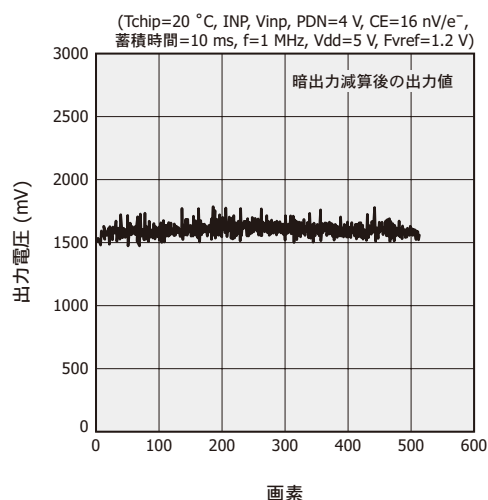
[図2-5] 感度不均一性 (代表例)

(a) G11508-512SA



KMIRB01213A

(b) G11478-512WB



KMIRB01223A

2-6 暗出力

暗出力は、光が入射していない状態における出力で、フォトダイオードの暗電流（拡散電流・再結合電流・表面リーク電流の合計）がチャージアンプを充電し、電圧変換して出力されます。暗電流（ I_D ）および暗出力（ V_d ）は式(2-6)(2-7)で表されます。

$$V_d = I_D \times (T_s / C_f) + V_{off} \dots\dots\dots (2-6)$$

V_d : 暗出力 [V]
 I_D : 暗電流 [pA]
 T_s : 蓄積時間 [s]
 C_f : 積分容量 [pF]
 V_{off} : ROICの出力オフセット電圧 [V]

$$I_D = C_f \times \frac{V_{d1} - V_{d2}}{T_{s1} - T_{s2}} \dots\dots\dots (2-7)$$

V_{d1} : 蓄積時間 T_{s1} における暗出力 [V]
 V_{d2} : 蓄積時間 T_{s2} における暗出力 [V]

センサ出力の上限は飽和出力電圧で制限されるため、暗出力が大きいと出力信号のダイナミックレンジが狭くなります。暗出力と光出力の和が出力信号となるため、画素ごとに暗出力を減算する信号処理を行うことにより、出力信号の純度を高めることができます。

蓄積時間は、暗出力の大きさを考慮して決める必要があります。ここで、暗出力（ V_d ）を飽和出力電圧（ V_{sat} ）に置き換え、蓄積時間（ T_s ）について式を書き直すと、最大蓄積時間（ T_{smax} ）は式(2-8)で表されます。

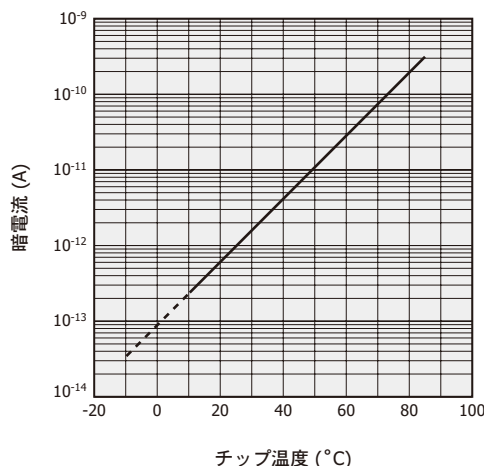
$$T_{smax} = C_f \times V_{sat} / I_D \dots\dots\dots (2-8)$$

温度が低いほどバンドギャップが広がり、価電子帯から伝導帯に励起するキャリアの数が減るため、暗電流は温度に対し指数関数的に減少します。当社のInGaAsリニアイメージセンサの場合、暗電流の温度係数 β は1.06 ～ 1.1であり、ある温度 T_1 （単位: °C）での暗電流を I_{DT1} （単位: A）とすると、任意の温度 T における暗電流 I_{DT} は式(2-9)で求められます。

$$I_{DT} = I_{DT1} \times \beta^{(T - T_1)} [A] \dots\dots\dots (2-9)$$

図2-6にカットオフ波長 1.7 μm のタイプ（G9204-512S）の暗電流温度特性（ランダムサンプリング）を示します。温度に加えて、ROICからInGaAsフォトダイオードに印加する逆電圧と、逆電圧の温度依存性によっても暗電流は変化します。

[図2-6] 暗電流-チップ温度 (G9204-512SA, 代表例)



KMIRB00283B

2-7 ノイズ

InGaAsリニアイメージセンサのノイズは、固定パターンノイズとランダムノイズに大別されます。

固定パターンノイズには、フォトダイオードの暗電流などがあります。暗電流はDC成分の電流性ノイズです。固定パターンノイズは読み出し条件が変わっても一定で、外部信号処理によってキャンセルすることができます。

ランダムノイズは、センサ内部で信号が出力される過程に起こる「電圧・電流・電荷の揺らぎ」によって生じます。固定パターンノイズを外部信号処理でキャンセルした場合、ランダムノイズがInGaAsリニアイメージセンサの微弱光に対する検出限界、つまりダイナミックレンジの下限を決定します。

ランダムノイズには次の5種類の成分があります。

- ① 暗電流によるショットノイズ (Nd)
- ② 光入射時の信号電流によるショットノイズ (Ns)
- ③ フォトダイオードのジョンソンノイズ (Nj)
- ④ チャージアンプをリセットする際のリセットノイズ (Nr)
- ⑤ CMOSチャージアンプの読み出しノイズ (Nr)

通常、④のチャージアンプのリセットノイズが支配的ですが、リセットノイズはCDS回路で大幅に低減できます。暗状態のノイズは①の暗電流によるショットノイズ、③のフォトダイオードのジョンソンノイズ、⑤のCMOSチャージアンプの読み出しノイズが大きな成分となります。暗電流によるショットノイズは、暗電流による出力電荷の不規則な発生によって生じます。このノイズは暗電流による出力電荷量とともに増加するため、蓄積時間・温度などの動作条件によって値が異なります。フォトダイオードのジョンソンノイズは、フォトダイオードの並列抵抗 Rshの熱雑音電流によって生じます。

②のショットノイズは、光入射時にフォトンが不規則に到達することによる揺らぎによって生じます。

トータルノイズ (N)は、式 (2-10)で表されます。

$$N = \sqrt{Nd^2 + Ns^2 + Nj^2 + Nr^2} \dots\dots\dots (2-10)$$

暗電流によるショットノイズ (Nd)や光入射時の信号電流によるショットノイズ (Ns)は、イメージセンサへの入力電荷量に換算した等価入力雑音電荷量で示すと、式 (2-11)(2-12)で表すことができます。

$$Nd = \sqrt{\frac{2I_D \times T_s}{q}} [e^- \text{ rms}] \dots\dots\dots (2-11)$$

$$Ns = \sqrt{\frac{2I_s \times T_s}{q}} [e^- \text{ rms}] \dots\dots\dots (2-12)$$

q : 1電子当たりの電荷量 [C]
 I_D : 暗電流 [A]
 T_s : 蓄積時間 [s]
 I_s : 光入射による信号電流 [A]

フォトダイオードの熱雑音電流 (I_j)は式 (2-13)で表すことができます。

$$I_j = \sqrt{\frac{4k \times T}{R_{sh} \times T_s}} [A] \dots\dots\dots (2-13)$$

k : ボルツマン定数 [J/K]
 T : 絶対温度 [K]
 R_{sh} : フォトダイオードの並列抵抗 [Ω]
 T_s : 蓄積時間 [s]

当社では、InGaAsリニアイメージセンサのノイズ量を各画素の出力電圧の揺らぎで示しており、単位は実効雑音電圧 (V rms)で表しています。したがって式 (2-11)(2-12)(2-13)を電圧換算すると、それぞれ式 (2-14)(2-15)(2-16)になります。

$$N_d = \frac{\sqrt{2q \times I_D \times T_s}}{C_f} [V \text{ rms}] \dots\dots\dots (2-14)$$

$$N_s = \frac{\sqrt{2q \times I_s \times T_s}}{C_f} [V \text{ rms}] \dots\dots\dots (2-15)$$

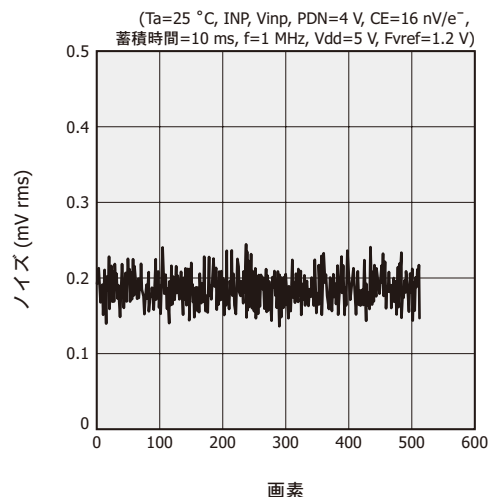
$$N_j = \sqrt{\frac{4k \times T \times T_s}{R_{sh} \times C_f^2}} [V \text{ rms}] \dots\dots\dots (2-16)$$

C_f : チャージアンプの積分容量 [F]

CMOSチャージアンプの読み出しノイズ (Nread)は、 $T_a=25^\circ\text{C}$ 、蓄積時間 1 ms、データレート 1 MHz、積算回数 50回で標準偏差を算出すると、G11508-512SAの場合、 $C_f=10 \text{ pF}$ で190 $\mu\text{V rms}$ 、 $C_f=1 \text{ pF}$ で250 $\mu\text{V rms}$ となります。データシートに掲載しているノイズ量は、 $T_{chip}=25^\circ\text{C}$ 、蓄積時間 0.1~20 ms、または $T_{chip}=-10^\circ\text{C}$ 以下、蓄積時間 1 ms以下で測定しています。図2-7にG11508-512SAとG11478-512WBの遮光時におけるノイズ出力のバラツキを示します。いずれもランダムサンプリングによるデータです。

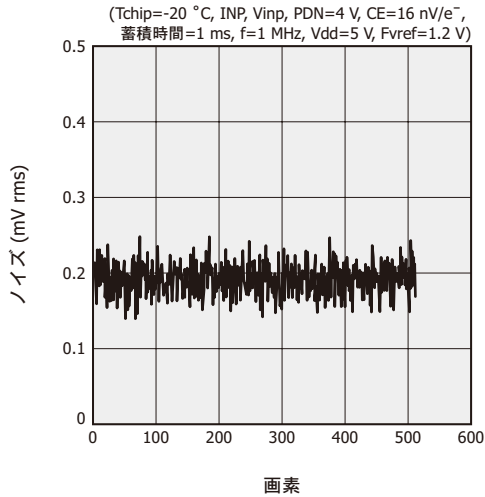
[図2-7] ノイズ出力のバラツキ (代表例)

(a) G11508-512SA



KMIRB01243A

(b) G11478-512WB



KMIRB01253A

3. 使い方

InGaAsリニアイメージセンサの駆動方法、駆動条件の設定、取り扱いの注意について説明します。

3-1 セットアップ

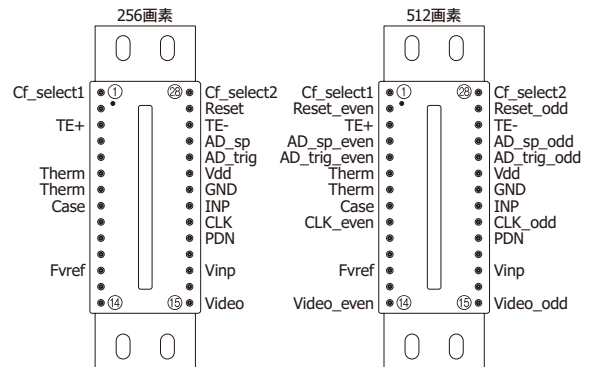
InGaAsリニアイメージセンサには、電子冷却型と非冷却型、サーミスタを内蔵したタイプと内蔵しないタイプがありますが、冷却の有無を除けば駆動方法は同じです。

(1) 接続

図3-1・図3-2と表3-1を参照して接続を行ってください。

[図3-1] ピン接続

(G11508/G11475~G11478シリーズ, 上面図)

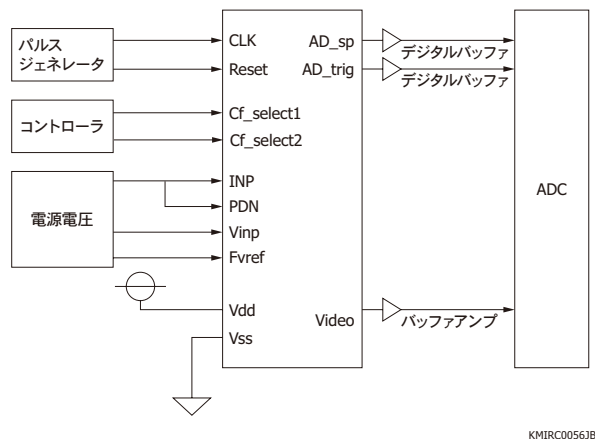


KMIRC01053A

[表3-1] 端子の機能および推奨接続 (G11475~G11478シリーズ)

端子名	入出力	機能および推奨接続
CLK	入力	CMOSシフトレジスタを動作させるためのパルス
Reset	入力	CMOSチップ上のチャージアンプのフィードバック容量を初期化するためのリセットパルス。パルス幅によって積分時間が決まります。
Vdd	入力	CMOSチップ上の信号処理回路を動作させるための供給電圧
GND	入力	CMOSチップ上の信号処理回路用グラウンド (0 V)
Case	入力	GNDに接続してください。
INP	入力	CMOSチップ上のチャージアンプアレイ用のリセット電圧
PDN	入力	InGaAsフォトダイオードのカソードバイアス端子
Vinp	入力	ビデオラインリセット電圧
Fvref	入力	CMOSチップ上の差動アンプリファレンス電圧
AD_sp	出力	A/D変換用のデジタルスタート信号
AD_trig	出力	A/D変換用のサンプリング同期信号
Video	出力	アナログビデオ信号
Cf_select	入力	CMOSチップ上のフィードバック容量 (Cf)を決める電圧
Therm	出力	パッケージ内の温度をモニタするためのサーミスタ用端子
TE+, TE-	入力	フォトダイオードアレイを冷却するための電子冷却素子用電源端子

【図3-2】 セットアップ図
(G11508/G11475～G11478シリーズ)



▶ 電源

Vddはアナログ、デジタル兼用として電源に接続します。また、INP、PDN、Vinp、Fvrefはアナログ電源に接続します。これらの電源はできる限り低ノイズ・低リップルのものを使用し、電源ラインは低インピーダンスになるように配線をできるだけ太くしてください。ここで発生するノイズが最終的なノイズを決める要因になることがあります。また、装置内に組み込む場合は、他の機器との電位の違いを考慮してグラウンドを接続してください。

▶ パルスジェネレータ

InGaAsリニアイメージセンサの駆動に必要な2種類の信号（CLK、Reset）を供給するパルスジェネレータを接続します。

▶ オシロスコープ

Video端子をオシロスコープの入力端子に接続します。オシロスコープのExt.trig端子には、ビデオ信号の同期を取るためにパルスジェネレータからのリセットパルスを入力してください。このとき、ビデオ信号は外部回路でバッファさせてください。外部ノイズの影響を防ぐため、必ずシールドケーブルを使用してください。リニアイメージセンサが正常に動作しているかを確認するために、必ずオシロスコープに接続して確認してください。

▶ A/D変換器

ビデオ信号をA/D変換器に入力する場合は、ビデオ信号とAD_trigを使用してください。A/D変換器の仕様を十分確認してからA/D変換器に接続してください。

▶ 電子冷却素子用の電源

温度制御回路ではリニアイメージセンサのパッケージ内にあるサーミスタの抵抗値をモニタし、電子冷却素子に供給する電力を決定します。電源はできる限り低ノイズ・低リップルのものを使用し、電源ラインは低インピーダンスになるように配線をできるだけ太くしてください。

特にTE+、TE-は必ず太くしてください（＜18 awg）。なお、電子冷却素子の誤配線をしないように注意してください。

(2) 放熱器

▶ 放熱器の選択

1段電子冷却素子を-10℃に設定する場合、セーフティマージンをみて0.5℃/W以下の放熱器を選択してください。また、2段電子冷却素子を-20℃に設定する場合は、0.4℃/W以下の放熱器を選択してください。

放熱器を熱がこもるような環境下に置かないように装置の設計をする必要があります。エアファンや通気ダクトを配置して、放熱器で発生した熱が十分放熱されるように通風設計を行ってください。なお、強制ファン空冷によっても放熱器の熱抵抗は変わります。

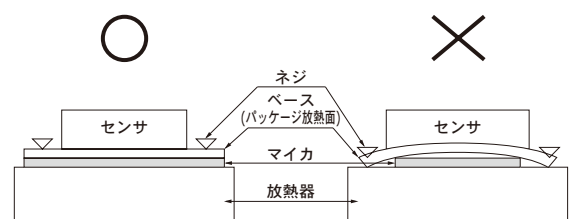
▶ 放熱器への取り付け方法

冷却能力を十分に発揮させるには、パッケージと放熱器を正しく接着する必要があります。以下の点に注意して取り付けてください。

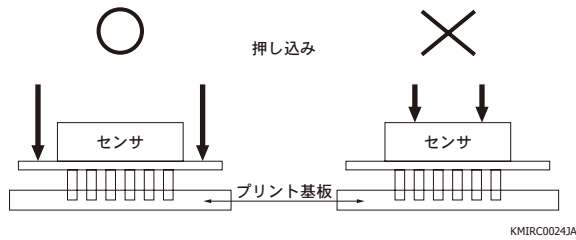
- ・ 放熱器の接着面およびパッケージの放熱面がきれいで平坦であることを確認してください。
- ・ パッケージ放熱面の全面が放熱器に密着するように取り付けてください。破損を防止し冷却効率を向上させるため、放熱面は表面積を広くする必要があります。
- ・ パッケージ放熱面と放熱器の間の熱抵抗を下げるため、熱伝導グリスなどを薄く均一に塗布し、一様に広がるように均一にネジ止めしてください。ネジ止めの際には、熱伝導グリスが十分広がるように、左右のネジを交互にゆっくりと締め付けてください。また、マイカなどを使用する場合にも、パッケージ放熱面の全面が接触するようにしてください。もし、ネジ止め位置までマイカの寸法がないままネジ止めした場合、冷却効率が下がるだけでなく、ベースがそり電子冷却素子が破損することがあります [図3-3 (a)]。
- ・ パッケージを放熱器やプリント基板に固定する際は、パッケージ上面を指などで押して付けないようにしてください。受光窓に応力がかかり、受光窓の脱落やパッケージの気密が損なわれる原因になります [図3-3 (b)]。

【図3-3】 センサの取り付け方法

(a) 例1



(b) 例2



(3) ビデオ信号のモニタ

ビデオ信号はイメージセンサ出力端において駆動能力がないため、バッファアンプを通した後、オシロスコープにてモニタしてください。

3-2 駆動方法

動作確認は、センサを暗状態に行う必要があります。受光部を遮光して行ってください。

(1) 駆動回路への電源投入

センサに供給する電源電圧 (Vdd, INP, Vinpなど)を確認してから電源を投入します。このとき、電流値が正常であることを確認してください。過電流が流れている場合は、電源ラインがショートしている可能性があるため、速やかに電源を切り、電源ラインを確認してください。

(2) パルスジェネレータからの制御信号入力

図3-4のタイミングチャートを参照して、パルスジェネレータからの制御信号をInGaAsリニアイメージセンサ (G11508/G11475～G11478/G14714シリーズ)へ入力します。2種類の制御信号 (CLK, Reset)を入力します。各信号は、H-CMOSレベルの入力にしてください。これ以外のレベルで入力すると誤動作することがあります。CLKの周波数はビデオ信号の読み出し周波数を決定し、Resetのパルス間隔は蓄積時間を決定します。なおCLKとResetは、同期していなくても正常に動作します。

(3) 駆動タイミングの設定

▶ 例1: InGaAsリニアイメージセンサ G11508/G11475～G11478シリーズをCLK周波数 1 MHzで動作させる場合

G11508/G11475～G11478シリーズは、積分後読み出し方式を採用しています。ビデオ信号の読み出し周波数はCLK信号の周波数と同じであり、1画素当たりの読み出し時間 (tr)は1 μsとなります。このため、1回の読み出しにかかる時間 (tscan)は、式 (3-1)のようになります。

$$\begin{aligned} t_{\text{scan}} &= (t_c \times 28) + (t_r \times N) \dots\dots\dots (3-1) \\ &= 1 [\mu\text{s}] \times 28 + 1 [\mu\text{s}] \times 256 \\ &= 264 [\mu\text{s}] \end{aligned}$$

tc: CLK周期
N: 画素数

蓄積時間 [図3-4 (a)のResetのHigh期間]とリセット時間 [図3-4 (a)のResetのLow期間]を用いて、ラインレートを計算します。この場合のリセット時間は式 (3-1)で求めた読み出し時間より長くする必要があるため、リセット時間 > 284 μsに設定します。読み出し時間は、Resetのパルス幅やCLKとの同期の仕方により若干長くなります。

G11508/G11475～G11478シリーズの最大CLK周波数は5 MHz、最小蓄積時間は6 CLKのため、最大ラインレートは式 (3-2)で表されます。

$$\begin{aligned} \text{最大ラインレート} &= 1/(\text{最小蓄積時間} + \text{最小}t_{\text{scan}}) \dots\dots\dots (3-2) \\ &= 1/(1.2 [\mu\text{s}] + 56.8 [\mu\text{s}]) \\ &= 17241 [\text{lines/s}] \end{aligned}$$

蓄積時間が長くなると、ラインレートは下がります。

▶ 例2: InGaAsリニアイメージセンサ G14714シリーズをCLK周波数 15 MHzで動作させる場合

異物検査用に設計されたG14714シリーズは、高速読み出しに対応するため積分中読み出し方式を採用しています。蓄積中に、前回のフレームで蓄積した信号を読み出します。ビデオ信号の読み出し周波数は、CLK信号の周波数と同じであり、1画素当たりの読み出し時間 (tr)は66.7 nsです。このため、1回の蓄積と読み出しにかかる時間 (tscan)は、式 (3-3)のようになります。この時間は、Resetのパルス幅、ResetとCLKとの同期の仕方により若干長くなります。

$$\begin{aligned} t_{\text{scan}} &= (t_c \times 6) + 3 [\mu\text{s}] + (t_r \times N) \dots\dots\dots (3-3) \\ &= 66.7 [\text{ns}] \times 6 + 3 [\mu\text{s}] + 66.7 [\text{ns}] \times 256 \\ &= 20.48 [\mu\text{s}] \end{aligned}$$

tc: CLK周期
N: 画素数

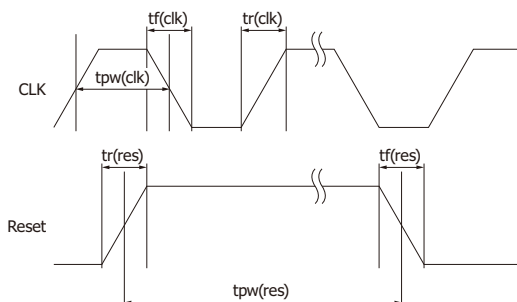
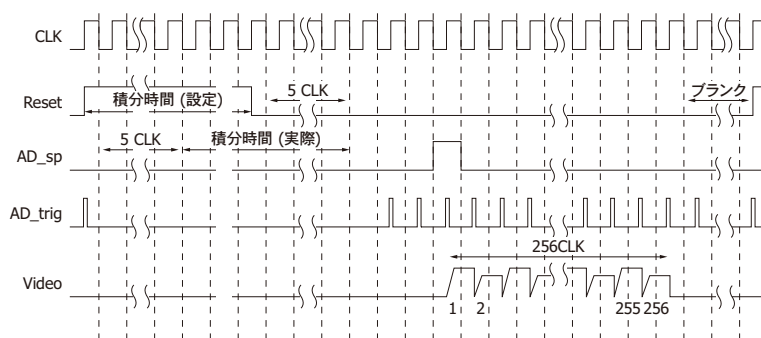
ラインレートについては、蓄積時間、読み出し時間 (ResetのHigh期間 [図3-4 (b)]、リセット時間 (ResetのLow期間 [図3-4 (b)])を用いて計算します。このときリセット時間を4 μs以上に設定します。G14714シリーズの最大CLK周波数は15 MHzのため、最大ラインレートは式 (3-4)で表されます。

$$\begin{aligned} \text{最大ラインレート} &= 1/(\text{最小}t_{\text{scan}} + \text{最小リセット時間}) \dots\dots (3-4) \\ &= 1/(20.48 [\mu\text{s}] + 4 [\mu\text{s}]) \\ &= 40850 [\text{lines/s}] \end{aligned}$$

ビデオ信号のサンプリング期間については、Reset立ち上がり直後のCLK立ち下がりから4 CLK目を基点とし、84～96 nsの範囲に設定します。

[図3-4] タイミングチャート

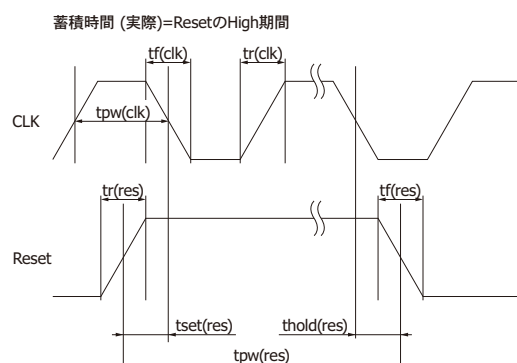
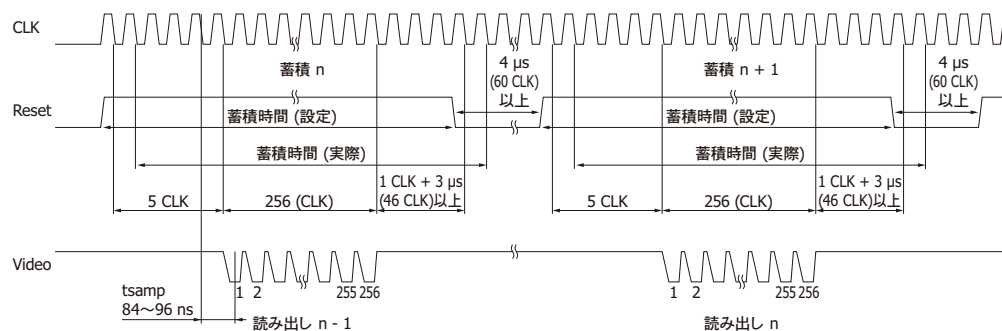
(a) G11508/G11475~G11478シリーズ (積分後読み出し方式, 各ビデオライン)



KMIRC01043A

項目	記号	Min.	Typ.	Max.	単位
クロックパルス周波数	fop	0.1	1	5	MHz
クロックパルス幅	tpw(clk)	60	500	5000	ns
クロックパルス上昇／下降時間	tr(clk), tf(clk)	0	20	30	ns
リセットパルス幅	High	6	-	-	clocks
	Low	284	-	-	
リセットパルス上昇／下降時間	tr(res), tf(res)	0	20	30	ns

(b) G14714シリーズ (積分中読み出し方式)



KMIRC01213B

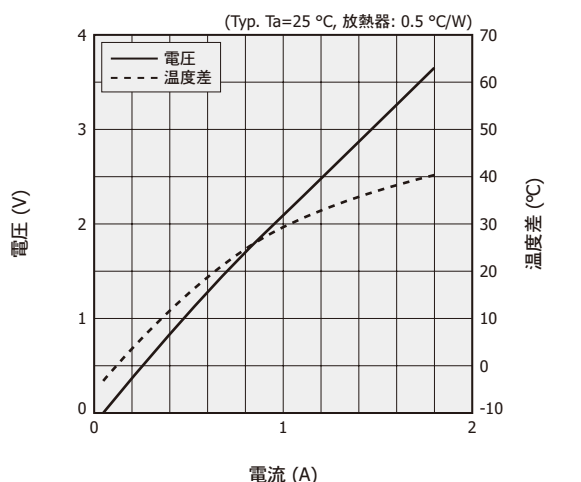
項目	記号	Min.	Typ.	Max.	単位
動作周波数	fop	0.1	-	15	MHz
クロックパルス幅	tpw(clk)	-	33.3	5000	ns
クロックパルス上昇／下降時間	tr(clk), tf(clk)	0	5	10	ns
リセットパルス幅	High	tpw(res)	262 CLK + 3 μ s	-	-
	Low		4 μ s	-	
リセットパルス上昇／下降時間	tr(res), tf(res)	0	10	20	ns
クロックセットアップ時間	tset(res)	10	-	-	ns
クロックホールド時間	thold(res)	10	-	-	ns

(4) 電子冷却素子への電源投入

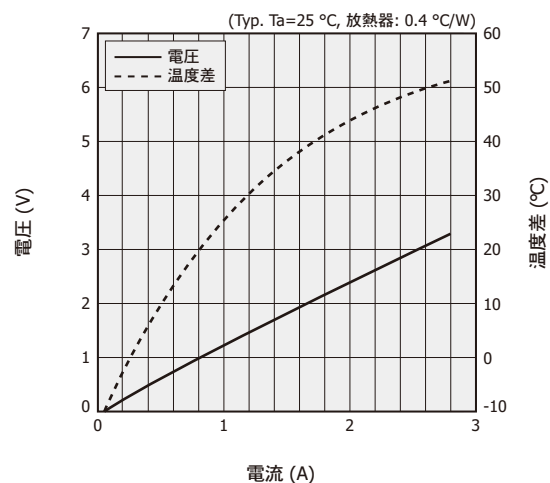
電子冷却素子への電源の投入時には、センサを破損させないように十分に注意する必要があります。電子冷却素子の電源回路を設計する場合、次の点について注意してください。

- ・絶対最大定格を超えて使用しないでください。
- ・電源電圧・極性を間違えないように確実に行ってください。間違えた状態で電源を投入すると、センサを破損します。
- ・電源は、できる限り低ノイズ・低リップルのものを使用してください。電源ラインは、低インピーダンスになるように配線はできるだけ太くしてください。特にTE+・TE-は必ず太くしてください。
- ・電子冷却素子の破損を避けるため、過電流防止回路を必ず付けてください。
- ・放熱器の高温側の温度をモニタし、過冷却で放熱器の温度が設計値以上にならないように保護回路を付けてください。
- ・図3-5・図3-6を参照して、目標温度にするために最適な電圧値・電流値を設定してください。

【図3-5】 1段電子冷却素子の温度特性



【図3-6】 2段電子冷却素子の温度特性



KMIRB0032JD

4. 駆動回路

InGaAsリニアイメージセンサ G11508/G11475～G11478シリーズの推奨駆動回路を図4-1に示します。

» 回路作成上の注意

(1) バイアス生成回路

- ・アンプでバッファした電圧を印加する回路構成を推奨します。アンプの帯域を適切に制限するとノイズを抑制できます。アンプ出力の後段にRCフィルタを挿入することを推奨します (例: 10 Ω, 0.1 μF, f=約160 kHz)。
- ・抵抗分圧で生成した電圧だけでもInGaAsイメージセンサを駆動できますが、応答速度・インピーダンスに起因して直線性などの特性が劣化するため、推奨していません。
- ・位相余裕が十分にあるオペアンプ (AD8031など) を使用してください。位相余裕が十分ないと、バイパスコンデンサによってオペアンプが発振する場合があります。
- ・リニアレギュレータは、電流を引き抜く能力が不足して直線性などの特性が劣化するため、推奨していません。
- ・バイアス電圧の安定性はセンサノイズに影響するため、オシロスコープで確認してください。
- ・バイアス生成回路には、比較的大きな電流が瞬間的に流れることがあります。データシートに記載された供給電流の最大値の10倍以上を供給できる電圧源を使用してください。

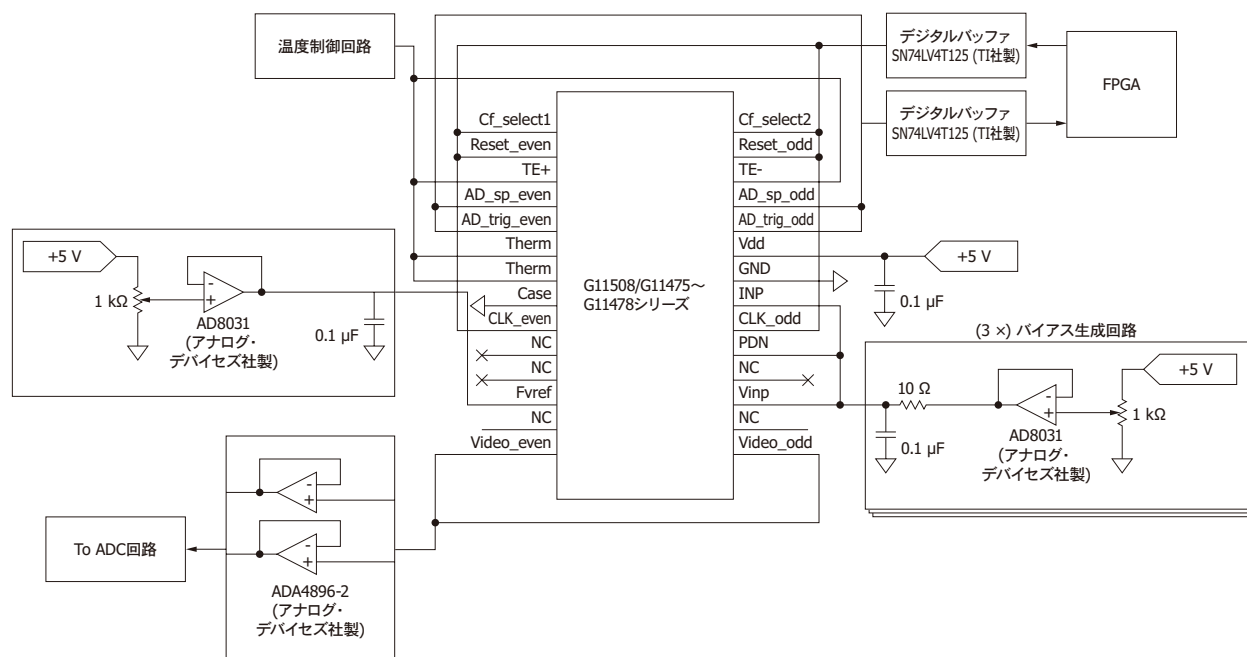
(2) 電源

- ・安定した外部電源や電源回路から電源を供給してください。
- ・センサ端子直近でコンデンサ (0.1 μF) にてデカップリングしてください。
- ・比較的大きな電流が瞬間的に流れることがあり、チョークコイルなどを使用すると電圧降下が発生することがあるため注意してください。

(3) 読み出し回路

- ・センサの出力インピーダンスが比較的高いため、センサ出力端に近い箇所でバッファしてください。
- ・ノイズ低減のため、読み出し回路の帯域をピクセルレートの3～10倍に抑えてください (5倍程度を推奨)。

[図4-1] 推奨駆動回路 (アナログフロントエンド回路)



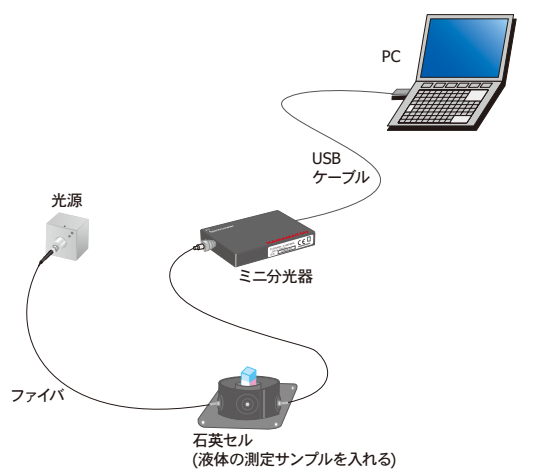
KMIRC01353A

5. 応用例

5-1 ミニ分光器

当社は、InGaAsリニアイメージセンサを内蔵したミニ分光器を用意しています。測定光を光ファイバ経由で入光し、分光結果をUSB接続でPCに取り組むことにより、分光スペクトルの収集ができます。装置内部に可動部分がないため、常に安定した測定が期待できます。また、導光部に光ファイバを用いているため、測定物へのフレキシブルなセッティングが可能です。

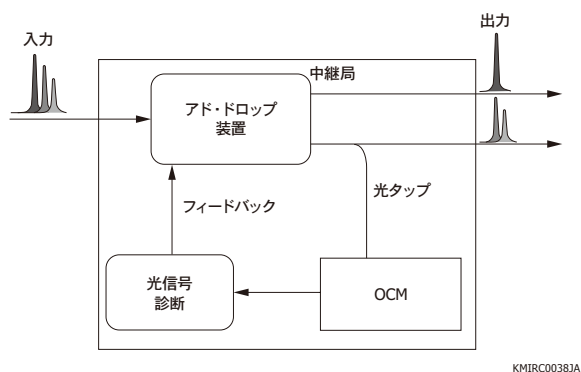
[図5-1] ミニ分光器の接続例 (透過光計測)



5-2 光チャンネルモニタ

伝送情報量の多い波長多重（WDM）ネットワークにおいて、信号の波長・パワーをモニタする光チャンネルモニタ（OCM）というデバイスが重要な役割を果たしています。OCMにおいて、InGaAsリニアイメージセンサは、分光素子により空間的に分波された光を検出します。

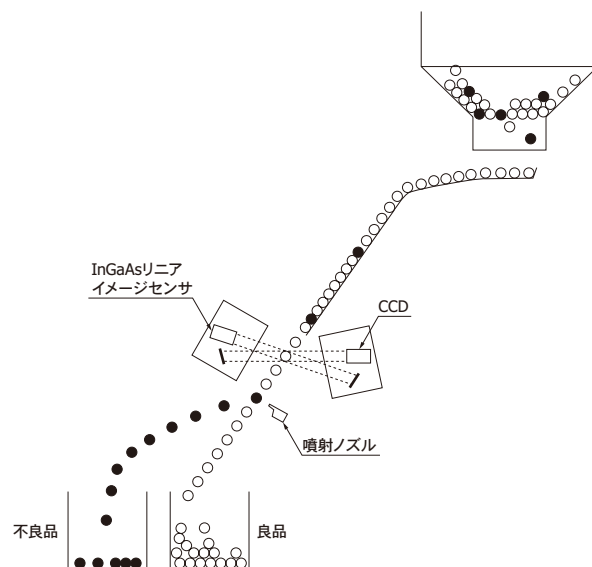
[図5-2] 光チャンネルモニタの構成例



5-3 穀物選別機

穀物選別機では、流下する穀物に光を照射し、その反射光・透過光から不良品を識別し、高圧空気の噴射によって不良品を除去します。InGaAsリニアイメージセンサを用いることで、穀物の成分分析ができ同時に多数の穀物の識別処理が可能になります。

[図5-3] 穀物選別機の構成



本資料の記載内容は、令和3年5月現在のものです。

製品の仕様は、改良などのため予告なく変更することがあります。本資料は正確を期するため慎重に作成されたものですが、まれに誤記などによる誤りがある場合があります。本製品を使用する際には、必ず納入仕様書をご用命の上、最新の仕様をご確認ください。

本製品の保証は、納入後1年以内に瑕疵が発見され、かつ弊社に通知された場合、本製品の修理または代品の納入を限度とします。ただし、保証期間内であっても、天災および不適切な使用に起因する損害については、弊社はその責を負いません。

本資料の記載内容について、弊社の許諾なしに転載または複製することを禁じます。

浜松ホトニクス株式会社

www.hamamatsu.com

仙台営業所	〒980-0021	仙台市青葉区中央3-2-1 (青葉通プラザ11階)	TEL (022) 267-0121	FAX (022) 267-0135
筑波営業所	〒305-0817	つくば市研究学園5-12-10 (研究学園スクウェアビル7階)	TEL (029) 848-5080	FAX (029) 855-1135
東京営業所	〒105-0001	東京都港区虎ノ門3-8-21 (虎ノ門33森ビル5階)	TEL (03) 3436-0491	FAX (03) 3433-6997
中部営業所	〒430-8587	浜松市中区砂山町325-6 (日本生命浜松駅前ビル)	TEL (053) 459-1112	FAX (053) 459-1114
大阪営業所	〒541-0052	大阪市中央区安土町2-3-13 (大阪国際ビル10階)	TEL (06) 6271-0441	FAX (06) 6271-0450
西日本営業所	〒812-0013	福岡市博多区博多駅東1-13-6 (いちご博多イーストビル5階)	TEL (092) 482-0390	FAX (092) 482-0550

固体営業推進部 〒435-8558 浜松市東区市野町1126-1 TEL (053) 434-3311 FAX (053) 434-5184