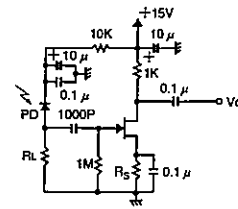


応用回路例

① 低雑音光センサプリアンプ

空間光伝送の受光部、光リモコンなどに使用します。フォトダイオードに逆電圧をかけて応答周波数を高くしています。入力抵抗の小さい増幅器へのインターフェイスに使用できます。

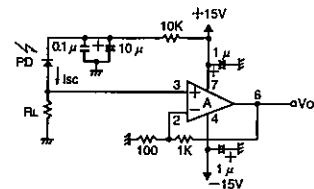


PD S1721, S2506, S2216, S4751など高速PINフォトダイオード
 RL 感度とPDのCtとの時定数で決定
 Rs FETの動作点で決定
 FET 2SK152, 2SK192A, 2SK362など

KPD C0014JA

② 高速光センサ

①の回路と基本的には同じです。周波数特性の良い演算増幅器を信号増幅器として使用します。直流信号も検知することができます。負荷抵抗RLにて電流-電圧変換後、非反転増幅を行うため、増幅器の位相ズレに基づくゲインピーキングの恐れがありません。

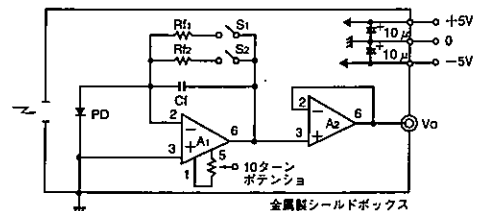


RL, PD ①と同じ
 A OPA620, HA2625, LF357など
 $V_o = I_{sc} \times R_L \times 11(V)$

KPD C0015JA

③ 極微弱光センサヘッド

全体を金属製のシールドボックスに収納し、外部からのEMIを避けま。フォトダイオードの開窓は必要最小限とします。シールドボックスに収納した乾電池を電源として使用すると、さらにS/Nが良くなります。

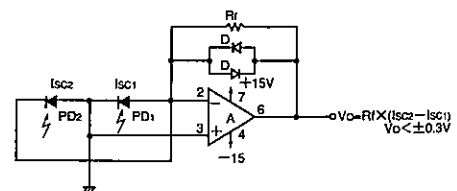


太線の部分はガードパターン内又はテフロン端子上に配線
 A1 AD549, OPA111, OPA128など Rf ~10GΩ
 A2 OP07 S リーク電流の小さいリードリレー
 Cf 10~100pFスチコン PD S1226, S1336, S2386など

KPD C0016JA

④ 光量バランス検知回路

2つのフォトダイオードに入る光量が等しいときに出力電圧Voがゼロになります。帰還部に2つのダイオードを入れることにより、アンバランスの状態ではVo=±0.6V(最大)になります。光フィルタを用いて、特定波長間の光量バランス検知に利用できます。



フォトダイオードへ入る光量が等しいときVoは零、アンバランスの状態ではVo=±0.3~0.5V。フィルタを用いて、特定波長間の光量バランス検知に利用可能。

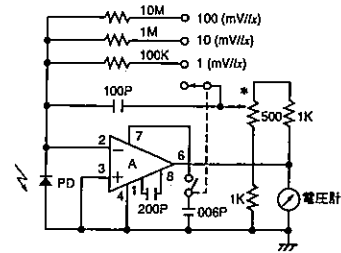
PD S1226, S1336, S2386など
 A LF356など
 D IS1588, IS306など

KPD C0017JA

⑤ 照度計

視感度補正されたフォトダイオードと、単電源で動作する演算増幅器を用いた照度計です。5Vレンジの電圧計で、最大5000lxの照度を測定できます。演算増幅器はバイアス電流が小さい単電源用を使用する必要があります。照度計の校正は標準光源を使用します。標準光源がない場合は、100Wの白色電球を使用して行うことも可能です。

まず、右図で10mV/lxレンジを選択し、500Ω VRのワイバ端子とオペアンプ出力端子を短絡します。この状態で電圧計が0.65Vを指示するように、白色電球との距離を調整します。次に短絡を開放し、電圧計が1.0Vを示すようにVRを調整し、校正を終了します。



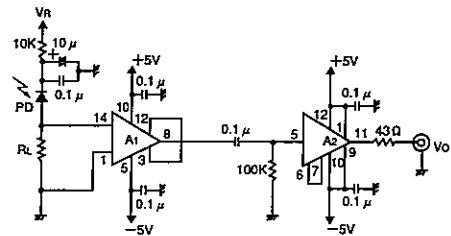
A CA3130 (ICL7611なども使用可)
PD S1133 (0.65 μA/lx)
* メータ校正用ボリューム

KPD C0018JA

⑥ ビデオアンプを用いた高速光センサ

②の回路と基本的に同じですが、交流信号専用とし、同軸ケーブルを駆動するバッファを併用します。ビデオアンプのゲインと帯域幅はA1のショートバーの位置を変えることで可変できます。RLはビデオアンプの入力抵抗より小さく、数kΩ以下とします。グラウンドパターンは、なるべく太く、広くしておきます。

各ICの電源に接続してある0.1 μFはセラミックコンデンサで、直近の接地電位に最短距離で接続します。

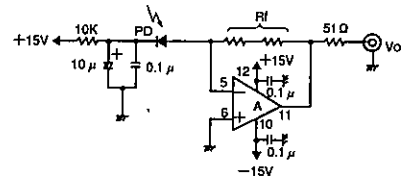


RL, PD ①と同じ
A1 LM733, μPC1664など (図中の条件でG≒20, B≒90MHz)
A2 LH0002, LH0033など

KPD C0018JA

⑦ 高速演算増幅器を使用した光センサ

バイアスをかけたフォトダイオードと、電流—電圧変換型の演算増幅器を使用します。帰還抵抗は複数の抵抗を使用し、抵抗の浮遊並列容量を分散して時定数の影響を小さくします。電源のデカップリングコンデンサについては、⑥と同様の注意が必要です。

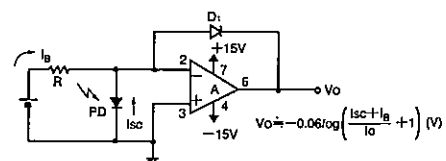


PD ①と同じ
RF 並列容量を避けるため複数個直列
A OPA620, LH0032など

KPD C0020JA

⑧ 光量—対数電圧変換回路

出力電圧は検知光量の対数変化に比例します。ログダイオードは小信号用トランジスタのベース—エミッタ間や接合型FETのゲート—ソース間のダイオードも利用できます。Ibはログダイオードにバイアス電流を供給する電流源です。Ibがないと、入射光が零となった時、回路が不安定になります。



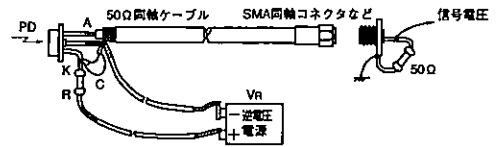
D1 ログダイオード, ZU490(Ferranti)など
Ib 回路動作点設定用電流源, $I_b \ll I_{sc}$
R 1G~10G (Ω)
I_o D₁の飽和電流, $10^{-15} \sim 10^{-12}$ (A)
A FET入力型OPアンプ

KPD C0021JA

⑨ PINフォトダイオード高速光検出器

前記②、⑥、⑦の回路のようにゲインを持たないので、検知光量が多い場合に使用できます。負荷抵抗は50Ωで、計測器やオシロスコープの入力に直接接続します。数百M~GHzの光信号の検知に使用します。Cは光信号で生じる電荷を十分に供給できる大きさが必要です。

なお、右図で同軸ケーブルを計測器に接続する際、芯線が逆電圧値まで上昇しています。高い逆電圧を使用する時には計測器の入力部破損に注意が必要です。

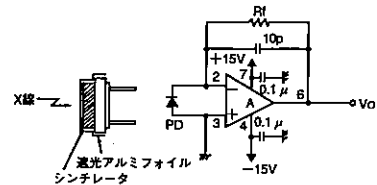


PD	①と同じ
R	10kΩ, 但し、光電流による電圧降下はVrより充分小さいこと
C	10000pFセラミック
PD	C, 同軸ケーブルの芯線などは極力短く配線

KPD C0022JA

⑩ CTスキャナ、X線モニタ・センサ

シンチレータでγ線やX線を可視光に変換し、フォトダイオードで検知します。シンチレータをアルミフォイルで覆うのは、フォトダイオードの遮光とアルミフォイルの裏面での光反射が目的です。

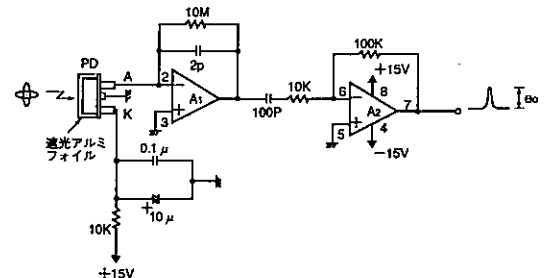


PD	S3590シリーズ
Rf	10M~100M(Ω)
A	OPA111などFET演算増幅器
シンチレータ	CdWO ₄ , BGOなどをPDへ接着

KPD C0023JA

⑪ γ線、X線検知器

A1はチャージアンプで、フォトダイオードがγ線やX線を検知したときに発生する電荷を電圧に変換します。スルーレートの大きい演算増幅器を選択します。フォトダイオードの面積を小さくすると検出効率は低下しますが、接合容量が小さくなるので出力パルスは大きくなります。

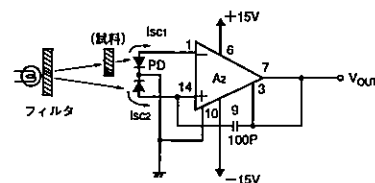


PD	S3590シリーズ
A1, A2	LF442
Eo	コバルト60の場合 数mV~数十mV

KPD C0024JA

⑫ 吸光度計

電流入力の対数比を出力モジュールに使用した吸光度計です。試料の吸光度に応じた電圧出力が得られます。はじめに2つのフォトダイオードの光電流が等しいとき、図の試料の吸光度Aは、 $A = -Vo$ で直読できます。必要に応じて図のように光源にフィルタを併用し、単色光での分光吸光度が測定可能です。

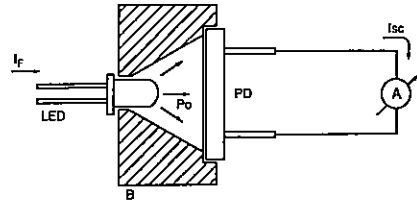


A	上図はLOG100(バーブラウン), 757(アナログデバイス)も使用可
PD	S2841, S1446, G1964など
Vo	$Vo = \log(I_{sc1}/I_{sc2})$ (V)
	試料のないとき $I_{sc1} = I_{sc2}$ とすれば、試料の吸光度Aは、 $A = -Vo$ (V) で表される

KPD C0025JA

⑬ LED全放射光量測定

試料LEDから放射される光量の測定に使用します。LEDの発光波長がわかっているならば、フォトダイオードの分光感度特性からLEDの全放射光量を知ることができます。

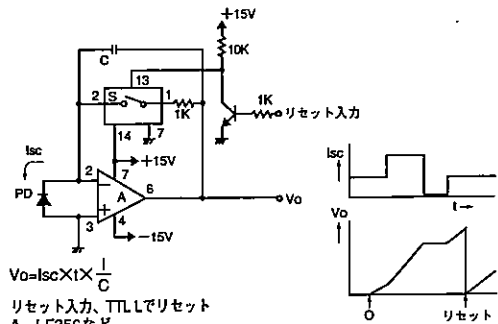


- A 電流計、1~10mA
- PD S2387-1010R
- B アルミニウムブロック、内側金メッキ
- Po 全放射光量Po=Isc/S(W)
- PDの受光感度は分光感度特性表参照
- 例：930nmではS=0.58(A/W)

KPD C0025JA

⑭ 光量積分回路

波高値が不規則な光パルス列の平均光パワー測定などに使用します。リセット直前の電圧Voと積分時間t及びCの値で平均Iscがわかります。Cは誘電吸収の小さいコンデンサが必要です。



$$V_o = I_{sc} \times t \times \frac{1}{C}$$

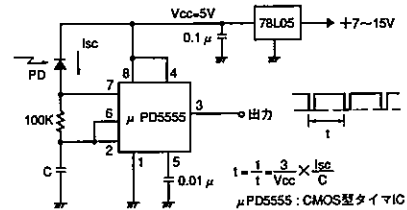
リセット入力、TTLでリセット

- A LF356など
- S CMOS 4066
- PD S1226, S1336, S2386など
- C ポリカーボネートコンデンサなど

KPD C0027JA

⑮ 光量一周波数変換回路

C-MOSのタイマICを利用して、光量に比例した周波数(周期と逆比例)のパルスを発生する回路です。タイマICの電源電圧が変動すると、周波数が変化するので安定化が必要です。バイポーラタイプのタイマICは入力電流が大きいため使用できません。



$$f = \frac{1}{t} = \frac{3}{V_{cc}} \times \frac{I_{sc}}{C}$$

μPDS555 : CMOS型タイマIC

PDがS1087, Cが0.001μFのとき100kでf=80Hz

KPD C0028JA

これらの回路例に使用するOPアンプは使用温度範囲、バイアス電流、位相補償、オフセット調整方法などが品種によって異なりますからメーカーのカatalogを参照してください。

オペアンプ、ビデオアンプ、バッファアンプ代表例

Analog Devices AD549, AD757, OP07
 Burr Brown OPA111, OPA128, OPA620
 National Semiconductor LF357, LF356, LH0032, LH0033
 LF442, LM733

Harris HA2625
 RCA CA3130
 NEC μPC1664

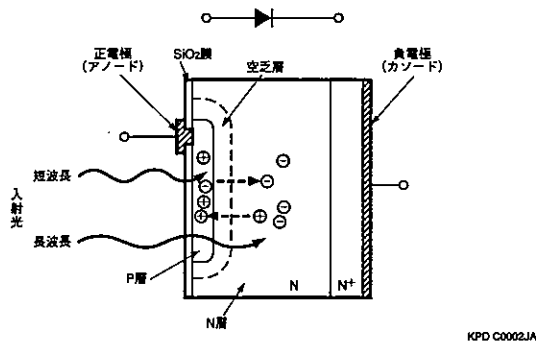
本カタログ掲載の回路例は、浜松ホトニクス製の光半導体素子の応用例を紹介するものであり、回路設計上の保証をするものではありません。また、工業所有権上の諸問題についても責任を負いません。

■動作原理

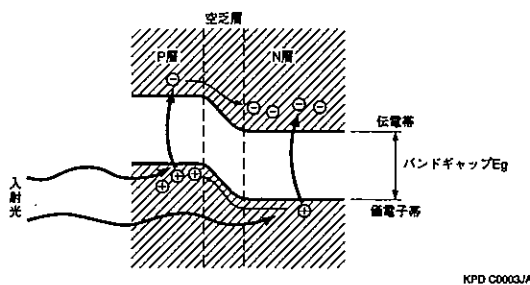
図1(a)は、フォトダイオードの断面構造の例です。受光面側のP型領域と基板側のN型領域はPN接合を形成し、光電変換部として働きます。P層はシリコンフォトダイオードの場合、通常はボロンの選択拡散で、1 μ m以下の厚さに形成され、P層とN層の接合部の中性領域を空乏層と言います。表面P層、基板N層及び底面のN⁺層の厚さや不純物濃度を変化、コントロールすることで、後述の分光感度や周波数特性を制御することができます。

フォトダイオードに光が照射され、その光エネルギーがバンドギャップエネルギーE_gより大きいと、価電子帯の電子は伝導帯へ励起され、もとの価電子帯に正孔を残します。(図1(b)参照)この電子-正孔対は、P層、空乏層、N層の至るところで生成し、空乏層中では電界のため電子はN層へ、正孔はP層へ加速されます。N層中で生じた電子-正孔対のうち、電子はP層から流れて来た電子と共にN層伝導帯に残り、正孔はN層中をPN接合まで拡散し、加速されてP層価電子帯に集まります。このように入射光量に比例して発生する電子-正孔対は、それぞれN層、P層中に蓄積され、P層は正に、N層は負に帯電します。P層とN層の間に外部回路を接続すれば、N層側からは電子が、P層側から正孔がそれぞれ反対側の電極へ向かって流れます。また、電流のもととなるこのような半導体中の電子あるいは正孔はキャリアと呼ばれます。

図1 (a) フォトダイオード断面



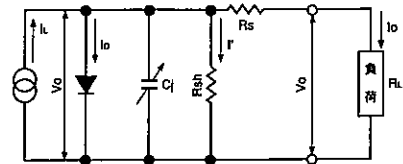
(b) フォトダイオードのPN接合の状態



■等価回路

フォトダイオードを等価回路で表すと図2の様になります。

図2 フォトダイオードの等価回路



- I_L : 入射光による発生電流 (光量に比例)
- I_D : ダイオード電流
- C_j : 接合容量
- R_{sh} : 並列抵抗
- R_s : 直列抵抗
- I_s : 並列抵抗電流
- V_D : ダイオード両端の電圧
- I_o : 出力電流
- V_o : 出力電圧

この等価回路から出力電流を求めると、次の様になります。

$$I_o = I_L - I_D - I' = I_L - I_s \exp\left(\frac{eV_D}{kT} - 1\right) - I'$$

- I_s : フォトダイオードの逆方向飽和電流
- e : 電子の電荷
- k : ボルツマン定数
- T : 素子の絶対温度

$$V_{oc} = \frac{kT}{e} \ln \left(\frac{I_L - I'}{I_s} + 1 \right)$$

開放電圧V_{oc}はI_o=0のときの出力電圧ですからとなり、I'が無視できるときI_sは周囲温度に対し指数的に増加するのでV_{oc}は周囲温度に逆比例し、I_Lの対数に比例することになります。しかし、微弱光になるとこの関係が崩れてきます。

$$I_{sc} = I_L - I_s \left(\exp \frac{e(I_{sc} \cdot R_s)}{kT} - 1 \right) - \frac{I_{sc} \cdot R_s}{R_{sh}}$$

短絡電流I_{sc}はR_L=0、V_o=0のときの出力電流ですからとなります。ここで第2項、第3項がI_{sc}の直線性の限界を決定する原因となります。ただしR_sは数 Ω 程度、R_{sh}は10⁷~10¹¹ Ω となり、第2項、第3項は広い範囲において無視できることが判ります。

■電流-電圧特性

フォトダイオードに暗中で電圧を加えると、図3の①の曲線の様に整流用ダイオードと同様の電流-電圧特性が得られます。しかし、光が照射されますと①の曲線は②へ移動し、更に光を強くすると③へとこの曲線は光強度に応じて平行移動します。②また③の場合に、フォトダイオードの両端子を短絡しておきますと、光の強度に比例した光電流I_{sc}、I_{sc}'がアノード側からカソード側へ向かって流れます。回路が開いている場合には、アノード側を正とした開放電圧V_{oc}、V_{oc}'が発生します。I_{sc}は入射光量に対する直線性が優れ、入射光量10⁻¹²~10⁻³(W)程度の範囲では、フォトダイオードの種類や使用回路などで異なりますが、8桁以上に及ぶ直線範囲を持っています。この直線性の下限はNEPにより決定され、上限は負荷抵抗・逆電圧から次式の様求められます。

$$P_{sat} = \frac{V_{bi} + V_R}{(R_s + R_L) \cdot S_\lambda} \dots\dots\dots(1)$$

- P_{sat} : 直線性上限入射エネルギー(W)
- V_{bi} : 接触電圧(V) (0.2~0.3V程度)
- V_R : 逆電圧(V)
- R_L : 負荷抵抗(Ω)
- S_λ : 波長 λ における受光感度(A/W)
- R_s : 素子直列抵抗(数 Ω 程度)

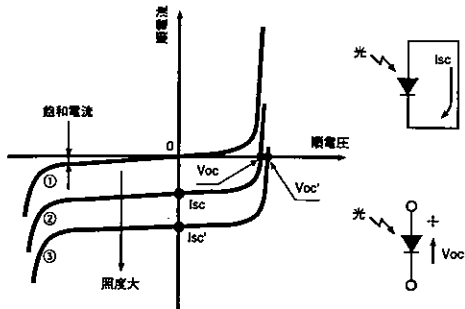
ただしレーザ光を微小スポットに集光した時は、実効的な抵抗が大きくなり、リニアリティは悪くなります。

V_{oc} は光量変化に対して対数的に変化しますが、温度変化が大きく光量測定には不適當です。 I_{sc} と V_{oc} を入射光量に対してグラフに表すと図4の様になります。

光電流を測定して光量測定をする方法は、図5(a)と(b)の様になります。(a)は $(I_L \times R_L)$ の電圧をゲインGの増幅器で電圧増幅する方法であり、逆電圧 V_R を併用すれば高速パルス光の受光に適していますが、回路としての直線性の範囲は限定されます。この様子は図6に示されます。図5(b)は、OPアンプを使用する方法です。オペアンプのオープンループゲインをAとすると、負帰還回路の特長のため、等価入力抵抗は $\frac{R_f}{A}$ となり数桁小さくなるため、理想的な I_{sc} 測定が可能になります。広範囲の I_{sc} を測定する場合は、 R_f を必要に応じて切替えます。

図3①の曲線の0点付近を拡大しますと、図7のように電圧が±10mV程度の範囲では暗電流が直線的に変化します。この直線の傾きにより並列抵抗 R_{sh} が表され、後述します熱雑音電流源になっています。本カタログでは-10mV印加時の暗電流 I_D を用いて R_{sh} を求めています。

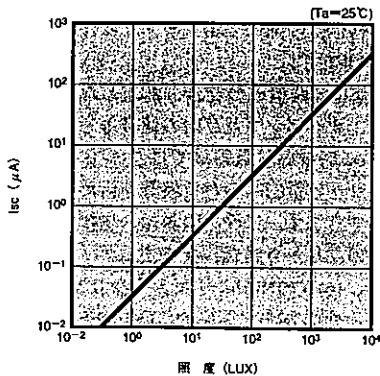
図3 電流—電圧特性



KPD C0005JA

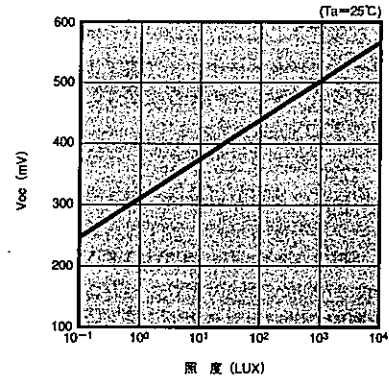
図4 光量と出力信号の関係(S2386-5K)

(a) I_{sc}



KPD B0001JA

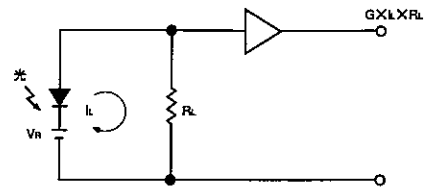
(b) V_{oc}



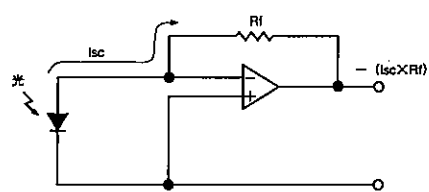
KPD B0002JA

図5 フォトダイオードの動作回路

(a) 逆電圧を併用した場合

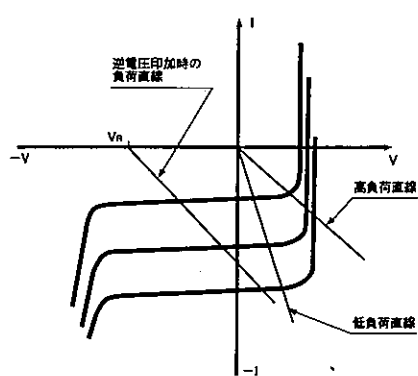


(b) OPアンプを接続した場合



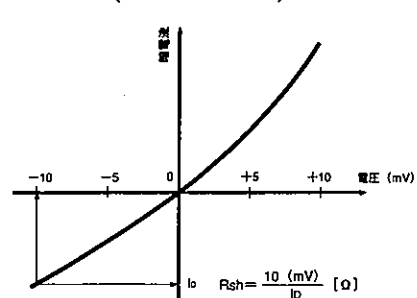
KPD C0006JA

図6 電流—電圧特性と負荷直線



KPD B0003JA

図7 電流—電圧特性(0点付近拡大図)



KPD B0004JA

■分光感度

動作原理の項でも触れましたが、吸収された光子のエネルギーが受光素子のバンドギャップエネルギー E_g より大きくないと光起電力効果は起こりません。この限界波長 λ は、 E_g を用いると次式で与えられます。

$$\lambda = \frac{1240}{E_g} \text{ [nm]} \dots\dots\dots(1)$$

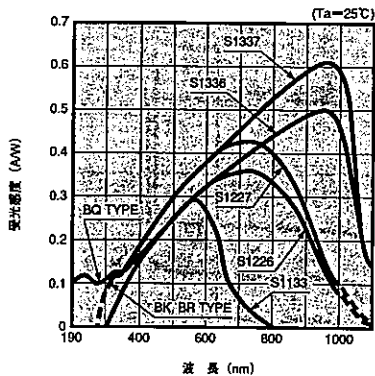
E_g は常温では、Siで1.12eV、GaAsPでは1.8eVですから限界波長は各々1100nm、700nmになります。一方、短波長側では入射光の表面拡散層内で吸収される割合が急速に増大するため、拡散層が薄くPN接合が表面に近いもの程感度が高くなります。(図1(a)参照)一般のフォトダイオードでは320nm、紫外域用として開発されたS1226、S1336などは190nmが短波長側の限界波長になります。

限界波長はフォトダイオード固有の物性で決まりますが、フォトダイオードの受光窓材の波長透過率でも分光感度特性は変わります。硼硅酸ガラスやコーティング樹脂は、約300nmより短波長側では光を吸収してしまうため、これらを窓材として使用すると短波長感度がなくなります。

300nmより短波長で使用する場合は、石英窓付のフォトダイオードを採用します。また、可視域だけの測光を行う場合は、可視域だけ透過する視感度補正フィルタを受光窓として用います。

図8に各種フォトダイオードの分光感度特性を示します。ここでBQタイプは石英窓のもの、BKタイプは硼硅酸ガラス窓のもの、またBRというのは樹脂コーティング窓であることを示します。

図8 フォトダイオードの分光感度特性例

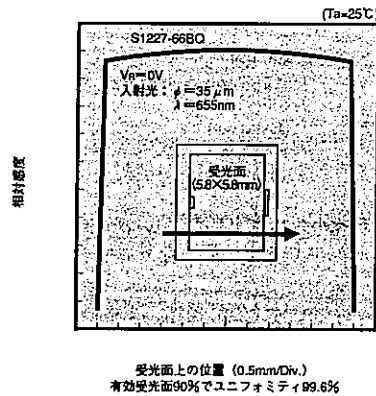


KPD 80005JA

■感度のユニフォミティ

受光面内での感度の均一性を示す値で、フォトダイオードでは非常に小さく、通常1%程度です。測定は数十 μm に集光された光(655nmLEDなど)を用いて行なわれます。また、アバランシェフォトダイオードの場合は、内部増幅されている関係上、ユニフォミティの値はフォトダイオードに比べて、約1桁劣ります。

図9 感度のユニフォミティ



KPD 80008JA

■雑音特性

フォトダイオードの微弱光に対する検出限界は一般の受光素子と同様に、その雑音特性で決まります。フォトダイオードの雑音電流 i_n は、並列抵抗 R_{sh} で近似できる抵抗体の熱雑音電流(またはジョンソン雑音電流) i_j と暗電流及び光電流に起因するショット雑音電流 i_{SD} 、 i_{SL} の和で表せます。

$$i_n = \sqrt{i_j^2 + i_{SD}^2 + i_{SL}^2} \text{ [A]} \dots\dots(2)$$

図5(b)のように逆電圧を印加しない場合は次のようになります。

$$i_j = \sqrt{\frac{4kTB}{R_{sh}}} \text{ [A]} \dots\dots\dots(3)$$

k : ボルツマン定数
T : 素子の絶対温度
B : 雑音帯域幅

また図5(a)のように逆電圧を印加する場合は、必ず暗電流が存在し、 i_{SD} は次のようになります。

$$i_{SD} = \sqrt{2qI_D B} \text{ [A]} \dots\dots\dots(4)$$

q : 電子の電荷
I_D : 暗電流
B : 雑音帯域幅

一方入射光のため光電流 I_L が存在し、 $I_L \gg 0.026/R_{sh}$ 、または $I_L \gg I_D$ の場合、上記(3)式又は(4)式の代わりに(5)式のショット雑音電流で表されます。

$$i_{SL} = \sqrt{2qI_L B} \text{ [A]} \dots\dots\dots(5)$$

これらの雑音の大きさは、測定帯域帯Bの平方根に比例するため単位はBで正規化した $[A/\sqrt{\text{Hz}}]$ で示します。

一般にフォトダイオードの最小光検出限界は、上記(3)または(4)式の雑音電流と等しい電流を発生させる入射光量、即ち雑音等価電力、NEPで表します。

$$\text{NEP} = \frac{i_n}{S} \text{ [W}/\sqrt{\text{Hz}}] \dots\dots\dots(6)$$

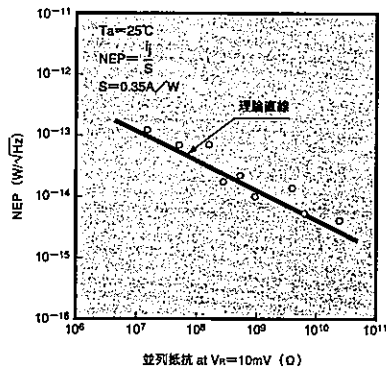
i_n : 雑音電流
S : 受光感度

図10にNEPと並列抵抗の関係を示します。ほぼ理論値に一致している事がわかります。

図5(b)に示すような回路構成の場合、前述したフォトダイオードの雑音に加え、オペアンプ及び R_f の雑音等を考慮する必要があります。さらに高域周波数領域ではフォトダイオード容量 C_t 、フィードバック容量 C_f 等の容量成分を含めた伝達関数を考慮する必要も出てきます。光検出限界は、増幅器の温度ドリフトや低周波領域のフリッカ雑音、後述するゲインピーキングなどの影響も含め、(6)式のNEPより大きくなります。

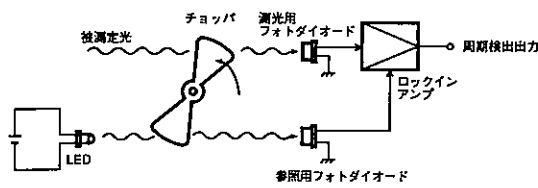
一方入射光を何らかの方法で周期的にON/OFFし、その周波数の信号だけを同期検出すれば、不要な帯域の雑音を除去できるため、検出限界をさらにNEPへ近づけることができます。(図11参照)

図10 NEPと並列抵抗の熱雑音との関係(S1226-5BK)



KPD B0007JA

図11 同期測定法



KPD C0007JA

アバランシェフォトダイオードでは、通常の増倍機構を持たないフォトダイオードに比べ、アバランシェ増倍過程の揺らぎに起因する過剰雑音分だけ雑音が増えます。アバランシェフォトダイオードの過剰雑音電流は、上記(4)式に増倍率MとM=1の時の光電流 I_L 及び過剰雑音係数Fを用いて、下のよう表せます。

$$i_n = \sqrt{2qILM^2FB}$$

ここではFはM=10~100程度では、次のように近似できます。

$$F=M^x$$

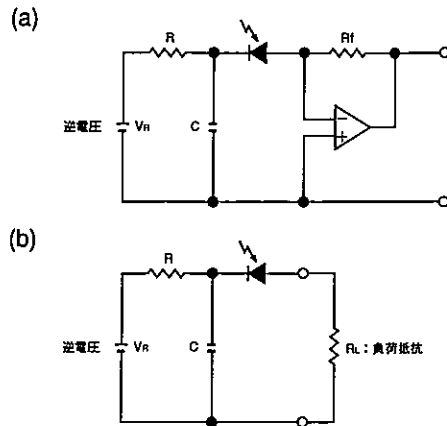
xは過剰雑音指数といい、0.3~0.5程度になります。アバランシェフォトダイオードは、光電流を増倍することにより、フォトダイオードと比べて小さな負荷抵抗を使用でき、高速化が達成できます。さらにS/N比も良くなるため、より微弱な信号も検出できます。

詳しくは、P.33の説明を参照ください。

■逆電圧

フォトダイオードは光起電力効果による電力を発生しますので、外部電源なしで動作させることができます。しかし周波数特性や直線性上限を高める目的で逆電圧を印加することがあります。フォトダイオードを流れる電流は電子-正孔対の数で決ってしまいますので、信号電流は逆電圧のあるなしにかかわらず一定で、光電変換の直線性が損なわれる事はありません。図12は逆電圧の接続例です。図13、図14は遮断周波数と直線性上限の逆電圧による変化を示します。この様に逆電圧を加えることは、周波数特性と直線性の改善に役立ちますが、一方では暗電流を増大させノイズの増加をもたらします。また過大な逆電圧は、フォトダイオードを破損しますから最大定格内で使用し、必ずカソードがアノードに対して正の電位になるよう極性を設定してください。

図12 逆電圧接続例

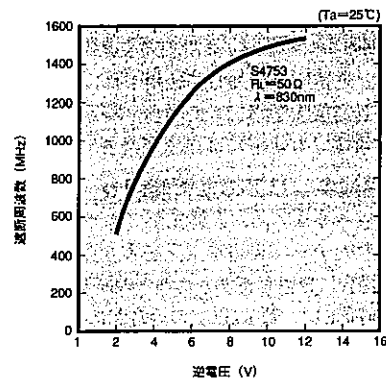


KPD C0008JA

PIN型フォトダイオードは高速応答が要求される光通信や光リモートコントロールなどに使用されるため、応答特性ばかりでなく、逆電圧を加えた際の暗電流や耐圧が特に優れています。本カタログに記載されている電圧値は推奨値です。各PINフォトダイオードは推奨値で最適動作するように設計されています。

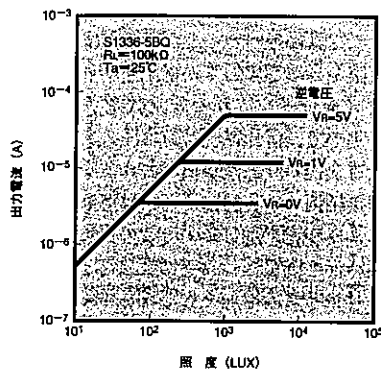
図15は、図12(b)の具体的な接続の例で負荷抵抗は50Ωになっています。セラミックコンデンサCは、逆電圧電源の内部抵抗を小さくするため、抵抗Rはフォトダイオードの保護用で、最大光電流による電圧降下は逆電圧より充分小さい範囲で選定します。フォトダイオードとコンデンサのリード線、同軸ケーブルの心線など高速パルスが通る経路は極力短く配線します。

図13 遮断周波数と逆電圧



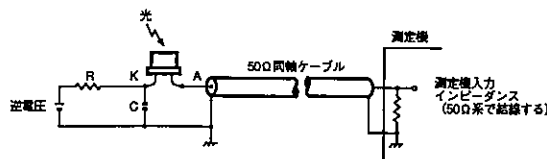
KPD B0008JA

図14 直線性・上限



KPD B0008JA

図15 同軸ケーブルへの接続



KPD C0005JA

■ 応答速度・周波数特性

フォトダイオードの応答速度とは、生成したキャリアをどれだけ速く外部回路へ電流として取り出し得るかを示す値で、通常上昇時間 t_r 、または遮断周波数 f_c で表します。 t_r は出力信号が10%から90%に達する時間で、主に次の要素で決まります。

1) 端子間容量 C_t と負荷抵抗 R_L の時定数 t_t

C_t はパッケージとフォトダイオード接合容量 C_j の和であり、 t_t は次式で表されます。

$$t_t = 2.2 \times C_t \times R_L$$

t_t を速めるためには、 C_t または R_L のいずれかを小さく設計する必要があります。 C_j は受光面積 A におおよそ比例し、空乏層幅 d の2乗根~3乗根に逆比例します。空乏層幅は逆電圧 V_R と基板材料の比抵抗 ρ との積に比例しますので次式が成立します。

$$C_j \propto A[(V_R + 0.5) \times \rho]^{-1/2} \sim -1/3$$

従って t_t を速めるためには、 A が小さく ρ の大きなフォトダイオードに、逆電圧を印加して使用すれば良いことになります。ただし逆電圧を印加した場合、暗電流が増大するため、低照度領域での使用には注意が必要です。

2) 空乏層外生成キャリアの拡散時間 t_d

空乏層外生成キャリアは、入射光がフォトダイオードのPN接合から外れたチップ周辺や空乏層より更に深い基板部に吸収された場合に発生します。これらのキャリアが拡散するのに要する時間 t_d は、数 μs 以上の場合があります。

3) キャリアの空乏層走行時間 t_b

空乏層中をキャリアが走行する速度 v_d はキャリアの移動度 μ と空乏層中の電界 E で表すと $v_d = \mu E$ となります。空乏層の厚さを d 、印可電圧を V_R とすると、平均的な電界は $E = V_R/d$ であるため t_b はおおよそ次式で近似されます。

$$t_b = d/v_d = d^2/(\mu V_R)$$

t_b を速めるためには、空乏層の厚さを薄くし、加える電圧を高める必要があります。

以上3要素がフォトダイオードの応答時間 t_r を決定し、次式で近似されます。

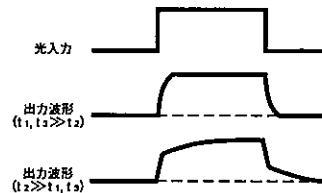
$$t_r = \sqrt{t_1^2 + t_2^2 + t_b^2}$$

PINフォトダイオードやアバランシェフォトダイオードは空乏層外生成キャリアの発生が少なく、 C_t が小さく、空乏層走行時間が短くなるよう設計されていますので高速光信号検出に適しています。

遮断周波数 f_c はレーザダイオードからの正弦波入力に対する出力が周波数100kHzの出力より3dB減衰する周波数で、上昇時間 t_r とは、 $t_r = 0.35/f_c$ の関係式でおおよそ近似されます。

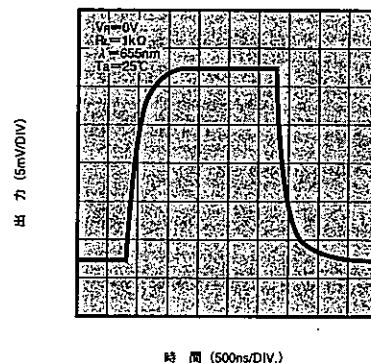
図16(a)(b)(c)にフォトダイオードの応答波形例と周波数特性例を示します。

図16 (a) フォトダイオードの応答波形の例



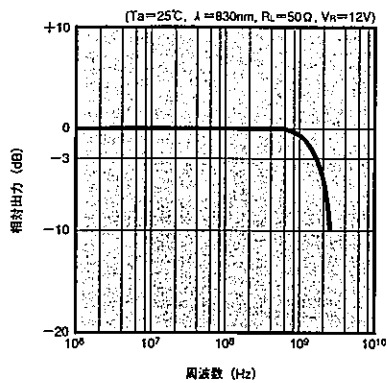
KPD C0010JA

(b) S2386-18Kの応答波形



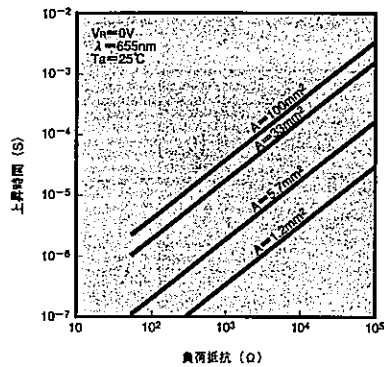
KPD B0010JA

(c)S4753の周波数特性



KPD B0011JA

図17 受光面をパラメータとした上昇時間 (S2387シリーズ)



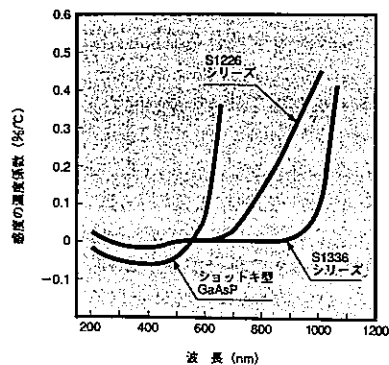
KPD B0012JA

温度特性

周囲温度の変化は、フォトダイオードの感度と暗電流の変化の原因になります。

感度の変化は、温度上昇に伴う光吸収係数の増大が主な原因で、長波長側では温度とともに感度が增大する正の温度係数を示し、特に最大感度波長より長い波長領域では著しくなります。浜松ホトニクス社のフォトダイオードは、短波長域にて吸収損失が小さくなるように作られているため、最大感度波長より短い波長域では温度係数は極めて小さくなります。図18は各種フォトダイオードの感度の温度係数の例です。

図18 温度係数と波長の関係



KPD B0013JA

暗電流の温度変化は、熱のために価電子帯の電子が伝導帯まで励起される確率に起因しますので、温度変化に対し一定の割合で変化します。図19に示す様に5℃～10℃の温度上昇で2倍になります。フォトダイオードの暗電流と暗電流の温度特性の関係は次式で与えられます。

$$I_{D2} = I_{D1} \times T_{CD}^{(T_2 - T_1)}$$

T_{CD} : フォトダイオードの暗電流温度係数

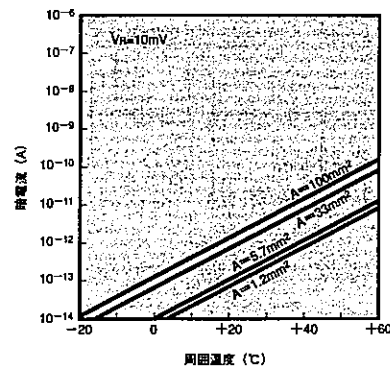
I_{D1} : T_1 (°C)の時の暗電流

I_{D2} : T_2 (°C)の時の暗電流

これは言い変えますと、並列抵抗 R_{sh} が同じ割合で減少することを意味していますから熱雑音あるいは、ショット雑音が共に増大します。

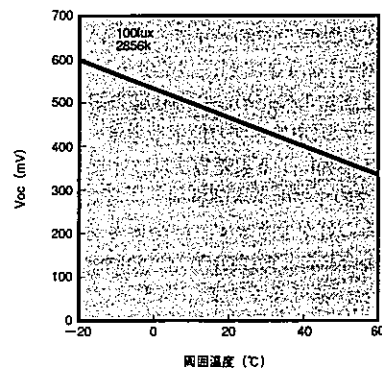
図20は、開放電圧 V_{oc} の温度特性の例で、温度変化に対して直線的になります。感度と比較した場合、温度変化が大きく、光量測定には不適当です。

図19 暗電流の温度特性(S2387シリーズ)



KPD B0014JA

図20 V_{oc} の温度特性(S2387シリーズ)



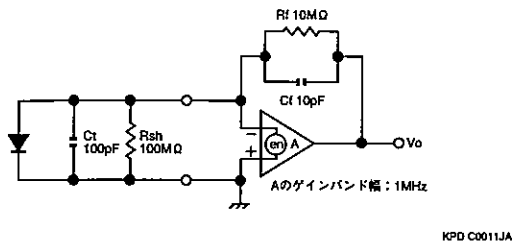
KPD B0015JA

■ OPアンプとの接続

1) 帰還回路

図21はOPアンプとフォトダイオードの基本的な接続例です。出力電圧 V_o は、直流から低い周波数の範囲では入力電流 I_{sc} の逆相になります。帰還抵抗 R_f は、 I_{sc} と必要な出力電圧 V_o とで決まりますが、フォトダイオードの並列抵抗 R_{sh} より大きくなりますと、OPアンプの入力雑音電圧と入力オフセット電圧が $(1+R_f/R_{sh})$ 倍されて出力電圧に重畳してきますし、後述しますOPアンプのバイアス電流誤差も大きくなりますから無制限に大きくすることはできません。帰還容量 C_f は入力容量が有る場合に回路が高い周波数域で不安定になるのを防ぐため、同時に $C_f \times R_f$ の時定数を持つローパスフィルタとしても作用しますから、用途に合わせた値に設定します。入射光が放電火花のような場合で光量を積算したい場合は、 R_f を取り去りOPアンプと C_f の積分回路を構成します。但し次の積分周期のため C_f を放電するスイッチが必要です。

図21 フォトダイオードの基本接続例



KPD C0011JA

2) バイアス電流

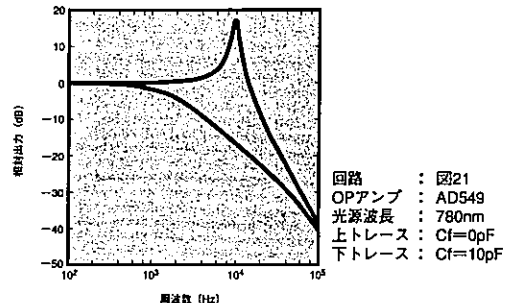
実際のOPアンプの入力抵抗は無量大ではなく、入力端子にはいくらかのバイアス電流が流入、または流出しますから、検出電流の大きさによってはこれが誤差になります。バイアス電流はFET入力型OPアンプでは0.1pA以下のものもありますがバイポーラ型は数百pA~数百nA程度です。しかし、FET型OPアンプのバイアス電流は、一般に10℃の温度上昇で2倍になりますが、バイポーラ型OPアンプでは逆に減少します。このため、高温仕様の回路を設計する場合、バイポーラ型OPアンプの使用も考慮する必要があります。バイアス電流による誤差電圧は、オフセット電圧と同様にOPアンプのオフセット調整端子に可変抵抗器を接続して微調整することができます。回路を構成する基板のリーク電流は、場合によってはOPアンプのバイアス電流より大きくなる場合がありますので、パターンと部品の配置、ガードやテフロン端子の採用などOPアンプの選択と同様に適切な配慮が必要です。

3) ゲインピーキング

フォトダイオードとOPアンプ回路の高域周波数特性は、 $R_f \times C_f$ の時定数で決まりますが、端子間容量すなわち入力容量が大きい場合には、ゲインピーキング現象が起こることがあります。図22はこの場合の周波数特性の例で、高い周波数領域で出力電圧が異常に大きくなり((a)上トレース参照)、パルス光に対する出力電圧波形に著しいリングングが発生します((b)参照)。またOPアンプ入力雑音に対しても同様のゲインが作用しますから異常に大きな雑音が観測されます((c)参照)。これらは高い周波数領域で、OPアンプ入力

容量と帰還容量の各リアクタンスが雑音に対して不安定な増幅器を形成するために生ずる現象で、光検出性能に悪影響を与えます。

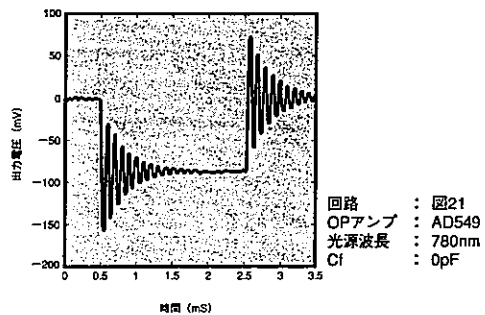
図22 ゲインピーキング
(a)周波数特性



回路 : 図21
OPアンプ : AD549
光源波長 : 780nm
上トレース : $C_f=0pF$
下トレース : $C_f=10pF$

KPD B0018JA

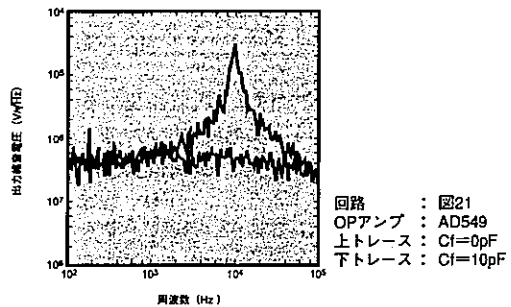
(b)光パルス応答



回路 : 図21
OPアンプ : AD549
光源波長 : 780nm
 C_f : 0pF

KPD B0020JA

(c)雑音出力の周波数特性



回路 : 図21
OPアンプ : AD549
上トレース : $C_f=0pF$
下トレース : $C_f=10pF$

KPD B0021JA

4) ゲインピーキングの対策

ゲインピーキングやリングング現象を起こさず広い周波数特性を達成するためには、フォトダイオード、OPアンプ、帰還素子の相互の関係を最適に選定する必要があります。フォトダイオードについては、応答速度の項で述べた端子間容量 C_t を小さくすることが、この場合でも効果的です。OPアンプは一般的に高速、広帯域特性のものほどゲインピーキングを起こし難くなりますが、内部の位相補償が充分でないと逆に発振する場合があります。帰還素子は抵抗だけでなく先に述べた様に容量を並列に接続してゲインピーキングを避けます。以上の対策方法について図21の回路を例にとりて見ると次のように説明できます。図23において低い周波数領域①では、OPアンプ

プの回路ゲインはRshとRfの抵抗比だけで決まります。

$\frac{R_{sh} + R_f}{2\pi R_{sh} R_f (C_f + C_t)}$ の周波数f1からは周波数の増大とともにゲインが増加する②の区間になります。

次に $\frac{1}{2\pi C_f R_f}$ の周波数f2から高い周波数ではOPアンプの回路ゲインはCtとCfの比で決まる③の平坦な区間になります。そして、通常6dB/Oct.で減衰するOPアンプのオープンループゲインの曲線に接する周波数f3から④の領域につながります。ここでf1、f2は図21の条件ではそれぞれ160、1.6K(Hz)に相当します。今Cfを1pFとしますとf2はf2'に移動し、回路ゲインはさらに大きくなります。この時注目すべきことは③の回路ゲイン上昇の設定がOPアンプのオープンループゲイン曲線を上回っているため③の領域が存在しないということです。この状態のOPアンプ回路のパルス光応答特性はリングング、また周波数特性ではゲインピーキングを生じ、不安定になります(図22参照)。

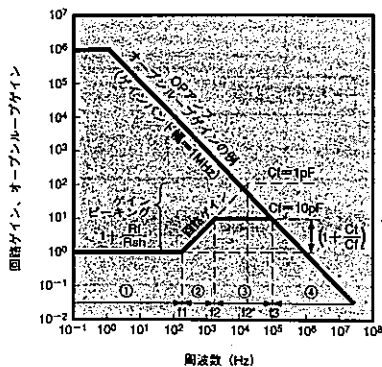
以上のポイントをまとめてみますと次のようになります。

- (イ) 図23の③の領域が存在する様なf2の設定を考慮してRfとCfを決定します。
- (ロ) f2がOPアンプのオープンループゲイン直線の右側に位置する場合、利得が1になる周波数(ゲインバンド幅)が高いOPアンプに変え、③の領域を設定します。
以上でリングング・ゲインピーキングは減少あるいは発生しなくなります。しかし、高い周波数領域③では、回路ゲインが存在しており、OPアンプの入力雑音や帰還抵抗の雑音が減衰を受けず、場合によっては増幅されて出力に現れます。これを避けるためには次の様な方法を取ります。

- (ハ) Ctの値が小さいフォトダイオードと取換える。図の例では $(1 + \frac{C_t}{C_f})$ を1に近づけるようにします。

上記手順で通常のリングングやゲインピーキングによるS/N劣化は解決できます。なお、上記対策とは関係なく、OPアンプの出力に数百pF～数nF以上の負荷容量、例えば数m以上の同軸ケーブルやコンデンサを接続しますと、OPアンプによっては発振することがありますので容量負荷はなるべく小さくする必要があります。

図23 ゲインピーキングの図式的求め方



KPD B0016JA

信頼性

フォトダイオードは定格内で使用すれば、ほとんど特性の劣化は見られません。劣化原因の多くはパッケージ、リード線、フィルタなどに起因するものです。特に、高温、高湿下では、パッケージのリークによる暗電流の増加が見られます。そのためセラミックパッケージの温度・湿度範囲は多少狭められています。これに対してメタルパッケージは周囲の湿度の影響を受けないため、耐候性に優れています。また、フィルタ付フォトダイオードはフィルタの耐候性に大きく左右されます。使用・

保管にあたっては、充分ご配慮ください。

当社の信頼性試験は、原則として日本工業規格(JIS)を標準としています。ただし、JISに規定されていない試験については、日本電子機械工業会規格(EIAJ)に準拠しています。また、製品の用途・目的によっては、アメリカ軍規格(MIL)あるいは国際電気標準会議規格(IEC)に準拠した試験を適用しています。当社の主要な信頼性試験例を表3に示します。

表3 主要な信頼性試験例

群	試験項目	試験条件	評価事項
熱的環境	はんだ耐熱性	260±5℃, 10±1秒, 1~1.5mm	外観および電気的特性
	温度サイクル	Tstg(Min.)~Tstg(Max.), 空気 各30分, 5サイクル	
機械的環境	はんだ付け性	230±5℃, 5±1秒, 1~1.5mm	はんだ付着性
	衝撃	981m/s ² (100G), 6ms X Y Z 両方向, 各3回	外観および電気的特性
	自然落下	高さ75cm, 楓板上, 3回	
	振動	100~2000Hz, 196m/s ² (20G) X Y Z 方向, 4分, 各4回(計48分)	
	端子強度	引張り 5±1秒, 曲げ 90° 2回	端子の損傷等
耐久性	高温逆バイアス	Topr(Max.), Vr (Max.) 1000時間	外観および電気的特性
	高温保存	Tstg(Max.) 1000時間	
	低温保存	Tstg(Min.) 1000時間	
	耐湿性	60℃, 90% 1000時間	
その他	耐溶剤性	イソプロピルアルコール 20~25℃, 30±5秒	表示の判読 塗料の剥離
	静電破壊	0Ω, 200pF, ±150V, 1回	外観および電気的特性

1) 参照規格

試験方法: JIS-C7021 個別半導体デバイスの環境試験方法及び耐久性試験方法
 EIAJ-ED-4701 個別半導体デバイスの環境及び耐久試験方法
 MIL-STD-750C Test methods for semiconductor devices
 IEC-Pub.749 Semiconductor devices Mechanical and climatic methods

2) 故障判定基準

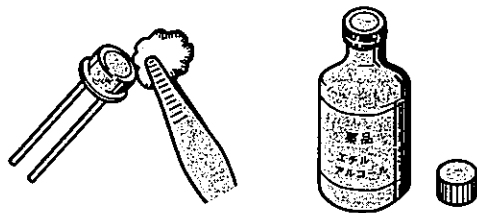
信頼性試験データ収集のための試験条件と故障判定基準表(工業技術院)

使用上の注意

●受光窓

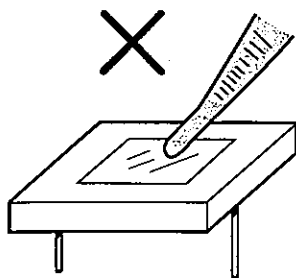
受光窓には直接素手で触れないで下さい。特に紫外線検出に用いる場合は窓の汚れが透過率を低下させる原因になります。(手の油成分が250nmでの感度を30%低下させた例もあります。)

また、汚れはエチルアルコールを用いて軽く拭き取って下さい。エチルアルコール以外の有機溶材の使用は、フォトダイオードの樹脂表面、フィルタなどの劣化の原因となりますので避けて下さい。また、受光窓は、鋭利なもの(ピンセットの先)や硬い平面との摩擦を避けてください。微小スポット光の検出では受光窓の傷が問題となることがあります。特に樹脂封止、樹脂モールドは、扱いにご注意下さい。



汚れはエチルアルコールを用い軽く拭き取る

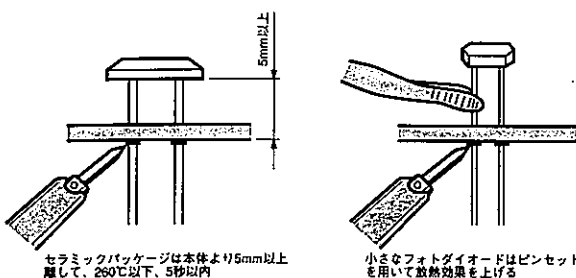
KRDC0027JA



KPD C0012JA

●はんだ付け

フォトダイオードは、はんだ付けにより損傷する場合がありますので、はんだ付け温度・時間に充分な注意が必要です。目安として金属パッケージは260℃以下、10秒以内、セラミックパッケージは本体より5mm以上離れた所を260℃以下、5秒以内ではんだ付けしてください。



セラミックパッケージは本体より5mm以上離して、260℃以下、5秒以内

小さなフォトダイオードはピンセットを用いて加熱効果を上げる

KPD C0013JA

●推奨はんだ付け条件

パッケージ	はんだ付け温度 (℃以下)	はんだ付け時間 (秒以内)	備考
メタル	260	10	
セラミック	260	5	5mm以上離す
樹脂モールド	230	3	1mm以上離す

●リード線の加工

リード線の加工に際して、引張りは0.5kg以下・5秒以内、曲げは90°で2回以内、ねじりは本体から6mm以上離れた所を2回転以内で抑えて下さい。

樹脂モールドの場合、根元近くのリードをラジオペンチ等で押えて加工するようにして下さい。

保証

浜松ホトニクス製の製品は、原則として納入後1年間を保証期間といたします。保証の範囲は製品の代替納入を限度といたします。ただし、保証期間内であっても、天災および使用上のミスによる損傷については保証いたしかねます。

また、本カタログに掲載されている製品は、一般電子機器に使用される目的で設計された製品です。極めて高い信頼性を必要とする用途の機器に使用される場合は、機器の信頼性及び安全性維持のために適切な処置を施した上でご使用ください。

参考

●物理定数

定数	シンボル	定数値	単位
電子の電荷	eまたはq	1.602×10^{-19}	c
真空中の光速	c	2.998×10^8	m/s
プランク定数	h	6.626×10^{-34}	Js
ボルツマン定数	k	1.381×10^{-23}	J/K
室温の熱エネルギー	KT(T=300K)	0.0259	eV
1eVのエネルギー	eV	1.602×10^{-19}	J
1eVに対応する真空中の波長	—	1240	nm
真空の誘電率	ϵ_0	8.854×10^{-12}	F/m
シリコンの比誘電率	ϵ_{si}	約12	—
シリコン酸化膜の比誘電率	ϵ_{ox}	約4	—
シリコンのエネルギーギャップ	Eg	約1.12(T=25℃)	eV

●照度単位換算表

ルクス	フット	フットキャンドル	ワット/平方センチ*
lx (lm/m ²)	ph (lm/cm ²)	fc (lm/ft ²)	W/cm ²
1	1.000×10^{-2}	9.290×10^{-2}	5.0×10^{-6}
1.000×10^4	1	9.290×10^2	5.0×10^{-2}
1.076×10^5	1.076×10^{-3}	1	5.4×10^{-5}
2.0×10^5	2.0×10^1	1.9×10^4	1

※ CIE標準光源Aによる全放射照度(実測値)

セクションガイド

感度波長範囲 (nm)	特長	主な用途	型名	掲載ページ
200 400 600 800 1000 1200				

シリコンフォトダイオード

190 1100	紫外～赤外域 精密測光用	分光光度計、分析機器、 環境測定、医用機器,etc.	S1336,S1337 シリーズ	14, 15
190 1000	紫外～可視域 赤外感度抑制		S1226,S1227 シリーズ	
320 1100	可視～赤外域 精密測光用	複写機、パワーメータ、 ラボ用機器、金融機器,etc.	S2386,S2387 シリーズ	18, 19
320 730	可視域 一般測光用	カメラ用測光、露出計、照度計、 オートストロボ、調光、複写機,etc.	S1087,S1133, S2833,etc.	20, 21
320 1100	可視～赤外域 一般測光用	光電スイッチ、テーブリーダ、 カードリーダ、煙検知,etc.	S1087-01, S1133-01,etc.	

PINシリコンフォトダイオード

320 1000	高速応答	光通信、光データリンク、 空間光伝送、バーコードリーダ、 OA周辺機器、高速光計測,etc.	S4751,S4752, S4753,etc.	22～29
320 1060			S2216-01, S3071, S3072,etc.	
320 1100			S1190,S1190-01, S1190-03,etc.	
800 1100	可視光カット	光リモコン,etc.	S2506-04	

シリコンアバランシェフォトダイオード

400 1000	高速応答 高ゲイン	光通信、高速光計測、微弱光計測,etc.	S2381,S2382, S2383,etc.	30, 31
-----------	--------------	----------------------	----------------------------	--------

GaAsPフォトダイオード (拡散型)

300 680	可視域用	カメラ用測光、露出計、照度計、 オートストロボ、フレームアイ、 ラボ機器、比色計,etc.	G1115,G1116, G1117,etc.	32, 33
400 760	赤感度延長型		G1735,G1736, G1737,etc.	

GaAsPフォトダイオード (ショットキ型)

190 680	紫外～ 可視域用	分光光度計、分析機器、 紫外線検出器,etc.	G1126-02, G1127-02,etc.	34, 35
190 760	赤感度延長型		G1746,G1747	

GaPフォトダイオード (ショットキ型)

190 550	紫外～緑色光 専用	紫外線検出器,etc.	G1961,G1962, G1963	36, 37
----------	--------------	-------------	-----------------------	--------

カタログ用語の説明

分光感度

入射光量と光電流の関係（光電感度）は入射光の波長によって異なります。この波長と光電感度との関係を分光感度特性といい、受光感度、量子効率などで表わされます。

受光感度

入射光量をワット(W)、光電流をアンペア(A)で表わしたときの両者の比率をいいます。これは絶対感度(A/W)で示される場合とピーク波長(最高感度波長)での感度を100として正規化した相対感度(%)で示される場合があります。本カタログでは受光感度を絶対感度で表わし、相対感度5%以上の波長の範囲を感度波長範囲と規定しています。

量子効率

量子効率(QE)は、光電流として取り出される電子あるいは正孔の数を入射光子数で割った値で、通常、パーセント(%)で表されます。量子効率と受光感度は、ある波長 λ において下に示す関係にあります。

$$QE = \frac{S \times 1240}{\lambda} \times 100\%$$

ここで、Sはある波長における受光感度(A/W)、 λ は波長(nm:ナノメートル)です。

短絡電流(Isc)・開放端電圧(Voc)

短絡電流は負荷抵抗0のときの出力電流を示し、おおむね素子の面積に比例します。分光感度に対して白色光感度と呼ばれ、光源に分布温度(色温度)2856Kの標準タングステン電球を使用します。光量は100lx(GaPフォトダイオードは1000lx)です。また開放端電圧は負荷抵抗無限大のときの光起電圧を示し素子の面積に依らずほぼ一定です。

赤外感度比

2856K,100lxの光源を使用した時の出力電流(Iw)と同じ光源をR-70赤外フィルタを通した時の出力電流(IR)の比で、通常パーセント(%)で表わされます。

$$\text{赤外感度比} = \frac{I_R}{I_w} \times 100(\%)$$

暗電流(Ib)、並列抵抗(Rsh)

フォトダイオードに暗中で逆電圧をかけると僅かですが電流が流れます。これを暗電流といます。逆電圧を印加して使う用途(例えば、PINフォトダイオード)では雑音の原因となります。これに対し、逆電圧を印加しない用途では、並列抵抗から雑音特性などを算出します。並列抵抗は0V付近での電圧—電流比で、本カタログでは並列抵抗を以下の式で規定しています。Ibは逆電圧VR=10mVの時の暗電流です。

$$Rsh = \frac{10mV}{I_D}$$

端子間容量(Ct)

フォトダイオードはP-N接合により一つのコンデンサが形成されていると考えることができます。この容量を接合容量といい応答速度を決める大切な値です。本カタログでは、接合容量にパッケージの浮遊容量を含めて、フォトダイオードの端子間容量を規定しています。

上昇時間(tr)

ステップ関数の光入力に対する立上りの時間(tr)で規定し、フォトダイオードの出力が定常値の10%から90%まで変化する時間で表わします。この値は、入射光の波長、負荷抵抗により異なります。本カタログでは、GaAsP・LED(655nm)またはGaP・LED(560nm)を用い負荷抵抗1k Ω で測定しています。

遮断周波数(fc)

高速応答のアバランシェフォトダイオード、PINフォトダイオードの応答速度は、遮断周波数(fc)で表します。fcはレーザーダイオード(830nm)からの正弦波入力に対する出力が周波数100kHzの出力より3dB減衰する周波数として、本カタログでは規定しています。負荷抵抗は50 Ω です。fcで表現された場合、上昇時間(tr)はおおよそ $tr = 0.35/fc$ で与えられます。

NEP(Noise Equivalent Power: 雑音等価電力)

雑音量に等しい入射光量、つまり信号対雑音比(S/N)が1となる入射光量のことです。本カタログでは最大感度波長での値のみを記載しています。また、雑音量は周波数帯域幅の平方根に比例するためバンド幅を1kHzで規格化し単位は $W/Hz^{1/2}$ です。

$$NEP = \frac{\text{ノイズ電流}(A/Hz^{1/2})}{\text{受光感度 at } \lambda_p (A/W)}$$

最大逆電圧(Vr max)

フォトダイオードに逆電圧を加えていくとある電圧でブレイクダウンを起こし、素子の特性が著しく劣化します。そのためこの電圧より低めのところに絶対最大定格(瞬時でもこの値を越えてはならない。)を定めています。

フォトダイオードの構造、特性と使い方

フォトダイオードとは……

フォトダイオードは、半導体のPN接合部に光を照射すると電流や電圧を発生する受光素子です。広い意味では太陽電池も含まれますが、通常は光の強弱の変化を捕えるセンサを意味します。フォトダイオードには、機能・構造で区別すると次のような物があります。

● フォトダイオードの種類

- 1) PNN⁺フォトダイオード
- 2) PINフォトダイオード
- 3) ショットキ型フォトダイオード
- 4) アバランシェフォトダイオード

これらはいずれも次のような特長を備え、光の有無、強弱、位置、色などの検知に広く使用されています。

● フォトダイオードの特長

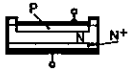
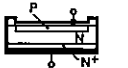
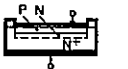
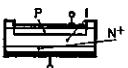
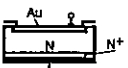
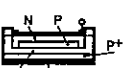
- 1) 入射光に対する直線性が優れている
- 2) 雑音が小さい
- 3) 感度波長範囲が広い
- 4) 機械的強度が高い
- 5) 小型軽量
- 6) 長寿命

この項では、フォトダイオードの構造にかかわる特性、動作、使い方などについて解説します。

■ 構造

浜松ホトニクス社のフォトダイオードは製法、構造によって、シリコンフォトダイオードで5種類、GaAsP及びGaPフォトダイオードでそれぞれ2種類に分けることができます。

表1 フォトダイオードの種類

種類	構造	特長	製品名
拡散型		・低暗電流	シリコンフォトダイオード (S2386, S2387シリーズ) (S1087, S1133シリーズetc.) GaAsP, GaPフォトダイオード
低容量 拡散型		・低暗電流 ・低容量 ・高紫外感度 ・高赤外感度	シリコンフォトダイオード (S1336シリーズ) (S1337シリーズ)
PNN ⁺ 型		・低暗電流 ・高紫外感度 ・赤外感度抑制	シリコンフォトダイオード (S1226シリーズ) (S1227シリーズ)
PIN型		・高速応答	PINシリコン フォトダイオード
ショットキ型		・高紫外感度	GaAsP, GaP フォトダイオード
アバランシェ型 (リーチスルー型)		・内部増倍機構 ・高速応答	シリコン アバランシェフォトダイオード

KPFD C0001JA

● 拡散型

PN接合の端面を絶縁膜で覆ったもので、低暗電流が特長です。

● 低容量拡散型

拡散型の容量を小さくしたタイプです。N型半導体に不純物濃度の低い高抵抗型を使用することで接合容量を小さくしています。そのため、上昇時間が1/10以下になり、応答速度も改善されます。またP層が特に薄く作られているため紫外域にも高い感度を得ています。

● PNN⁺型

低抵抗率のN⁺半導体層を厚くして、N-N⁺の境界を表面近くまで持ってきたものです。このため赤外域の感度が一部カットされ、短波長光の測定に有利になります。

● PIN型

低容量拡散型の改良型と考えることができ、P層とN⁺層の間に特に高抵抗型のI層を作り応答速度を速めたものです。このタイプは逆電圧を印加して高速動作をさせますので、耐圧、リーク電流などの特性を改善してあります。

● ショットキ型

N型半導体の表面に金(Au)の薄い膜を蒸着して、ショットキ効果による接合を形成させたものです。表面から接合部までの距離が短く紫外域まで感度が得られます。

● アバランシェ型

PN接合に逆電圧を加え空乏層内に高電界を形成しておきますと、入射光によって発生した電子はこの電界で加速され、原子と衝突して二次電子を生成するという過程を次々と繰り返します。これをアバランシェ現象と呼び、信号が増幅されますので、微弱な信号の検知に最適です。

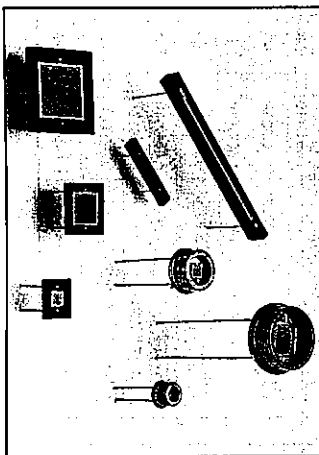
シリコンフォトダイオード (紫外～赤外精密測光用)

型名	外形寸法 パッケージ 材料*	受光面 サイズ (mm)	有効受光面積 (mm ²)	感度 長さ (mm)	最大 感度 長さ (mm)	受光感度 S (AWV)			暗電流 I _d (μA)	
						200nm Typ.	He-Ne 633nm LED 650nm Typ.	GaAs LED 650nm Typ.	Min.	Typ.
S1336-18BQ	TO-18	1.1×1.1	1.2	190~1100	0.08	0.1	—	—	1	1.2
S1336-18BK	TO-18	1.1×1.1	1.2	190~1100	—	—	—	—	—	—
S1336-5BQ	TO-5	2.4×2.4	5.7	190~1100	0.08	0.1	—	—	4	5
S1336-5BK	TO-5	2.4×2.4	5.7	190~1100	—	—	—	—	—	—
S1336-44BQ	TO-4	3.5×3.5	13	190~1100	0.08	0.1	0.33	0.5	9	10
S1336-44BK	TO-4	3.5×3.5	13	190~1100	—	—	—	—	—	—
S1336-6BQ	TO-6	5.8×5.8	33	190~1100	0.08	0.1	—	—	22	28
S1336-6BK	TO-6	5.8×5.8	33	190~1100	—	—	—	—	—	—

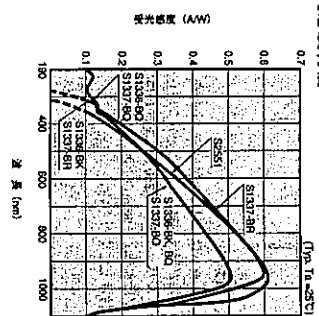
S1337シリーズ (セラミックパッケージ)

型名	外形寸法 パッケージ 材料*	受光面 サイズ (mm)	有効受光面積 (mm ²)	感度 長さ (mm)	最大 感度 長さ (mm)	受光感度 S (AWV)			暗電流 I _d (μA)		
						200nm Typ.	He-Ne 633nm LED 650nm Typ.	GaAs LED 650nm Typ.	Min.	Typ.	
S1337-16BQ	TO-18	2.7×1.5	1.1×5.9	5.9	0.5	0.08	0.1	0.33	0.5	4	5
S1337-16BK	TO-18	2.7×1.5	1.1×5.9	5.9	0.62	—	—	0.4	0.6	4.4	5.5
S1337-33BQ	TO-18	6×7.6	2.4×2.4	5.7	0.5	0.08	0.1	0.33	0.5	4	5
S1337-33BK	TO-18	6×7.6	2.4×2.4	5.7	0.62	—	—	0.4	0.6	4.4	5.5
S1337-66BQ	TO-18	8.9×10.1	5.8×5.8	33	0.5	0.08	0.1	0.33	0.5	20	25
S1337-66BK	TO-18	8.9×10.1	5.8×5.8	33	0.62	—	—	0.4	0.6	22	28
S1337-101BQ	TO-18	15×16.5	10×10	100	0.5	0.08	0.1	0.33	0.5	65	80
S1337-101BK	TO-18	15×16.5	10×10	100	0.62	—	—	0.4	0.6	70	85
S2551	TO-18	3.0×4.0	1.2×2.8	35	0.5	—	—	0.4	0.6	24	30

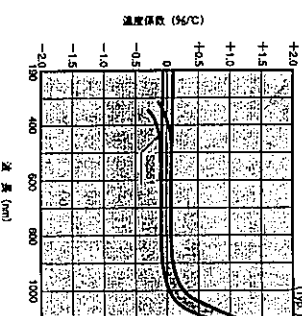
* 材料は K (遷移遷移ガラス型)、O (石英ガラス型)、R (樹脂コーティング型)



● 分光感度特性

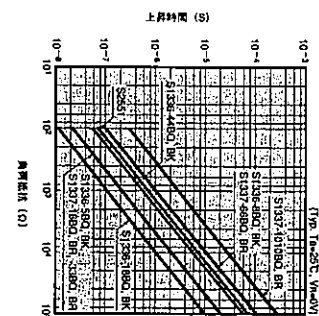


● 感度の温度特性

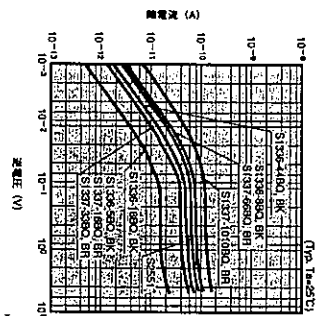


暗電流 I _d Max. (μA)	照度係数の 温度係数 Typ.	V _r =0V R _i =1kΩ Typ.	上昇時間 τ _r		安定時間 τ _s		NEP Typ.	動作温度 Top	保存温度 T _{stg}	型名
			V _r =0V f=10kHz Typ.	Min.	Typ.	Min.				
20	0.1	20	0.5	2	5.8×10 ⁻¹⁵	-20~+60	-55~+80	S1336-18BQ		
25	0.2	65	0.4	1	8.1×10 ⁻¹⁵	-20~+60	-55~+125	S1336-18BK		
50	0.5	160	0.2	0.6	1.1×10 ⁻¹⁴	-20~+60	-55~+125	S1336-5BQ		
100	1	370	0.1	0.4	1.3×10 ⁻¹⁴	-20~+60	-55~+125	S1336-5BK		
200	3	1100	0.05	0.2	1.8×10 ⁻¹⁴	-20~+60	-55~+125	S1336-44BQ		
1nA	1.15	0.6	250	0.01	0.5	3.9×10 ⁻¹⁴	-20~+60	-55~+125	S1336-44BK	
25	0.2	65	0.4	1	8.1×10 ⁻¹⁵	-20~+60	-55~+125	S1337-16BQ		
25	0.2	65	0.4	1	8.1×10 ⁻¹⁵	-20~+60	-55~+125	S1337-16BK		
100	1.15	370	0.1	0.4	1.3×10 ⁻¹⁴	-20~+60	-55~+125	S1337-33BQ		
200	3	1100	0.05	0.2	1.8×10 ⁻¹⁴	-20~+60	-55~+125	S1337-33BK		
1nA	1.15	0.6	250	0.01	0.5	3.9×10 ⁻¹⁴	-20~+60	-55~+125	S1337-66BQ	
1nA	1.15	0.6	250	0.01	0.5	3.9×10 ⁻¹⁴	-20~+60	-55~+125	S1337-66BK	
1nA	1.15	0.6	250	0.01	0.5	3.9×10 ⁻¹⁴	-20~+60	-55~+125	S1337-101BQ	
1nA	1.15	0.6	250	0.01	0.5	3.9×10 ⁻¹⁴	-20~+60	-55~+125	S1337-101BK	

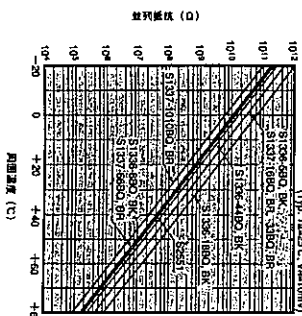
● 応答特性—負荷接続



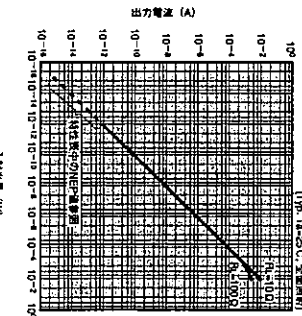
● 暗電流—逆電圧



● 並列接続—周囲温度



● 直線性



シリコンフォトダイオード(紫外～可視精密測光用、赤外感度抑制)

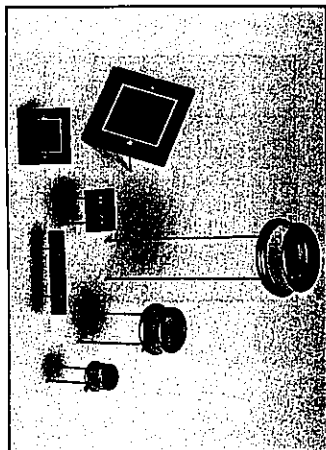
型名	外形寸法 材料	パッケージ サイズ	受光面 サイズ	有効受 光面積	感度 λ	最大 入射光 強度	受光感度 S (A/W)		暗電流 I _d (pA)		型名
							200nm Typ.	HeNe 633nm Typ.	LED 930nm Typ.	Min.	

S1226-18BQ	①Q	TO-18	1.1×1.1	1.2	190~1000	0.08	0.1	0.08	0.1	0.5	0.65
S1226-18BK	①K				320~1000	—	—	—	—	—	—
S1226-58Q	③Q		2.4×2.4	5.7	190~1000	0.08	0.1	—	—	2.2	2.8
S1226-58K	③K				320~1000	—	—	—	—	—	—
S1226-44BQ	②Q	TO-5	3.6×3.6	13	190~1000	0.08	0.1	0.33	0.17	4.4	5.5
S1226-44BK	②K				320~1000	—	—	—	—	—	—
S1226-8BQ	②Q	TO-8	5.8×5.8	33	190~1000	0.08	0.1	—	—	12	15
S1226-8BK	②K				320~1000	—	—	—	—	—	—

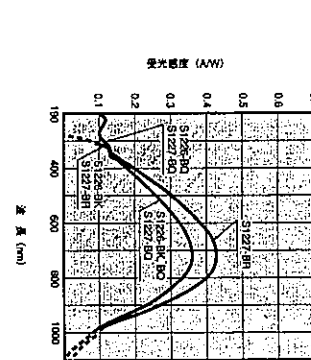
S1227シリズ (セラミックパッケージ)

S1227-16BQ	②Q	2.7×1.5	1.1×5.9	5.9	190~1000	0.35	0.08	0.1	0.33	0.17	2	2.5
S1227-16BR	②R				320~1000	0.42	—	—	0.39	0.20	2.2	2.8
S1227-33BQ	②Q	6×7.6	2.4×2.4	5.7	190~1000	0.35	0.08	0.1	0.33	0.17	2	2.5
S1227-33BR	②R				320~1000	0.42	—	—	0.39	0.20	2.2	2.8
S1227-66BQ	②Q	8.9×10.1	5.8×5.8	33	190~1000	0.35	0.08	0.1	0.33	0.17	11	14
S1227-66BR	②R				320~1000	0.42	—	—	0.39	0.20	13	16
S1227-101BQ	②Q	15×16.5	10×10	100	190~1000	0.35	0.08	0.1	0.33	0.17	32	40
S1227-101BR	②R				320~1000	0.42	—	—	0.39	0.20	36	45

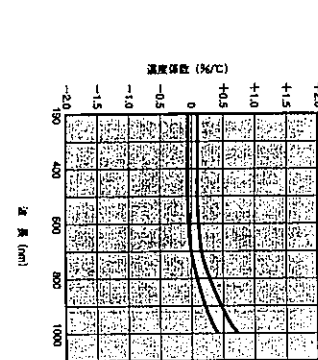
* 素材は、K (黒結核ガラス製)、O (石英ガラス製)、R (樹脂コーティング製)



●分光感度特性



●感度の温度特性

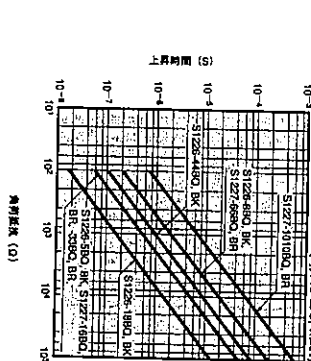


暗電流 I _d Max. (pA)	暗電流の 温度係数 Typ. (%/°C)	上昇時間 τ _r =0V Fl=1kQ Typ. (μs)	電子増幅率 V _r =0V F=10kHz Typ. (pF)	逆起抵抗 R _{sh} V _r =10mV Typ. (GΩ)	NEP Typ. (W/Hz ^{1/2})	絶対最大定格	
						逆電圧 V _r Max. (V)	動作温度 Topr (°C)

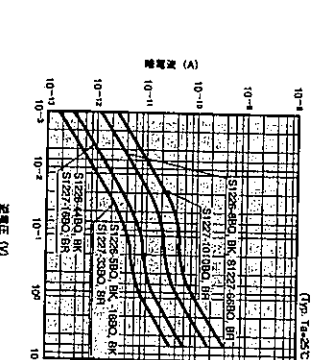
15	0.15	50	0.7	10	3.7×10 ⁻¹⁵	-20~+60	-55~+100
20	0.5	200	0.5	10	3.7×10 ⁻¹⁵	-40~+100	-55~+125
25	1	400	0.4	5	5.2×10 ⁻¹⁵	-20~+80	-55~+125
50	2	1000	0.2	1	1.2×10 ⁻¹⁴	-40~+100	-55~+125

20	0.5	200	0.5	5	5.2×10 ⁻¹⁵	-20~+60	-55~+100
20	0.5	200	0.5	10	3.7×10 ⁻¹⁵	-40~+100	-55~+125
50	2	1000	0.2	1	1.0×10 ⁻¹⁴	-20~+80	-55~+125
100	7	3200	0.1	0.5	1.3×10 ⁻¹⁴	-40~+100	-55~+125

●応答特性—負荷抵抗



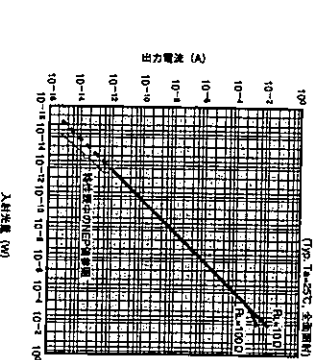
●暗電流—逆電圧



●並列抵抗—周囲温度



●直線性



シリコンフォトダイオード (可視～赤外精密測光用)

型名	外形寸法 (mm)	受光面 サイズ (mm)	有効受 光面積 (mm ²)	感度波長 範囲 (nm)	最大長 波長 (nm)	分光感度 S (AWV) Typ.	暗電流 I _d (pA) Typ.	暗電流 I _d (pA) Max.
S2386-18K	TO-18	1.1×1.1	1.2	320~1100	960	0.38	1	1.2
S2386-18L	TO-18	1.1×1.1	1.2	320~1100	960	0.38	3.2	4.0
S2386-5K	TO-5	2.4×2.4	5.7	320~1100	960	0.43	4.4	5.8
S2386-44K	TO-5	3.6×3.6	13	320~1100	960	0.58	9.6	12
S2386-45K	TO-8	3.6×4.8	17.9	320~1100	960	0.58	12	15
S2386-6K	TO-8	5.8×5.8	33	320~1100	960	0.58	26	33

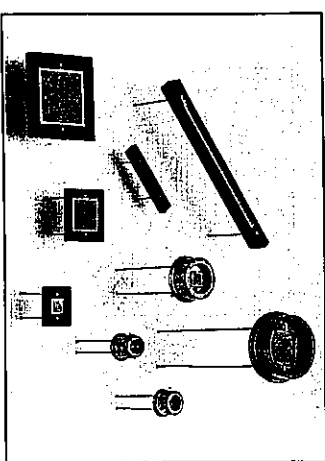
S2386シリーズ (メタルパッケージ)

型名	外形寸法 (mm)	受光面 サイズ (mm)	有効受 光面積 (mm ²)	感度波長 範囲 (nm)	最大長 波長 (nm)	分光感度 S (AWV) Typ.	暗電流 I _d (pA) Typ.	暗電流 I _d (pA) Max.
S2387-16R	TO-18	1.1×1.1	1.2	320~1100	960	0.58	4.4	5.5
S2387-33R	TO-18	1.1×1.1	1.2	320~1100	960	0.58	4.4	5.5
S2387-66R	TO-18	1.1×1.1	1.2	320~1100	960	0.58	24	30
S2387-1010R	TO-18	1.1×1.1	1.2	320~1100	960	0.58	68	85

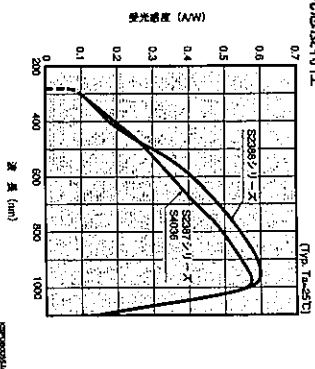
S2387シリーズ (セラミックパッケージ)

型名	外形寸法 (mm)	受光面 サイズ (mm)	有効受 光面積 (mm ²)	感度波長 範囲 (nm)	最大長 波長 (nm)	分光感度 S (AWV) Typ.	暗電流 I _d (pA) Typ.	暗電流 I _d (pA) Max.
S4036	40×3.0	1.2×2.9	35	320~1100	960	0.58	25	32

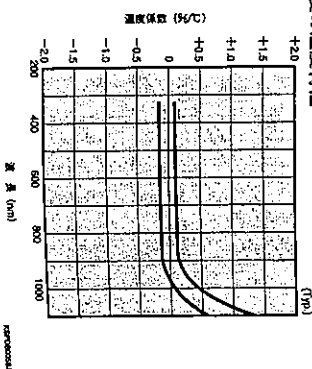
* 素材は、K (樹脂被覆ガラス型)、R (樹脂コーティング型)、L (レンズ型樹脂被覆ガラス型)



●分光感度特性



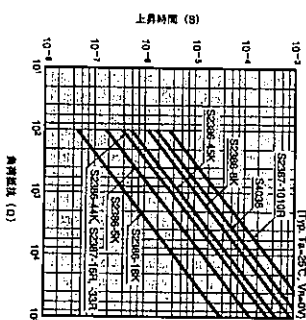
●感度の温度特性



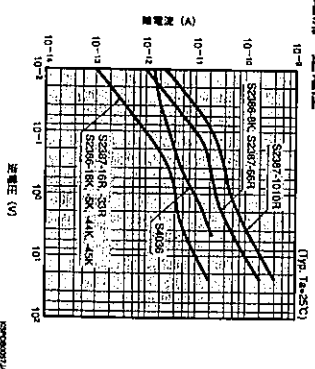
暗電流 I _d (pA) Max.	暗電流の温度係数 Typ.	上昇時間 τ _r (μs) Typ.	電子荷電量 Q _e (pC) Typ.	並列抵抗		NEP Typ. (W/Hz ^{1/2})	起爆最大定格			型名
				Min. (GΩ)	Typ. (GΩ)		逆電圧 V _r Max. (V)	動作温度 Top (°C)	保存温度 Tsig (°C)	
1.2	1.12	1.8	0.4	170	5	6.8×10 ⁻¹⁸	-40~+100	-55~+125		S2386-18K
3.2	1.12	1.8	0.4	170	2	9.6×10 ⁻¹⁸	-40~+100	-55~+125		S2386-18L
4.4	1.12	3.6	1.7	700	0.5	1.4×10 ⁻¹⁸	-40~+100	-55~+125		S2386-5K
5.8	1.12	5.5	2.5	2500	0.3	1.4×10 ⁻¹⁸	-40~+100	-55~+125		S2386-44K
9.6	1.12	10	4.4	4400	0.2	2.1×10 ⁻¹⁸	-40~+100	-55~+125		S2386-45K
12	1.12	11	5000	0.01	4	2.2×10 ⁻¹⁸	-20~+80	-20~+80		S2386-6K

(Ta=25°C)

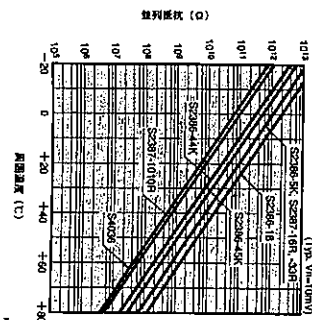
●応答特性—負荷抵抗



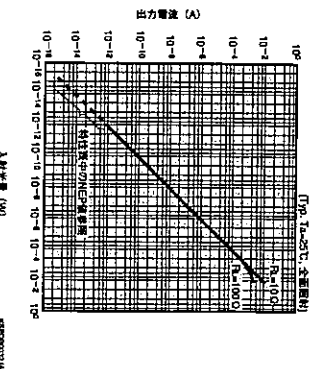
●暗電流—逆電圧



●並列抵抗—周囲温度



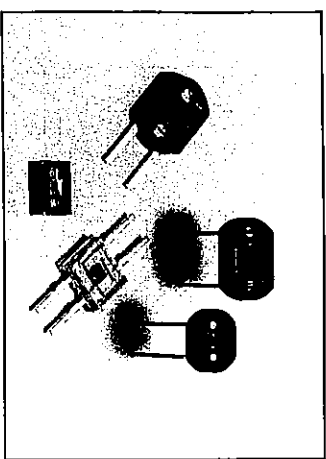
●直線性



シリコンフォトダイオード(可測測光用・可視～赤外測光用)

型名	外形寸法 材料*	受光面 サイズ (mm)	有効受 光面積 (mm ²)	暗電流 飽和電 圧 (mV)	最大 入射光 強度 A _p (mW/cm ²)	A _p	受光感度 S (AWV) Typ		
							Gap LED 560nm	Ho-Ni レーザ 639nm	GaAs LED 930nm
S1087	②V	セラミック							
S4011	③V	樹脂エポキシ	1.3×1.3	1.6					
S4160	③V	樹脂エポキシ			320~730	560	0.3	0.3	0.19
S4160-01	③V	セラミック							
S1133	③V	セラミック	2.4×2.8	6.6					
S1787-04	③V	樹脂エポキシ							
S2833	③V	樹脂エポキシ							
S1087-01	③R	セラミック							
S2164	③R	樹脂エポキシ	1.3×1.3	1.6					
S4011-02	③R	セラミック			320~1100	960	0.59	0.33	0.38
S1087-11	③R	セラミック							0.55
S4160-02	③R	樹脂エポキシ							
S1133-01	③R	セラミック	2.4×2.8	6.6					
S1787-08	③R	樹脂エポキシ							
S2833-01	③R	樹脂エポキシ							
S2833-04	③R	樹脂エポキシ							
S4787-01	③R	樹脂エポキシ	1.3×1.3	1.6					
S1133-14	③R	セラミック	2.4×2.8	6.6	320~1000	720	0.4	0.33	0.37
S3407-01	③R	樹脂エポキシ							0.2

*1 素材は、R (樹脂コーティング型)、V (真空密封型) のいずれか

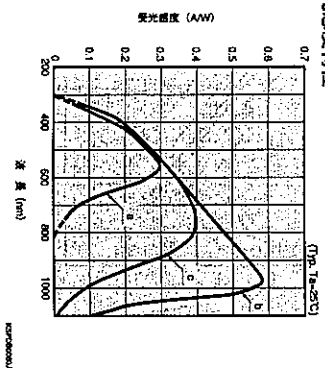


赤外線 感度比 (%)	短絡電 流 I _{sc} 100μx Typ. (A)	短絡電 圧 V _{oc} Typ. (V)	暗電流 I _d Max. (nA)	暗電流 の 温度 係数 Typ. (%/C)	暗電流 の上昇 率 Typ. (%/C)	並列抵抗 R _{sh} Typ. (Ω)	絶対最大値		型名
							V _r =10mV	V _r Max.	
10	0.16	-0.01	10	0.5	200	10	250		S1087
12 ^{±2}	0.28	-0.02	20	1.12	60	2	15	-10~+60	S4160
10	0.65	-0.01	10	2.5	700	10	100		S4160-01
13 ^{±2}	0.95		10	2.5	700	10	100		S1133
	1.3		10	0.5	200	10	250	-10~+60	S1787-04
	1.9		20	1.12	60	2	15	-10~+60	S2833
	1.3		10	0.2	50	10	100	-10~+60	S1087-01
	1.9	0.1	20	1.12	60	2	15	-10~+60	S2164
	5.6		10	2.5	700	10	100	-25~+85	S4011-02
	6.5		10	2.5	700	10	100	-10~+60	S1087-11
	1.2		20	1.12	60	2	15	-25~+85	S4160-02
	3.4	0.1	20	1.12	60	2	15	-10~+60	S1133-01
	3.9		20	1.12	60	2	15	-25~+85	S1787-08
			20	1.12	60	2	15	-40~+100	S2833-01
			20	1.12	60	2	15	-40~+100	S2833-04
			20	1.12	60	2	15	-25~+85	S4787-01
			20	1.12	60	2	15	-10~+60	S1133-14
			20	1.12	60	2	15	-40~+100	S3407-01

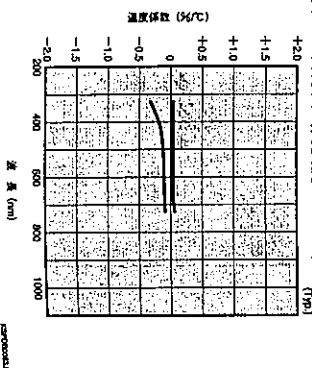
*2 7μm未満は遮光

応答特性 -1dB帯域	暗電流-1dB電圧	暗電流-1dB電圧	暗電流-1dB電圧	暗電流-1dB電圧	暗電流-1dB電圧	暗電流-1dB電圧	暗電流-1dB電圧	暗電流-1dB電圧	暗電流-1dB電圧
10 ⁻³	10 ⁻¹¹	10 ⁻¹¹	10 ⁻¹¹	10 ⁻¹¹	10 ⁻¹¹	10 ⁻¹¹	10 ⁻¹¹	10 ⁻¹¹	10 ⁻¹¹
10 ⁻⁴	10 ⁻¹²	10 ⁻¹²	10 ⁻¹²	10 ⁻¹²	10 ⁻¹²	10 ⁻¹²	10 ⁻¹²	10 ⁻¹²	10 ⁻¹²
10 ⁻⁵	10 ⁻¹³	10 ⁻¹³	10 ⁻¹³	10 ⁻¹³	10 ⁻¹³	10 ⁻¹³	10 ⁻¹³	10 ⁻¹³	10 ⁻¹³
10 ⁻⁶	10 ⁻¹⁴	10 ⁻¹⁴	10 ⁻¹⁴	10 ⁻¹⁴	10 ⁻¹⁴	10 ⁻¹⁴	10 ⁻¹⁴	10 ⁻¹⁴	10 ⁻¹⁴
10 ⁻⁷	10 ⁻¹⁵	10 ⁻¹⁵	10 ⁻¹⁵	10 ⁻¹⁵	10 ⁻¹⁵	10 ⁻¹⁵	10 ⁻¹⁵	10 ⁻¹⁵	10 ⁻¹⁵
10 ⁻⁸	10 ⁻¹⁶	10 ⁻¹⁶	10 ⁻¹⁶	10 ⁻¹⁶	10 ⁻¹⁶	10 ⁻¹⁶	10 ⁻¹⁶	10 ⁻¹⁶	10 ⁻¹⁶
10 ⁻⁹	10 ⁻¹⁷	10 ⁻¹⁷	10 ⁻¹⁷	10 ⁻¹⁷	10 ⁻¹⁷	10 ⁻¹⁷	10 ⁻¹⁷	10 ⁻¹⁷	10 ⁻¹⁷
10 ⁻¹⁰	10 ⁻¹⁸	10 ⁻¹⁸	10 ⁻¹⁸	10 ⁻¹⁸	10 ⁻¹⁸	10 ⁻¹⁸	10 ⁻¹⁸	10 ⁻¹⁸	10 ⁻¹⁸

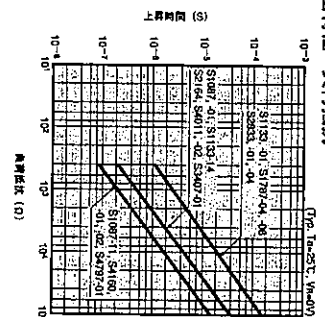
分光感度特性



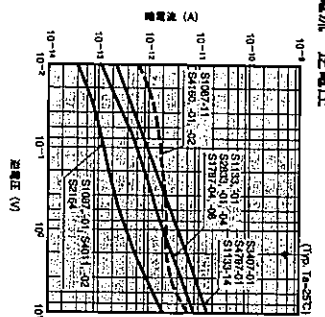
感度の温度特性 (代表例: S1087)



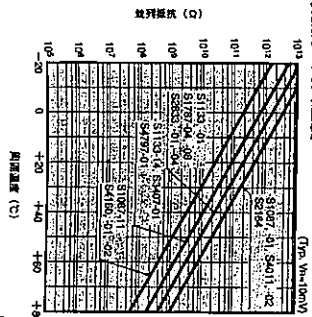
応答特性-負荷抵抗



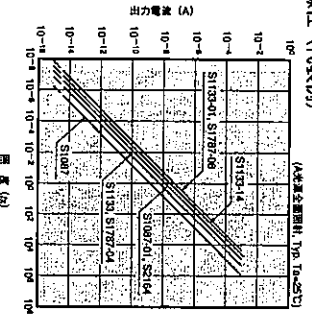
暗電流-逆電圧



並列抵抗-周囲温度



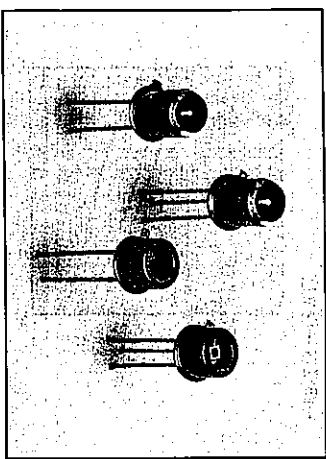
直線性 (代表例)



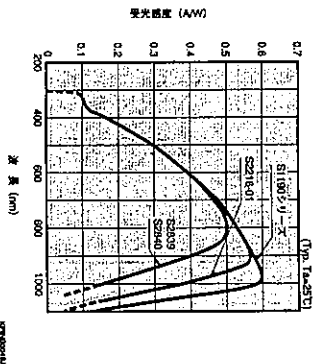
PINシリコンフォトダイオード (1)

型名	外形寸法図 (p.46)	パッケージ	受光面 サイズ (mm)	有効 受光面積 (mm ²)	感度波長 λ (nm)	最大感度 λ _p (nm)	受光感度 S (AW) Typ.		短絡電流 I _{sc} 100μA Typ.
							He-Ne レーザー 633nm	GAAs LED 980nm	
S2216-01	③/K TO-18 (3ピン)		φ0.8	0.5	320~1080	900	0.57	0.54	0.1
S2839			φ0.4	0.12	320~1000	800	0.5	0.32	
S2840	③/K TO-18 (3ピン)		φ0.8	0.5	320~1000	800	0.42	0.39	1.35
S1190			③/L	TO-18	1.1×1.1	1.2	320~1100	960	
S1190-01	③/K TO-18 (3ピン)		φ0.8	0.5	320~1000	800	0.57	0.54	10
S1190-03			③/L	TO-18	1.1×1.1	1.2	320~1100	960	
S1190-13	③/L								10

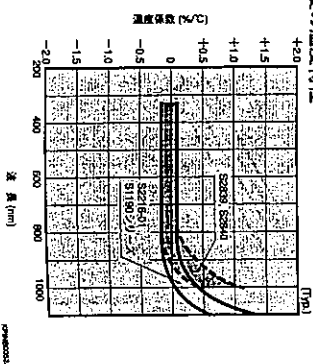
*1 窓材は、K (無窓ガラス窓)、L (レンズ型無窓ガラス窓)



●分光感度特性



●感度の温度特性

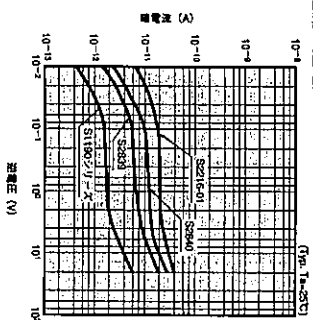


型名	絶対最大定格 (Ta=25°C)				動作温度 Topr	保存温度 Tstg
	逆電圧 V _R Max. (V)	許容損失 P Max. (mW)	動作温度 Topr (°C)	保存温度 Tstg (°C)		
S2216-01	20	50	-40~+100	-55~+125		
S2839						
S2840						
S1190						
S1190-01						
S1190-03						
S1190-13						

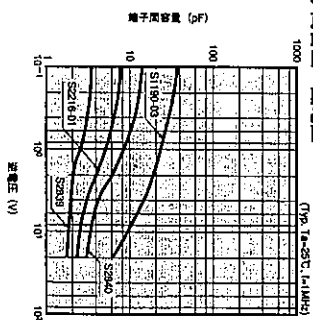
明電流 I _D (mA)	暗電流の 温度係数 Typ. (%/°C)	遮断 周波数 fc Typ. (MHz)	電子荷容量 C _i 1~1MHz Typ. (pF)	NEP Typ. (W/Hz ^{1/2})	逆電圧 V _R Max. (V)	
					Typ.	Max.
0.025 ¹⁾	1 ²⁾	40	3	5.9×10 ⁻¹¹ (V _R =5V)	20	
0.01 ³⁾	0.15 ²⁾	200	2	3.6×10 ⁻¹¹ (V _R =5V)		
0.02 ²⁾	0.3 ²⁾	200	4	5.9×10 ⁻¹¹ (V _R =5V)		
0.004 ¹⁾	2 ²⁾	5	10	2.9×10 ⁻¹¹ (V _R =10V)		

*2 V_R=5V
*3 V_R=10V

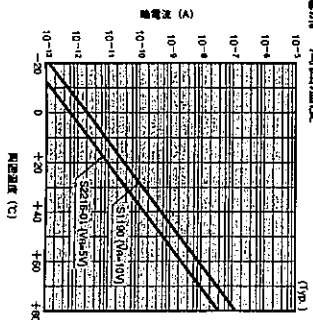
●暗電流—逆電圧



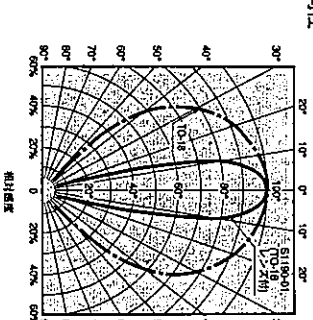
●端子間容量—逆電圧



●暗電流—周囲温度



●指向性

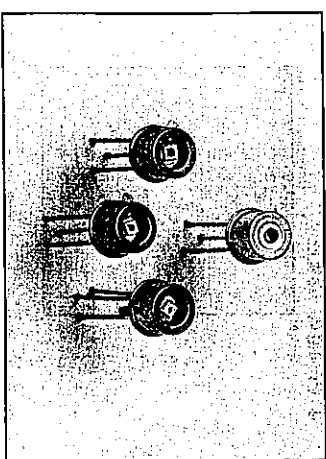


PINシリコンフォトダイオード (2)

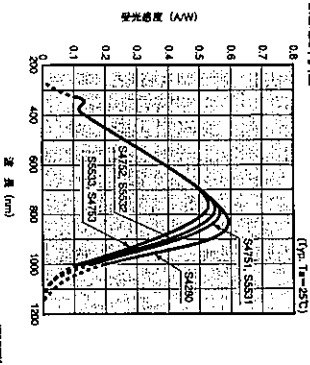
型名	外形寸法 材料 (P40)	パッケージ	受光面 サイズ (mm)	有効面積 (mm ²)	感度 長さ (mm)	受光感度 S (AWV) Typ.			短絡電流 I _{sc} 100μV Typ. (μA)	
						最大感度 λ _p	650nm	780nm		830nm
S4280	③K	TO-18 (9ピン)	φ0.8	0.5		840	0.6	0.58	0.5	0.44
S4751	③L	TO-18 (9ピン)	φ0.8	0.5		800	0.57	0.56	0.55	0.53
S5531	③L	TO-18 (9ピン)	φ0.6	0.28	320~1000		0.45	0.54	0.5	0.21
S4752	③K	TO-18 (9ピン)	φ0.6	0.28				0.54	0.5	0.42
S5532	③L	TO-18 (9ピン)	φ0.6	0.28				0.52	0.47	0.1
S4753	③K	TO-18 (9ピン)	φ0.4	0.12				0.52	0.47	0.38
S5533	③L	TO-18 (9ピン)	φ0.4	0.12				0.52	0.47	0.38

* 素材は、K (シリコン結晶ガラス窓)、L (リンシリコン結晶ガラス窓)

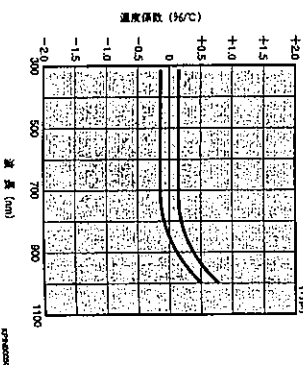
型名	絶対最大定格 (Ta=25°C)				動作温度 Topr	保存温度 Tstg
	逆電圧 V _r Max.	許容損失 P Max.	動作電圧 V _o	動作電流 I _o Max.		
S4280	20	50	-40~+100	-55~+125		
S4751	20	50	-40~+100	-55~+125		
S5531	20	50	-40~+100	-55~+125		
S4752	20	50	-40~+100	-55~+125		
S5532	20	50	-40~+100	-55~+125		
S4753	20	50	-40~+100	-55~+125		
S5533	20	50	-40~+100	-55~+125		



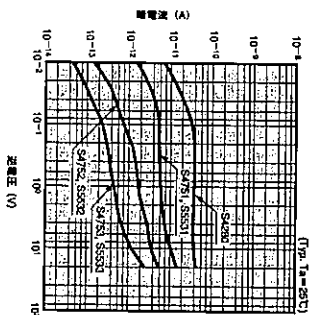
●分光感度特性



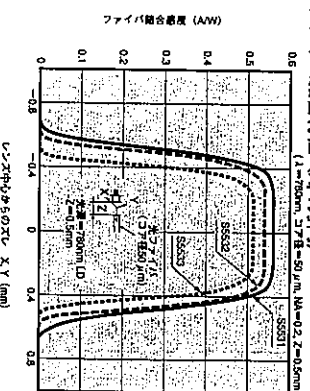
●感度の温度特性



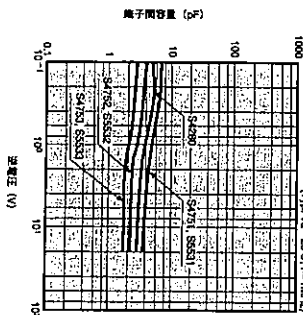
●暗電流・逆電圧



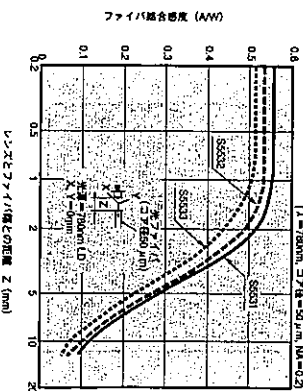
●ファイバ結合特性 (X, Y方向)



●量子間容量・逆電圧

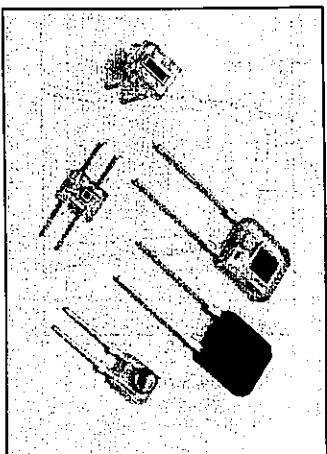


(Z方向)

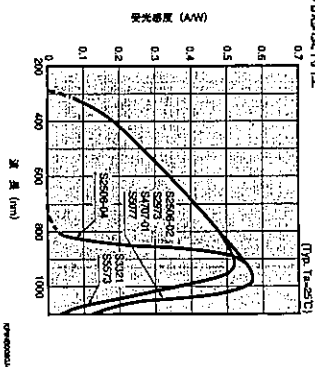


PNシリコンフォトダイオード (3)

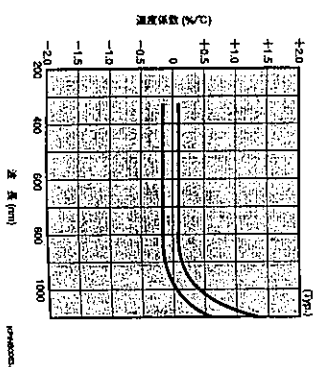
型名	外形寸法図 (P44, 45)	パッケージ	受光面サイズ (mm)	有効受光面積 (mm ²)	感度波長 λ _d (nm)	最大感度 λ _p (nm)	受光感度 S (A/W) Typ.		接続電流 I _{sc} Typ. (μA)
							He-Ni レーザ 633nm	GaAs LED 930nm	
S2506-02	②		2.77×2.17	7.7	320~1100	960	0.37	7.3	
S2506-04	③		2.4×2.8	6.6	800~1100	960	—	4.1	
S4707-01	④		1.1×1.1	1.2	320~1100	—	0.55	8.6	
S5077	⑤	排座-M4	1.3×3	3	—	—	0.37	1.85	
S2973	⑥		—	—	—	—	—	3.3	
S3321	⑦		—	—	—	—	—	0.85	
SS573	⑧		—	—	—	—	—	4.5	



●分光感度特性



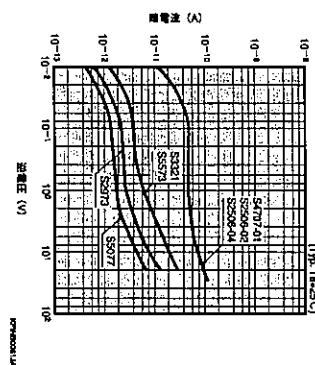
●感度の温度特性



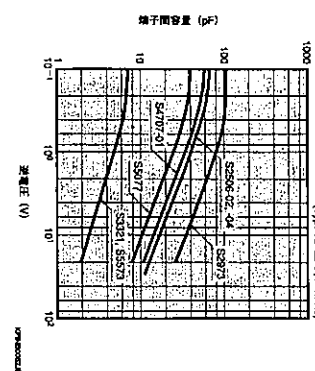
型名	絶対最大定格 (Ta=25°C)			
	逆電圧 V _r Max. (V)	暗電流 I _d (nA)	動作温度 T _{op} (°C)	保存温度 T _{stg} (°C)
S2506-02	35	0.1 ¹⁾ 10 ²⁾	-25~+85	-40~+100
S2506-04	35	0.08 ²⁾ 5 ³⁾	-25~+85	-40~+100
S4707-01	35	0.004 ²⁾ 2 ³⁾	-25~+85	-40~+100
S5077	20	0.01 ²⁾ 1 ³⁾	-25~+85	-40~+100
S2973	20	0.025 ²⁾ 1 ³⁾	-25~+85	-40~+100
S3321	20	0.025 ²⁾ 1 ³⁾	-25~+85	-40~+100
SS573	20	0.025 ²⁾ 1 ³⁾	-25~+85	-40~+100

*1 V_r=12V
*2 V_r=10V
*3 V_r=5V

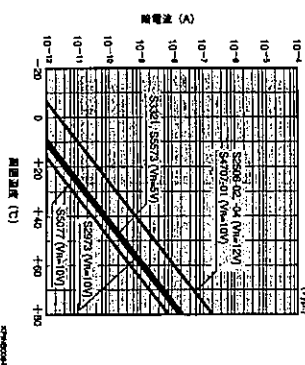
●暗電流—逆電圧



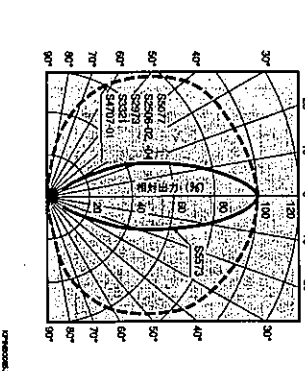
●端子間容量—逆電圧



●暗電流—周囲温度



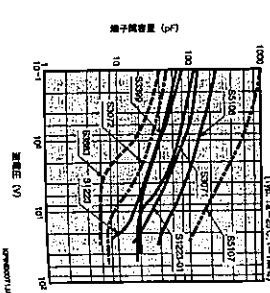
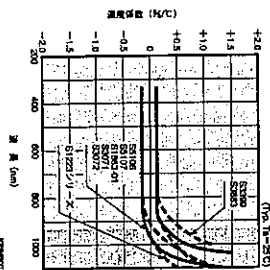
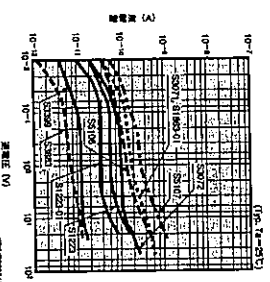
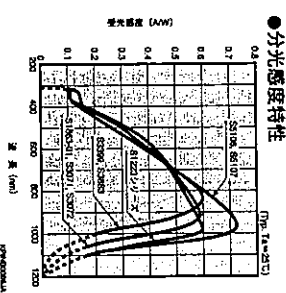
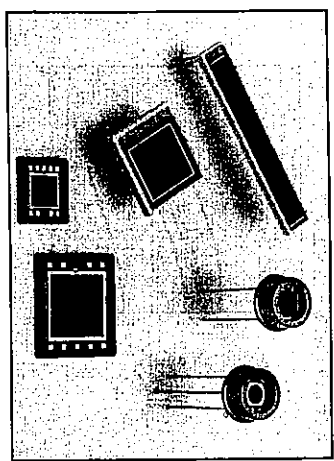
●指向性



PINシリコンフォトダイオード (4)

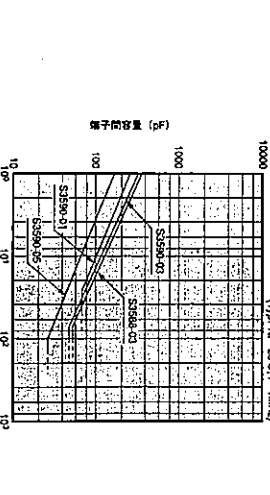
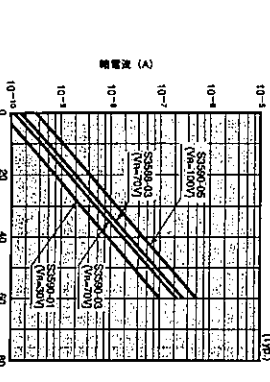
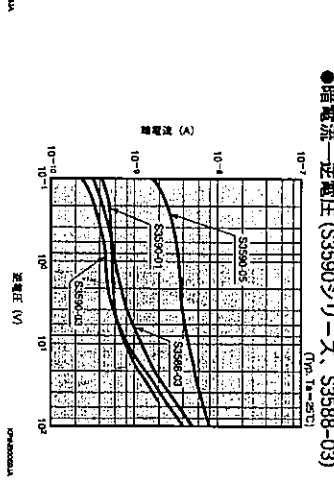
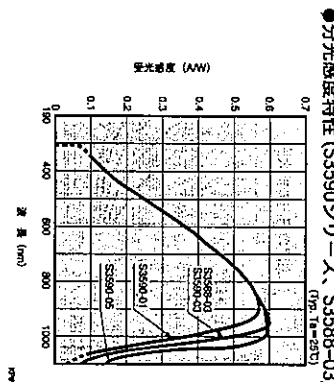
型名	外形寸法 単位:mm	パッケージ	受光面サイズ (mm)	有効面積 (mm ²)	感度波長 λ (nm)	最大感度 λp (nm)	受光感度 S (AWV) Typ.			短絡電流 Isc 100μA Typ.	
							1p	660nm	780nm		830nm
S1223	③K	TO-5	2.4×2.8	6.6	320~1100	960	0.6	0.45	0.52	0.54	6.2
S1223-01	③K	TO-8	3.6×3.6	13	320~1100	960	0.6	0.45	0.52	0.54	12.7
S3071	③K	TO-8	φ5.0	19.6	320~1080	920	0.6	0.47	0.54	0.58	17
S3072	③K	TO-5	φ3.0	7.0	320~1080	920	0.6	0.47	0.54	0.58	6.5
S1863-01	③K	φ14mmTO8	φ5.0	19.6	320~1000	840	0.6	0.43	0.53	0.55	17
S3883	③K	TO-5	φ1.5	1.7	320~1000	840	0.6	0.45	0.58	0.6	5.6
S3399	③K	TO-5	φ3.0	7.0	320~1100	960	0.72	0.45	0.57	0.62	27
S5106	③R	セラミック パッケージ	5×5	25	320~1100	920	0.56	0.26*	0.31**	—	90
S5107	③R	セラミック パッケージ	10×10	100	320~1100	960	0.59	0.25**	0.31**	—	92
S3590-01	③R	セラミック パッケージ	10×10	100	320~1100	960	0.6	0.25**	0.31**	—	80
S3590-03	③R	セラミック パッケージ	9×9	81	320~1100	960	0.59	0.26**	0.31**	—	95
S3588-03	③R	セラミック パッケージ	3.4×3.0	102	320~1100	960	0.59	0.26**	0.31**	—	95

*1 窓材は、K (有機性ガラス窓)、R (樹脂コーティング窓)
*2 BCG 480nm
*3 Cal(T) 540nm



型名	絶対最大定格				動作温度 Topr (°C)	保存温度 Tstg (°C)				
	暗電流 Id (nA)	照電流の 温度係数 Typ.	遷移 周波数 fc (MHz)	端子間容量 Cj @1MHz Typ. (pF)			NEP Typ. (W/Hz ^{1/2})	逆電圧 Vr Max. (V)	特性損失 P Max. (mW)	
S1223	0.09*	1.15	30	10	8.9×10 ⁻¹⁴	30	100	-20~+100	-20~+100	S1223
S1223-01	0.15*	1.15	30	10	8.9×10 ⁻¹⁴	30	100	-20~+100	-20~+100	S1223-01
S3071	0.5**	1.15	40	13	2.1×10 ⁻¹³	50	100	-40~+100	-55~+125	S3071
S3072	0.5**	1.15	45	7	1.6×10 ⁻¹³	50	100	-40~+100	-55~+125	S3072
S1863-01	0.5**	1.12	300	6	9.4×10 ⁻¹⁴	30	50	-20~+100	-20~+100	S1863-01
S3883	0.3**	1.12	100	20	1.2×10 ⁻¹³	30	100	-20~+100	-20~+100	S3883
S3399	0.3**	1.12	100	20	1.2×10 ⁻¹³	30	100	-20~+100	-20~+100	S3399
S5106	0.9**	1.1	10	50	5.3×10 ⁻¹⁴	50	100	-20~+100	-20~+100	S5106
S5107	1.5**	1.1	10	50	5.3×10 ⁻¹⁴	50	100	-20~+100	-20~+100	S5107
S3590-01	3**	1.1	30	50	5.3×10 ⁻¹⁴	100	100	-20~+100	-20~+100	S3590-01
S3590-03	8**	1.1	30	50	5.3×10 ⁻¹⁴	150	100	-20~+100	-20~+100	S3590-03
S3588-03	4**	1.1	40	55	6.1×10 ⁻¹⁴	100	100	-20~+100	-20~+100	S3588-03

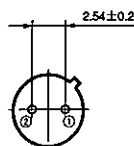
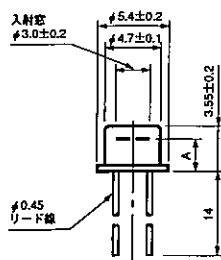
*4 V_{rev}=20V *7 V_{rev}=30V
*5 V_{rev}=24V *8 V_{rev}=70V
*6 V_{rev}=10V *9 V_{rev}=100V



外形寸法図

単位: mm

① S1226-18BQ etc.



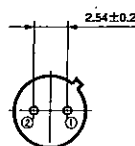
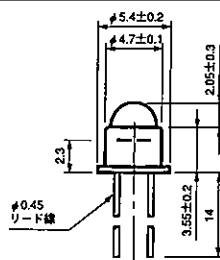
ケースと共通

	S1226シリーズ	S1190
	G1115	S1338シリーズ
	G1735	S2386-18K
	G1961	
A	2.4	2.3



KSPDA0047JA

② S2386-18L

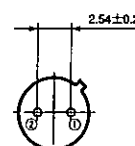
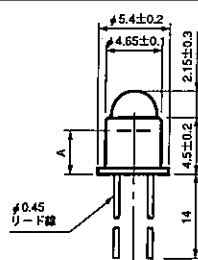


ケースと共通



KSPDA0048JA

③ S1190-01 etc.



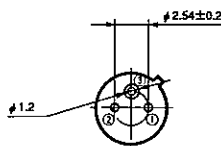
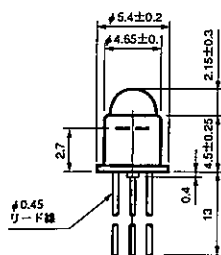
ケースと共通

	S1190-01	G3067
	G3297	
A	2.4	2.3



KPINA0028JA

④ S1190-13

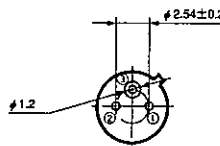
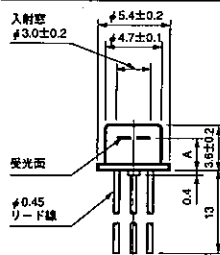


ケース



KPINA0030JA

⑤ S2216-01 etc.



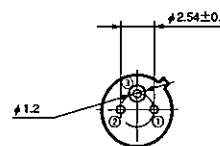
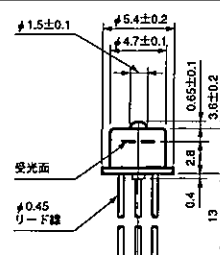
ケース



	S2216-01	S2035, S2040	S1190-03
		S4280, S4751	
		S4732, S4753	
A	2.6	2.6	2.7

KPINA0022JA

⑥ S5531, S5532, S5533

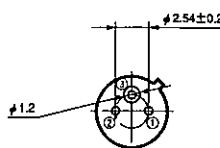
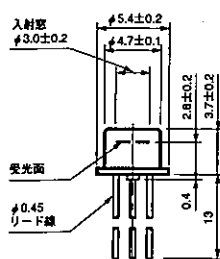


ケース



KPINA0023JA

⑦ S2381, S2382, S2383

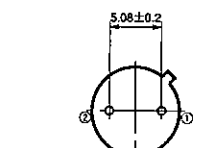
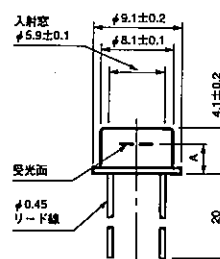


ケース



KAPDA0010JA

⑧ S1226-5BQ etc.



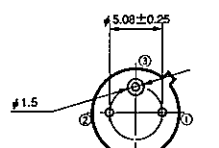
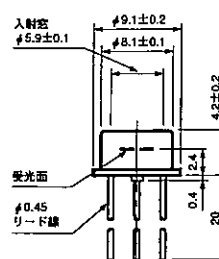
ケースと共通



	S1226シリーズ	S2386シリーズ
	G1116, G1736	S1338シリーズ
	G1126-02	S1223
	G1746, G1962	S1223-01
A	2.9	2.8

KSPDA0049JA

⑨ S3072



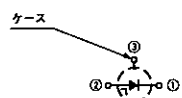
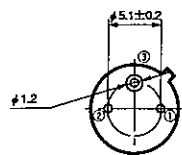
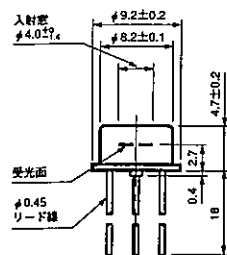
ケースと共通



KPINA0024JA

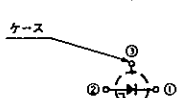
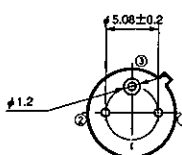
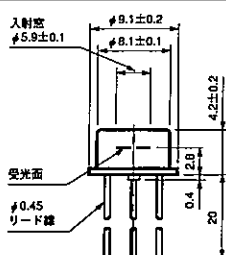
単位：mm

⑩ S3884



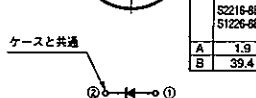
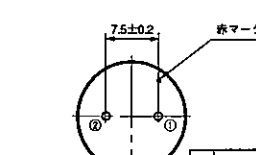
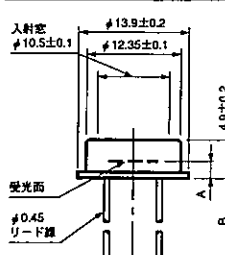
KAPDA0011JA

⑪ S2384



KAPDA012JA

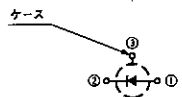
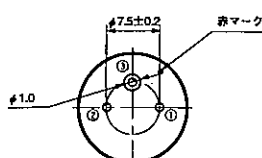
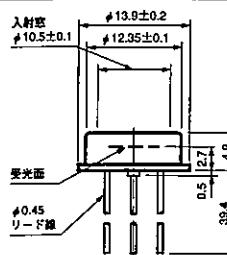
⑫ S1226-8BQ etc.



	S2216-8BQ S1226-8BQ	S2856-8BQ S1336-8BQ S1336-8BQ	G1117, G1737 G1127-02 G1747 G1963
A	1.9	1.8	1.9
B	39.4	39.4	15.0

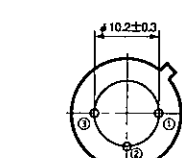
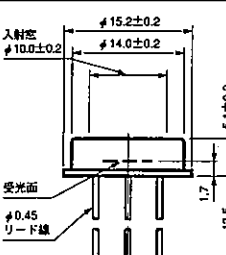
KSPDA0050JA

⑬ S3071



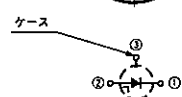
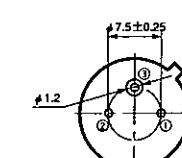
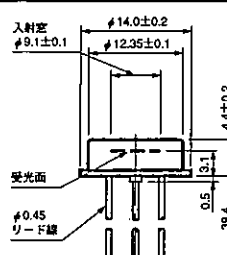
KPINAO027JA

⑭ S1863-01



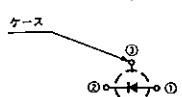
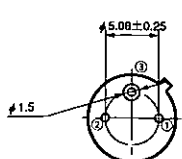
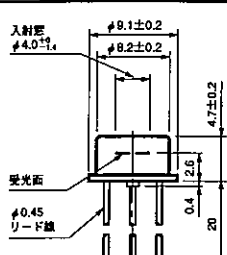
KPINAO028JA

⑮ S2385



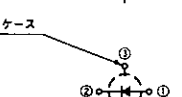
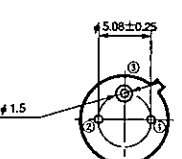
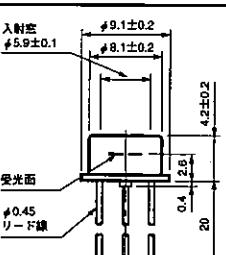
KAPDA013JA

⑯ S3883



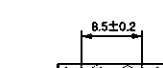
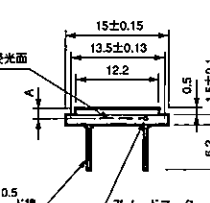
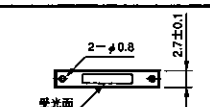
KPINAO025JA

⑰ S3399



KPINAO026JA

⑱ S1227-16BQ etc.

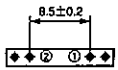
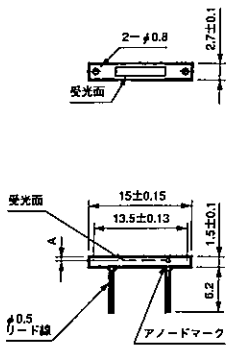


	S1227-16BQ	S1337-16BQ
A	0.85	0.95

KSPDA0033JA

単位：mm

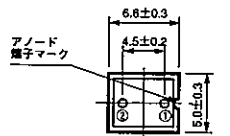
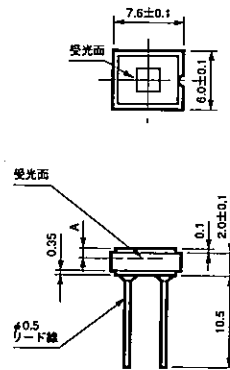
19 S1227-16BR etc.



	S1227-16BQ	S1337-16BR S2387-16R
A	0.35	0.45

② ← ① → ④ KSPDA0034JB

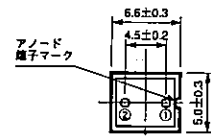
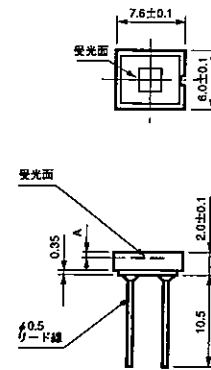
20 S1227-33BQ etc.



	S1227-33BQ	S1337-33BQ
A	0.75	0.85

② ← ① → ④ KSPDA0035JA

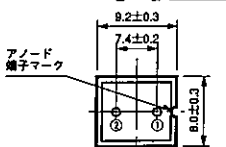
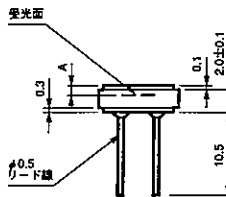
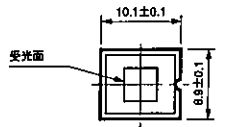
21 S1227-33BR etc.



	S1227-33BR	S1337-33BR S2387-33R
A	0.65	0.75

② ← ① → ④ KSPDA0036JA

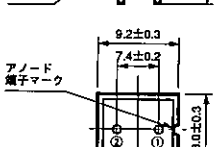
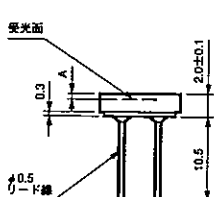
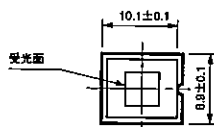
22 S1227-66BQ etc.



	S1227-66BQ	S1337-66BR
A	0.75	0.85

② ← ① → ④ KSPDA0037JA

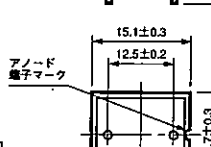
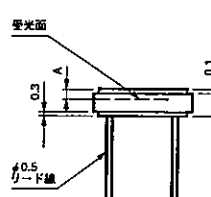
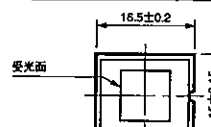
23 S1227-66BR etc.



	S1227-66BR G1120	S1337-66BR S2387-66R
A	0.65	0.75

② ← ① → ④ KSPDA0038JA

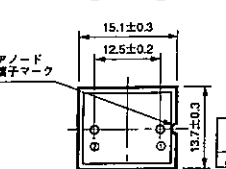
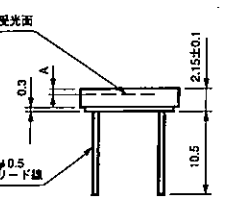
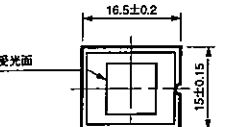
24 S1227-1010BQ etc.



	S1227-1010BQ G2119	S1337-1010BR
A	0.9	1.0

② ← ① → ④ KSPDA0039JA

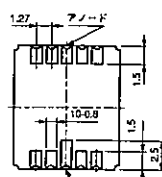
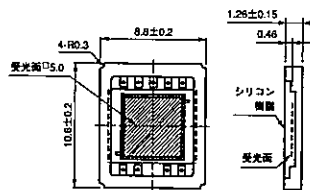
25 S1227-1010BR etc.



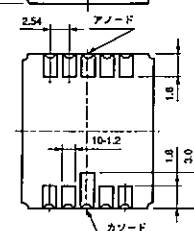
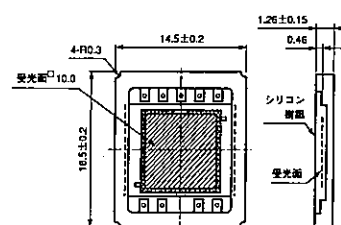
	S1227-1010BR	S1337-1010BR S2387-1010R
A	0.8	0.9

② ← ① → ④ KSPDA0040JA

26 S5106



27 S5107



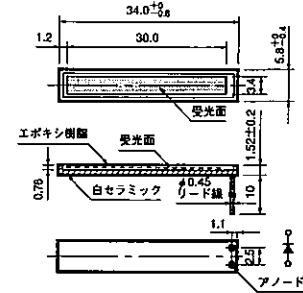
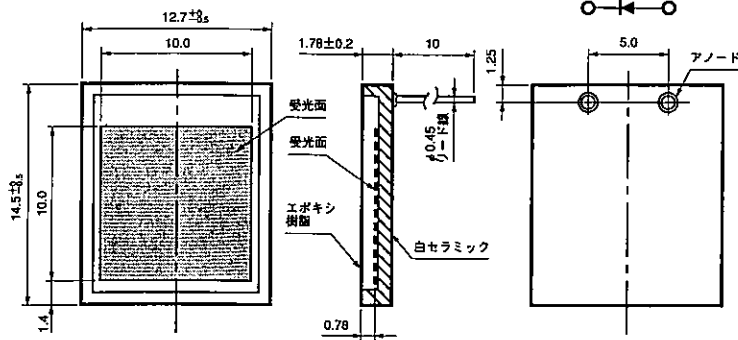
外形寸法図に対して、バリは片側0.3mm (Max.)

KPINA0002JA

KPINA0013JA

28 S3590シリーズ

29 S3588-03



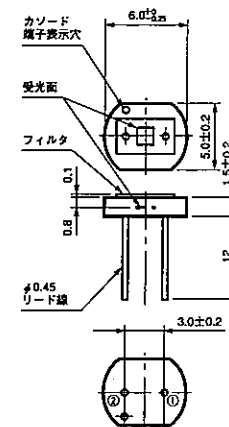
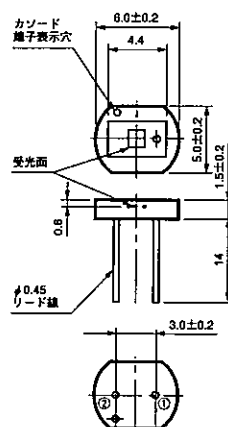
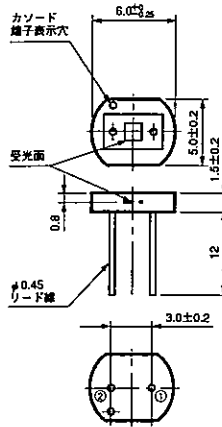
KP1A0014JB

KSPDA0051JA

30 S1087-01, S1087-11

31 G1118, G1738

32 S1087



KSPDA0052JA

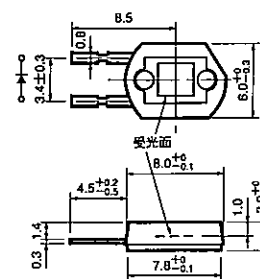
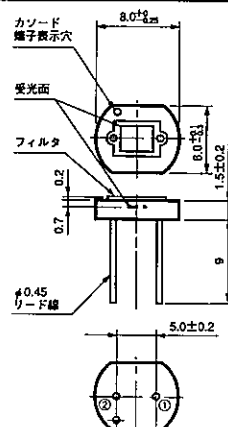
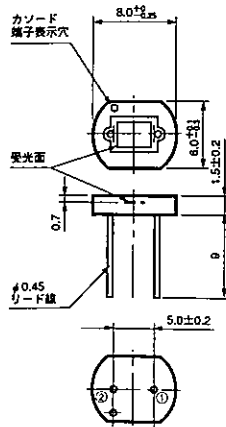
KGPDA0002JA

KSPDA0053JA

33 S1133-01, S1133-14

34 S1133

35 S1787シリーズ



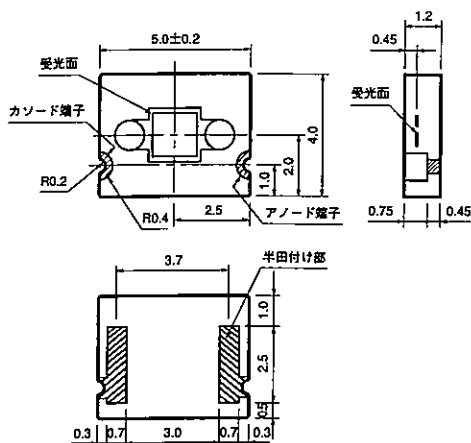
KSPDA0054JA

KSPDA0055JA

KSPDA0056JA

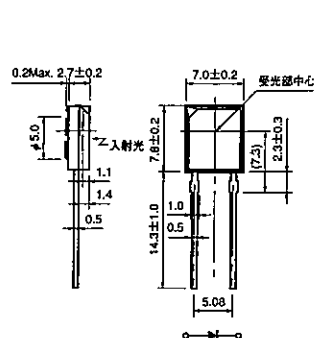
単位：mm

36 S2164



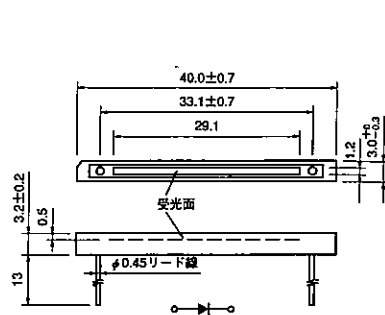
KSPDA0057JA

37 S2506シリーズ



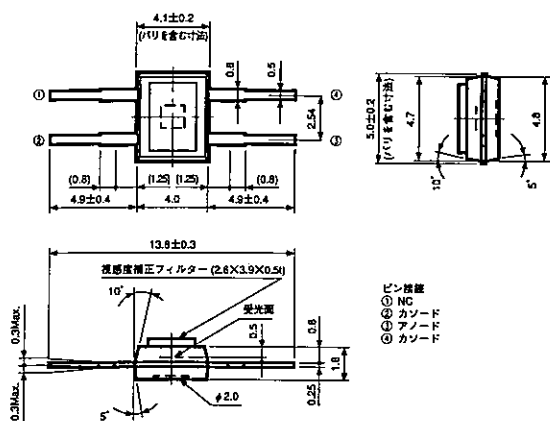
KPINAG031JA

38 S2551, S4036



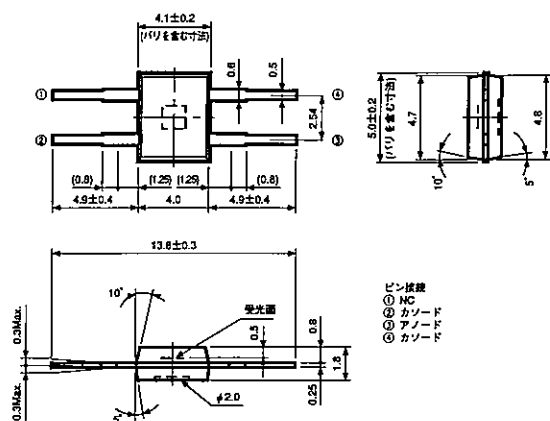
KSPDA0058JA

39 S4011, S4160



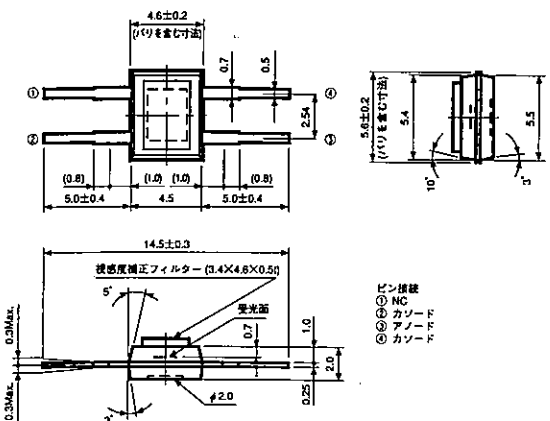
KSPDA0059JA

40 S3321, S4011-02, S4160-02



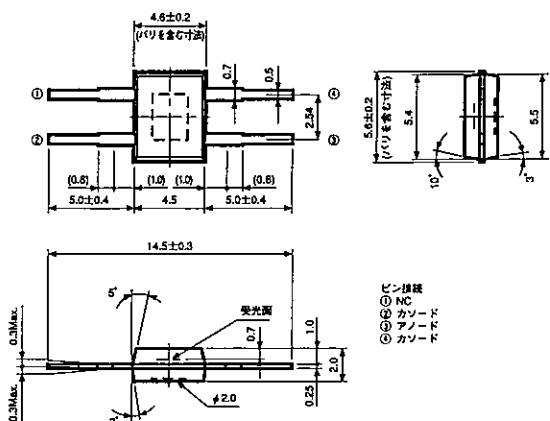
KSPDA0060JA

41 S2833



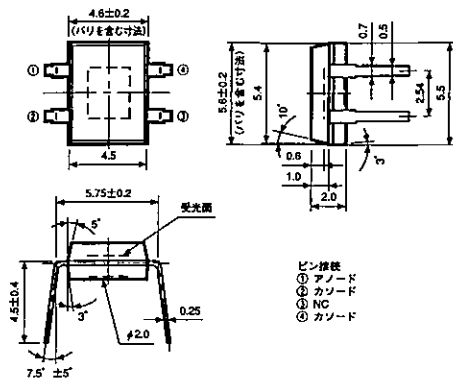
KSPDA0061JA

42 S2833-01

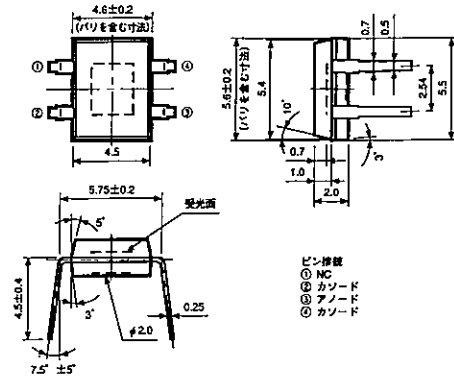


KSPDA0062JA

④③ G2711-01



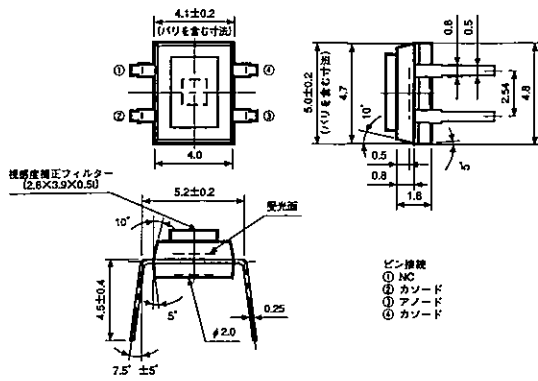
④④ S2833-04, S3407-01, S4707-01 etc.



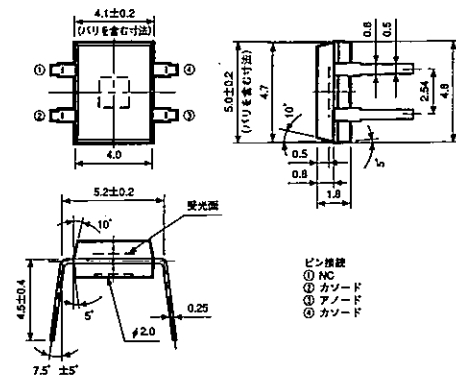
KGPDA0003JA

KSPDA0063JA

④⑤ S4160-01



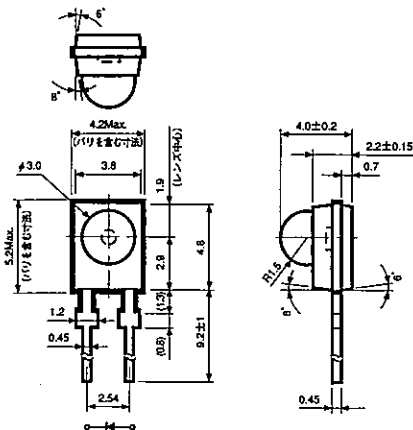
④⑥ S4797-01, S5077



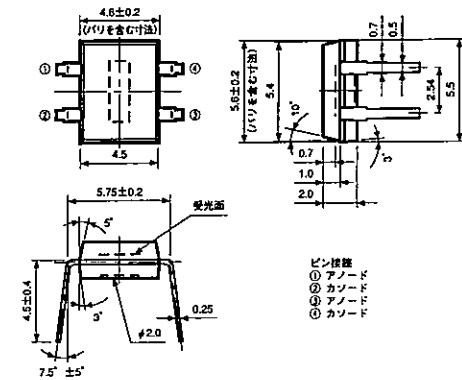
KSPDA0064JA

KSPDA0065JA

④⑦ S5573



④⑧ S2973



KPINA0002JA

KSPDA0066JA

※ 寸法図中のリード線の間隔は、パッケージの付け根の中心から中心の寸法を示します。なお公差のない数値はTypicalの値を示してあります。なお()内の数値は参考値です。