

高輝度照明条件下でのインターラインCCDイメージ・センサの使用



ON Semiconductor®

www.onsemi.jp

APPLICATION NOTE

はじめに

オン・セミコンダクターのイメージ・センサは、過酷な屋外向け用途で幅広く採用されています。これらの製品は、高輝度と低輝度の両方の照明条件に適合し、予期したとおりに動作します。ただし、極端な高輝度照明がセンサに到達する稀なケースでは、センサへの損傷を防止するために、いくつかの設計上の検討事項があります。システムの堅牢性を向上させるために、オン・セミコンダクターは本アプリケーション・ノートで詳述するように、カメラ設計を改善することを推奨します。本アプリケーション・ノートの対象は、オン・セミコンダクターのインターライン・トランスファCCDを使用する可視光画像処理アプリケーションに限定されます。短波長の放射線[1]に起因する問題や、過度の熱による物理的な損傷に関連する問題は、ここでは説明しません。

高輝度の可視光照明条件

「高輝度の可視光照明」に該当するのはどの条件でしょうか。有用な経験則は、あるシーンを人間の目で見て苦痛や不快感を覚える場合、そのシーンはイメージ・センサに損傷を及ぼす可能性があるということです。損傷を及ぼす照度レベルになる可能性がある例として、日光が照りつける面からの直接的な反射を画像処理する、または開放した絞りを通して日光を直接画像処理するなどの条件が挙げられます。屋外アプリケーションの場合、不注意でカメラが太陽や太陽の鏡面反射に向けられる可能性があるかどうかを検討する必要があります。オン・セミコンダクターが実施した実験では、この種のシーン、特に開放した絞りで日光などにカメラを向けた場合、CCDが損傷する可能性がある光レベルが生成されました。また、このような条件下では、レンズのフレア、内部反射、他の二次的効果が原因で、実際の画像処理が困難になることも明らかになりました。

インターラインCCDデバイスの構造と動作

最適な露出で画像をキャプチャする場合[2]、光はピクセルに入射し、シリコン内で電子と正孔のペア(ehp)に変換されます。フォトダイオードは電子を収集し、CCDのシフト・レジスタを経由して出力部に転送します。GND(言い換えるとPWell)ピンは、正孔の過剰な供給を取り除くことで電氣的に領域を平衡させます。フォトダイオードの電荷処理能力を上回

る露出を選択した場合、電子の流れの一部はフォトダイオードからPWell領域を経由してSUBピンに到達する経路に流れ始めます[3]。これを、縦型オーバーフローレインによるブルーミング制御といいます。画像処理の際に十分高い電圧でSUBピンにパルス印加することによって、オプションでフォトダイオードが収集した電子による電荷量すべてを取り除くこともできます。この機能は、電子シャッターで一般的に使用されており、この場合はすべての電子の流れはSUBピンに向かいます。

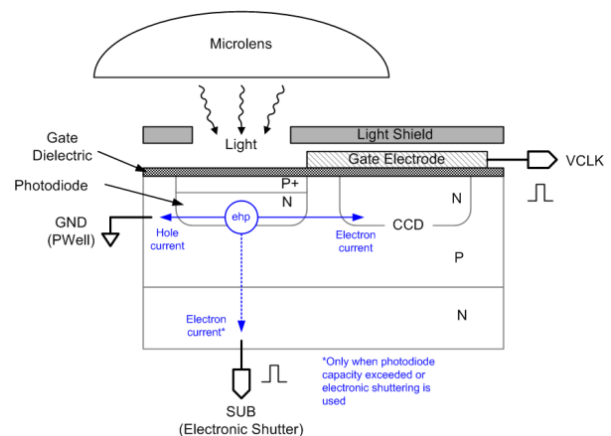


Figure 1. Interline CCD Structure and Operation

高輝度の可視光照明条件下でデバイスが与える影響

インターラインCCDのピクセル構造には、Figure 2 [4,5]に示すように、SUBピンとGNDピン、および内部CCDに埋め込まれているチャネル領域で構成される寄生NPNトランジスタ(Qp)が含まれます。GNDピンは実質的にピクセル・アレイを取り巻くリングで構成されています。このアレイの端部に物理的に近接したピクセルでは、PWellの抵抗値(Rp)は比較的小さいのに対し、中心部にあるピクセルではRp値が最大になります。

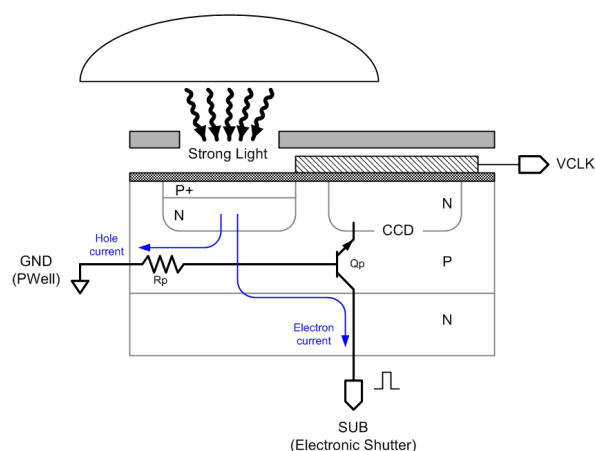


Figure 2. Interline CCD Structure Illustrating Parasitic NPN Transistor

アレイのサイズが大きくなると、GNDリングから遠くに配置されているピクセルでは、Rp値がさらに大きくなります。実効Rp抵抗値は、ピクセルの設計やピクセル・アレイの縦横比など、他の要因にも依存します。オン・セミコンダクターの9 μm、7.4 μm、5.5 μmという各サイズのインターライン・ピクセルは、すべて異なるピクセル設計を採用しています。つまり、アレイの物理サイズが同じであっても、Rp値は互いに異なります。同様に、正方形のセンサは一般に、同じ分解能で16:9の縦横比を持つセンサよりRp値が大きくなります。

光レベルが十分高い場合、センサ面で最大1000 W/cm²の照度になる可能性があります。この照度は、SUBピンへ向かうミリアンペア単位の電子の流れを作り出すことが観察されてきました。これらの条件下では、対応する正孔の流れとRpの組み合わせによって、PWellの電位が局所的に上昇します。おそらく、その電位は、Qpがオンになる値に達します。この状況が発生すると、SUBピンに印加される電圧は実質的にCCDに接続されます。

動作の制限：メカニズムと観察結果

Qpがオンの間、ゲート絶縁物(Figure 1を参照)は、SUBとVCLKの各電圧および絶縁物の厚み(t_{ox})に関連する電界(E)に晒されます。この電界の大きさを式1に示します。

$$E = \left(\frac{V_{SUB} - V_{VCLK}}{t_{ox}} \right) \text{ V/cm} \quad (\text{eq. 1})$$

電界がゲート絶縁物の素材に由来するブレイクダウン特性に近づくかその値を上回った場合、高輝度スポットの位置で絶縁膜に損傷が発生する可能性があります。暗電流と電荷転送効率に影響を及ぼします。フォトダイオードからCCDへの転送効率(ラグ)と、CCDレジスタ自体の内部転送効率(CTE)の両方が関係します。実際のところ、SUB電圧が20 V未満の場合はいかなる照度条件でも損傷を与えません。ただし、電子シャッタの電圧要件がおよそ30~50 Vの場合、高輝度照明条件時にこの電圧レベルが印加されると損傷が生じる可能性があります。

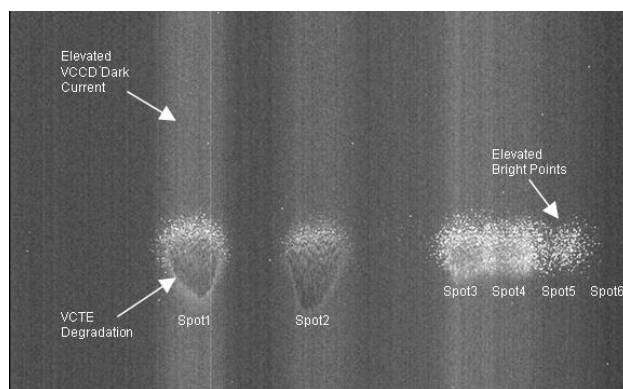


Figure 3. Examples of Damage to a KAI-16000 Image Sensor due to Bright Spot Exposures

Figure 3に、KAI-16000イメージ・センサを使用してこれらのポイントの例を示します。ここでは、テスト機器として35 mmフォーマットのデバイスを使用しました。この例では、デバイスのアレイ内の異なる部位に高輝度の光スポットが数回照射され、同時に50 Vの電子シャッタ・パルスが繰り返し印加されました。ここに掲載している画像は、フラット・フィールド露出を選択した後、画像加工を行って明暗比を強調したものです。

Spot1とSpot2は、露出イベントを実施した後、Rpが最大値であるアレイの中心部付近で生じた変化を示しています。これらのスポットでは、フォトダイオード暗電流と読み出し暗電流の値が大きくなっていること、またCTEでの最悪の劣化を示しています。Spot3からSpot6はアレイの端部付近に位置しており、上記と同じ露出条件を適用した場合でも、損傷が徐々に少なくなっている状況を示しています。一般的に、高いSUB電圧での露出イベントを繰り返すと、センサで観察される性能は継続的に低下します。

推奨動作ガイドライン

オン・セミコンダクターは、上記の条件下で損傷が発生する可能性を低くするのに役立つ動作ガイドラインを作成しました。

1. 規定最小シャッタ電圧を使用します。
2. カメラがアイドル・モードのときは電子シャッタを作動させないでください。
3. アイドル・モードで電子シャッタを作動させる必要がある場合は、代わりにレンズのF値を大きく(カメラの絞りを最小に)してください。
4. アイドル・モードで電子シャッタを作動させる必要がある場合、代わりにVCLKSを規定の高レベルに維持してください。
5. レンズの絞り(または他の何らかの方法で照明レベル)を制御する自動露出ルーチンを動作させる場合、可能であれば最初に絞りを最大値に設定しないで、絞りを最小値に初期化し、希望の照明レベルに達するまで絞りを徐々に開く方法で調整を行います。

多くの場合、このような運用により最小限の保護を実現できる可能性があります。極端に高輝度の照明条件下で撮影された画像が提供できる情報は極めて限られているので、カメラ設計者はSUB電流が事前設定レベルを上回っている状況で、電子シャッタの動作を事前に無効にする回路を追加することを検討することもできます。一例をFigure 4に示しますが、カメラのアーキテクチャによっては、類似アプローチの方が適している場合もあります。この例で

は、抵抗R1を流れるSUB電流が0.5 mA付近の場合、電子シャッタ駆動用高電圧パルスがデバイスに印加されるのを論理的に禁止し、様々な条件下で損傷を防止します。V_{Logic}は、カメラのデジタル回路に使用するロジック電源(5 V、3.3 Vなど)を表します。この機能を実装するために追加した回路部品は青で強調表示されています。自動露出システムの一部として、ディセーブル信号を使用することもできます。

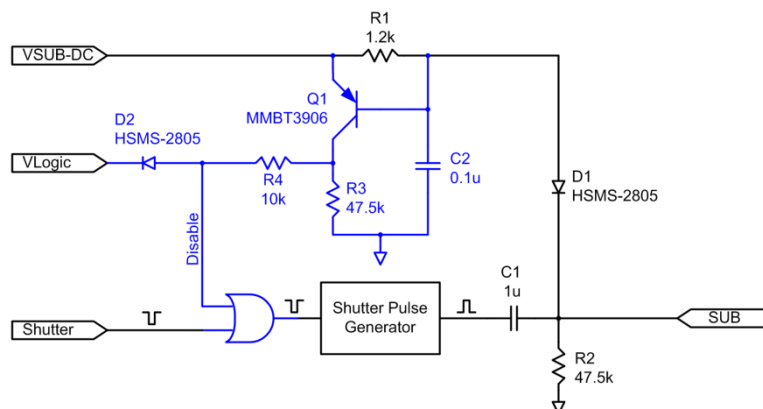


Figure 4. Example Electronic Shutter Disable Circuit

ディセーブル回路をトリガする最大電流は、すでに説明したように多くの要因に依存します。様々なピクセル・サイズを採用した1/2インチから35 mm光学フォーマットまでのセンサ・サイズの特性評価が行われています。結果として得られた損傷閾値は、それぞれ4 mA付近、ないし2.5 mA付近に相当します。したがって、このフォーマット範囲内に収まるオン・セミコンダクターのすべての製品を保護するうえで0.5 mAの閾値を設定すると、十分なマージンを確保できます。0.5 mAのSUB電流が生じる高輝度照明条件下でデバイスをテストしても、スポット・サイズに関係なく、画像の使用可能領域は生成されませんでした。ただし、カメラ設計者は必ず関係する特定の用途に適した閾値を評価する必要があります。

参考資料

- [1] J. Killiany, "Radiation effects on silicon charge coupled devices", IEEE Transactions on Components, Hybrids, and Manufacturing Technology, Vol. CHMT-1, No. 4 (1978).
- [2] Such as found in general home or office controlled lighting conditions.
- [3] Longer (eg NIR, IR) wavelength light also contributes to SUB electron current even if the photodiode capacity has not been exceeded.
- [4] There is a similar parasitic NPN formed to the photodiode but, because there is no overlying gate electrode, it becomes a secondary effect in this situation.
- [5] There is also a resistance for electron current from the photodiode to the SUB pin but it remains constant for all pixel locations and is generally lower than R_p and therefore is not as relevant to this discussion.

ON Semiconductor及びON SemiconductorのロゴはON Semiconductorという商号を使うSemiconductor Components Industries, LLC 若しくはその子会社の米国及び/または他の国における商標です。ON Semiconductorは特許、商標、著作権、トレードシークレット(営業秘密)と他の知的所有権に対する権利を保有します。ON Semiconductorの製品/特許の適用対象リストについては、以下のリンクからご覧いただけます。www.onsemi.com/site/pdf/Patent-Marking.pdf。ON Semiconductorは通告なしで、本書記載の製品の変更を行うことがあります。ON Semiconductorは、いかなる特定の目的での製品の適合性について保証しておらず、また、お客様の製品において回路の応用や使用から生じた責任、特に、直接的、間接的、偶発的な損害など一切の損害に対して、いかなる責任も負うことはできません。お客様は、ON Semiconductorによって提供されたサポートやアプリケーション情報の如何にかかわらず、すべての法令、規制、安全性の要求あるいは標準の遵守を含む、ON Semiconductor製品を使用したお客様の製品とアプリケーションについて一切の責任を負うものとします。ON Semiconductorデータシートや仕様書に示される可能性のある「標準的」パラメータは、アプリケーションによっては異なることもあり、実際の性能も時間の経過により変化する可能性があります。「標準的」パラメータを含むすべての動作パラメータは、ご使用になるアプリケーションに応じて、お客様の専門技術者において十分検証されるようお願い致します。ON Semiconductorは、その特許権やその他の権利の下、いかなるライセンスも許諾しません。ON Semiconductor製品は、生命維持装置や、いかなるFDA (米国食品医薬品局)クラス3の医療機器、FDAが管轄しない地域において同一もしくは類似のものと分類される医療機器、あるいは、人体への移植を対象とした機器における重要部品などへの使用を意図した設計はされておらず、また、これらを使用対象としておりません。お客様が、このような意図されたものではない、許可されていないアプリケーション用にON Semiconductor製品を購入または使用した場合、たとえ、ON Semiconductorがその部品の設計または製造に関して過失があったと主張されたとしても、そのような意図せぬ使用、また未許可の使用に関連した死傷等から、直接、又は間接的に生じるすべてのクレーム、費用、損害、経費、および弁護士料などを、お客様の責任において補償をお願いいたします。また、ON Semiconductorとその役員、従業員、子会社、関連会社、代理店に対して、いかなる損害も与えないものとします。ON Semiconductorは雇用機会均等/差別撤廃雇用主です。この資料は適用されるあらゆる著作権法の対象となっており、いかなる方法によっても再販することはできません。

PUBLICATION ORDERING INFORMATION

LITERATURE FULFILLMENT:

Literature Distribution Center for ON Semiconductor
19521 E. 32nd Pkwy, Aurora, Colorado 80011 USA
Phone: 303-675-2175 or 800-344-3860 Toll Free USA/Canada
Fax: 303-675-2176 or 800-344-3867 Toll Free USA/Canada
Email: orderlit@onsemi.com

N. American Technical Support: 800-282-9855 Toll Free
USA/Canada
Europe, Middle East and Africa Technical Support:
Phone: 421 33 790 2910
Japan Customer Focus Center
Phone: 81-3-5817-1050

ON Semiconductor Website: www.onsemi.com

Order Literature: <http://www.onsemi.com/orderlit>

For additional information, please contact your local Sales Representative