

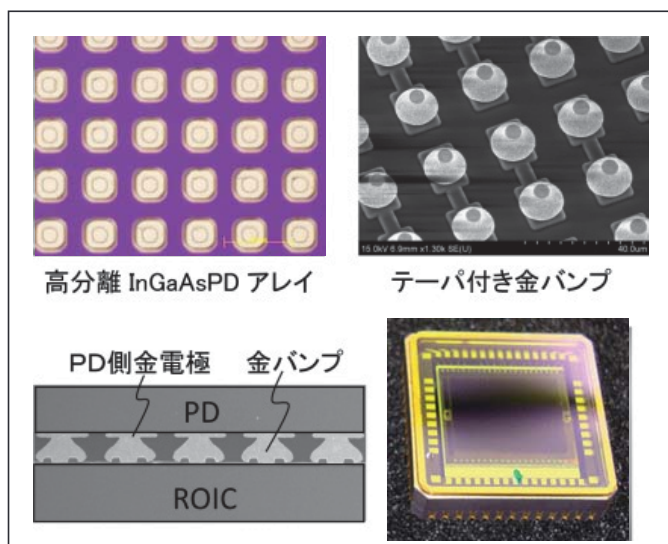
高解像度、広ダイナミックレンジ USB3 Vision対応 InGaAs近赤外カメラ

アイアールスペック株式会社 / 小倉睦郎、西田克彦、村井博信

本稿では、N-well画素分離構造、微細金バンプ接合、太陽電池モードなどの新規技術を適用し、高解像度、高信頼性および広ダイナミックレンジ特性をもつ、USB3 Vision対応InGaAs近赤外カメラを紹介する。

1 はじめに

波長1~2 μ mの赤外波長でのセンシング技術は、透過性に優れ、水や脂質の認識が可能なことから、環境モニタリング、生体認証、セキュリティ、異物検査、無侵襲診断など農業、工業および医療分野に様々な応用が期待される。但し、シリコン撮像素子の感度は波長950nm程度が限界であるため、①化合物半導体フォトダイオード (PD) アレイと、②シリコン読み出しIC (ROIC) を、③画素レベルで高密度にバンプ接合したハイブリッド赤外撮像素子を開発する必要がある。



当社では、個々の要素技術における技術革新の成果をいち早く取り込むことにより、高性能赤外イメージングシステムを低コストで実現することを目指している。

2 ハイブリッド赤外撮像素子に導入した新規技術

2.1 先鋭化金バンプによる高密度接合技術

図1は、アイアールスペック社製NVU3型赤外カメラに使用した高分離InGaAs-PD (フォトダイオード) アレイ (左上)、テーパ付き金バンプ (右上) および金バンプ接合後の断面写真 (左下) を示す。常温において表面を清浄化された金バンプを加圧しつつ、横滑り方向に超音波振動を与えることにより、対向する金電極との境界が判別できないほど強固な接合が形成されている。従来の接合では、Inバンプが一般的であるが、金を用いることにより酸化しにくいいため、劣化がなく、振動・衝撃にも強い。また金バンプは、さらなる微細化が可能であるため、イメージセンサの狭ピッチ化も可能になる。

図1 VGA (640×520画素) InGaAsカメラ用15 μ mピッチ高密度金バンプの常温超音波接合断面図とペルチエ冷却パッケージ

さらにベルチエ冷却素子をセラミックパッケージと一体化することにより、コンパクトなチップ冷却機構を備えている。

2.2 N-Well型高分解能PDアレイ

図2に従来のプレーナ型PDアレイとN-Well型PDアレイの模式図を示す。従来の化合物半導体PDアレイを用いた光撮像素子は、セル間に光生成キャリアの横方向拡散を遮るポテンシャルバリアがないため、比較的強い電界により、キャリアを電極方向にドリフト移動させる必要がある。そのため、逆方向バイアスを大きく取る必要があり、雑音源となる暗電流の増大や信頼性の低下を招いていた。また、順方向バイアスでは、キャリアが流出するので、画素間の分離ができない。そこで当社は、Zn拡散層をPDセルの周囲に巡らせることにより、暗電流の抑制とポテンシャルバリアによる素子分離特性の向上を実現した。横方向にNPN接合が形成され、物理的な溝なしにキャリア分離構造が実現しているため、図3に示すように、画素分離特性は、従来のプレーナ型PDアレイに比べて遙かに優れている。

電流(I)とバイアス電圧(V)には、下記の関係があるため、光励起電流の対数がPDの端子電圧となる。

$$I \propto \exp(-qV/kT) \rightarrow V \propto \log(I)$$

従来のPDアレイでは、順方向バイアス条件においては、光励起キャリアは自由にチップ全体に拡散するため、対数モードとなる零～順方向バイ

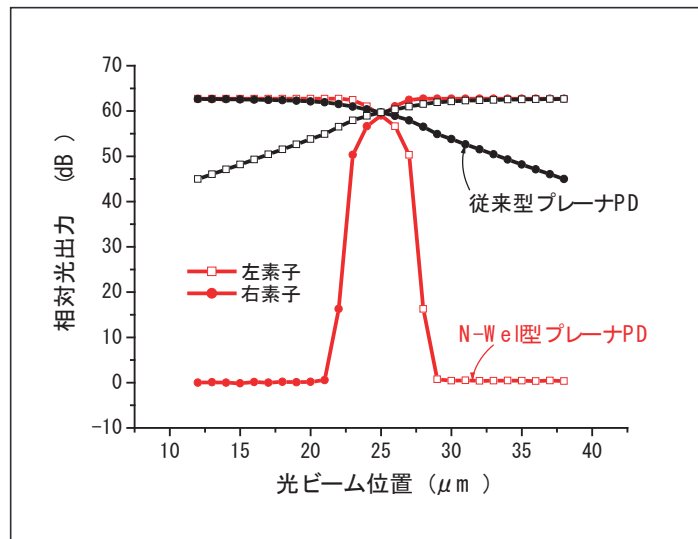


図3 逆バイアス(-2V)下でのプレーナ型およびN-Well型PDの素子分離特性(シミュレーション)

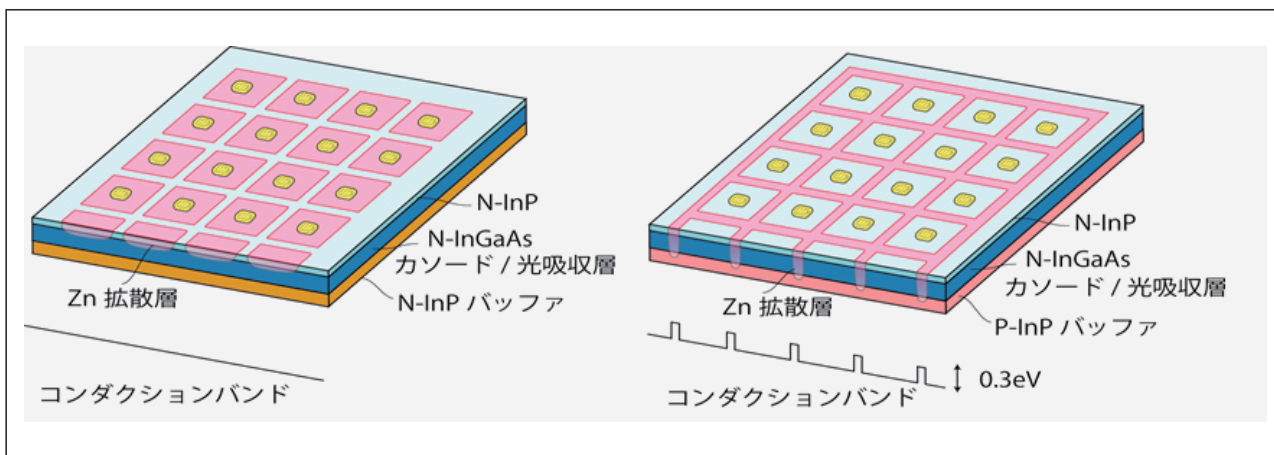


図2 プレーナ型(左)とN-Well型(右)2次元アレイの模式図

N-Well型では、物理的な溝なしに素子分離特性が確保できる。

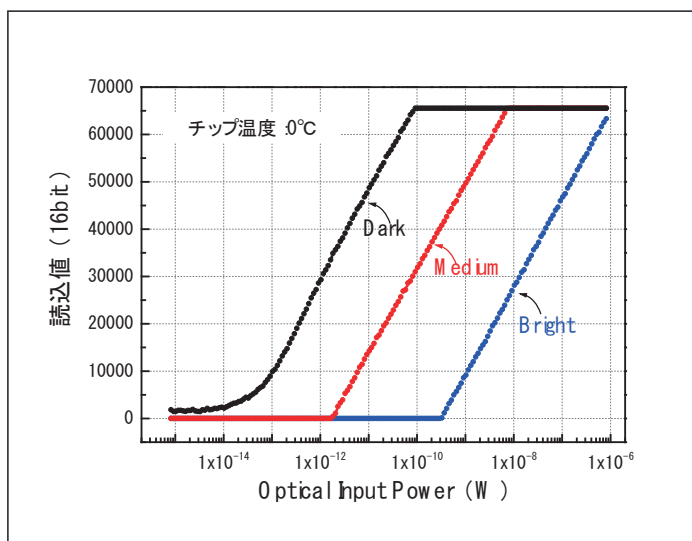


図4 InGaAs 赤外カメラの入力光強度とビデオ出力
PDのバイアス電圧やビデオアンプ利得を選択することにより、8桁以上のダイナミックレンジが得られる。

アス下での使用は困難であった。一方、N-Well型では、順方向バイアス下でも素子分離が可能となり、図4に示すように、バイアス条件を逆バイアスから順バイアス条件に移行させることにより、10fWから1 μ Wと8桁に及ぶダイナミックレンジを確保することが可能になった。

さらに、産業カメラとして標準フォーマットのひとつであるUSB3 Vision規格に対応することにより、可視カメラを含めた数台のカメラを同一ハブ上に接続することが可能となり、照明装置を含



図5 ペルチエ冷却付き InGaAs 赤外カメラ
フレームレート 60fps、USB3 Vision 適合。
50mm×100L 400g 波長感度900~1600nm、
最小感度10fW/pixels@1550nm。

めたマルチスペクトラム撮像システムの構築が容易となる(図5)。

3 InGaAsカメラの応用例、適用分野

3.1 水分検出/マルチスペクトラムイメージング

図6は、水と灯油を入れたサンプルの可視および赤外波長における画像の変化を示す。

水は、波長1,450nm付近で吸収効果が大きくなるため、水と灯油の識別や、肌の保湿状態、内蔵臓器の識別に有効である。撮像シーケンスに同期して可視から赤外波長のLED照明を行うことにより、ロバストなマルチスペクトラムイメージングシステムを構築することができる。

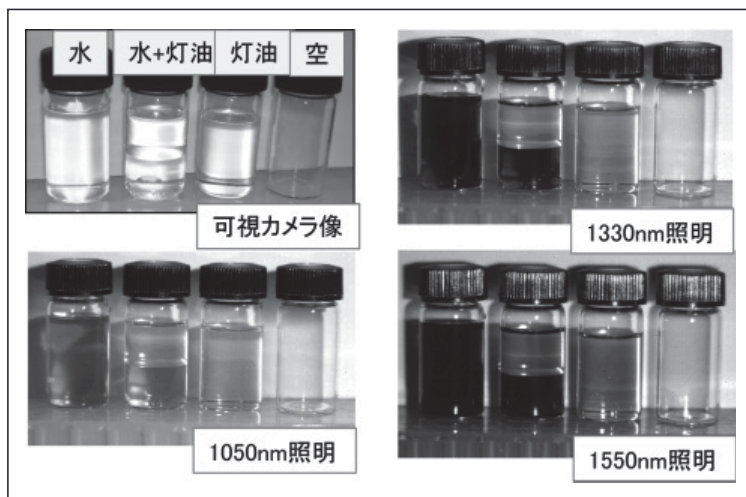


図6 マルチスペクトラム赤外イメージングによる水と灯油の色調変化

可視カメラ像や波長1050nmのLED照明下では、水も灯油も透明であるが、1,450nm付近に水の吸収があり、1,330nmおよび1,550nmのLED照明下は水が黒く見える。

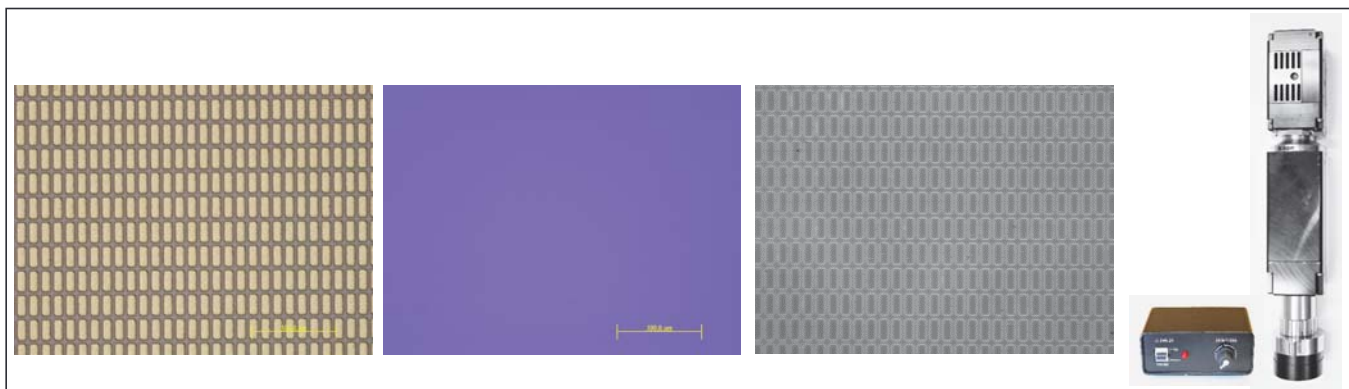


図7 シリコン基板上の金属電極(9×24 μm)の顕微鏡像
左(表面可視像) / 中(裏面可視像) / 右(リング照明による裏面赤外像、1,450nm)

3.2 透過アライメント／半導体製造機器

図7は、電極パターン付きシリコンウエハを裏面から観察した赤外顕微鏡像を示す。ドーナツ型レンズを用いて、波長1,450nmのLED光を、シリコンウエハに斜め方向から照射することにより、迷光の少ない鮮明な画像が得られている。ドーピングされたシリコン基板の場合、シリコン撮像素子で観察することは困難であるため、InGaAs系赤外カメラのチップ接合装置やダイシング装置のアライメント機構への応用が期待される。

3.3 太陽電池欠陥検査

太陽電池は、順方向にバイアス電流を加えると、赤外発光する(エレクトロルミネセンス)。この現象を応用すると、太陽電池の品質管理や故障解析を行うことができる。図8は、ポリシリコン太陽電池に順方向バイアス電流を加えたときの発光パターン(EL)像である。ポリシリコンの結晶粒界やクラックに対応してEL光の強度が低下している。製造過程のみならず、設置後の太陽電池パネルの評価が可能であるため、フィールド検査・保守に有効である。

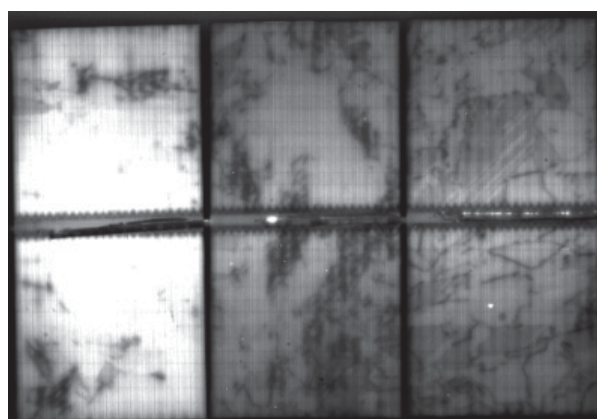


図8 太陽電池の赤外発光パターンによる欠陥像

4 まとめ

以上、高感度かつ高解像度の産業用赤外カメラを紹介した。また、様々な赤外画像計測のニーズに応えるため、多色赤外LEDストロボ照明装置、赤外マイクロSCOPE撮像装置、可視カメラ連動システムなども準備しており、撮像目的に合わせたソフトの開発、提供も行っている。

☆アイアールスペック株式会社

TEL. 029-859-6910

FAX. 050-6861-1141

E-mail : cs@irspec.com

http://www.irspec.com/

