

McLean ゼミ資料 pp.393–402

天文学科 4 年 山口淳平
(学生証番号 05-142009)

2015 年 6 月 9 日

11.3 INFRARED ARRAY DETECTORS

11.3.1 The infrared “array” revolution, *déjà vu*

赤外線アレイ検出器は 1974–1984 年にかけて開発が進められ、検出器の材質として様々なものが試された。以下に教科書に示されている例を列挙する。

- InSb モノリシック赤外検出器 (Koch *et al.*(1981))
- PtSi ショットキーバリア赤外線検出器 (Kosonocky *et al.*(1981))
この検出器はショットキーバリア効果を用いている。ショットキーバリア効果は、金属と半導体を接触させたときに金属から半導体への電子の移動は起こるが逆方向への移動は起こらなくなるという効果のことで、これを利用して光電効果により金属表面から半導体側に出てきた電子を集めて光を検出する。
- 32 × 32 画素 HgCdTe アレイ検出器 (Baker *et al.*(1981))
- シリコン CCD 上に構成された HgCdTe, InAsSb によるハイブリッドアレイ (Rode *et al.*(1981))

当時の技術で実現できたのは 32 × 32 ピクセルの検出器が限度であった。

11.3.2 The hybrid structure

赤外線検出器は内部光電効果によって光を電荷に変えた後、以下のことができる必要がある。

- 電荷を各ピクセルに貯める
- 各ピクセル上の電荷を一つの出力口まで運ぶ
- 電荷を電圧値として取り出せるようにする

この機能は CCD と似たようなものであるが、検出器の材質がシリコンではないためこれを実現するのは非常に難しい。そのため、“ハイブリッドアレイ”が開発された。

ハイブリッドアレイでは赤外線の検出部とシリコンでできた電荷を読み出す部分が分かれており、上層が検出部、下層が読み出し部となっている。2つの層の間にはインジウムでできた“バンプ”と呼ばれる小さな部品が各ピクセルごとに挟まっていて電氣的に接続されている。また、バンプの間の隙間はエポキシ樹脂で埋められている。検出部で生じた電荷の読み出しには MOSFET によるスイッチ回路が用いられている。この全体の構造のことを“focal plane array (FPA)”または“sensor

chip assembly (SCA)”と呼び、スイッチ回路の部分のことを“readout-IC (ROIC)”と呼ぶ。

最初、電荷の読み出しには2つの方法が考えられた。1つはそれぞれのピクセルを順番に読み出すもので、CMOS センサに用いられている。もう1つは、それぞれのピクセルを自由に読み出せる、“direct readout (DRO)”と呼ばれるもので、使い勝手が良いが回路が複雑になりやすいという欠点がある。

赤外線アレイ検出器は CCD と明確に区別される必要がある。例えば、CCD はサチュレーションをしたピクセルと同じ列のピクセルに光が滲み出す特性 (スミア) があるが (図 1)、赤外線アレイではこれは起こらない。一方、CCD で可能なビニングや電荷のピクセル間の移動は不可能である。



図 1 スミアの発生例。

赤外線検出器の検出器のプロセスは以下のようになる。

1. 光電効果によって電子-ホール対が生成される。
2. 電場によって電子とホールが分かれる。
3. 電子が接合部を越えて移動すること (光電流) で逆バイアス電圧が減る。
4. 蓄えられる電荷の数は $Q = CV/e$ で与えられる。(e は素電荷、 V は検出器端子間の電圧、 C は静電容量。)
5. それぞれの検出器はソースフォロワ回路に接続されており、 $V_{\text{out}} = A_{\text{SF}}V_{\text{in}} \sim 0.7V_{\text{in}}$ 程度の出力電圧が得られる。
6. ソースフォロワでの出力電圧は、入力された電荷に影響を与えることなく読み出すことができる。
7. 読み出しが終了するとダイオード間の電圧はもとの逆バイアス電圧までリセットされる。

リセットの動作はソースフォロワとは異なる FET のスイッチ動作によって実現される。

MUXの内部回路

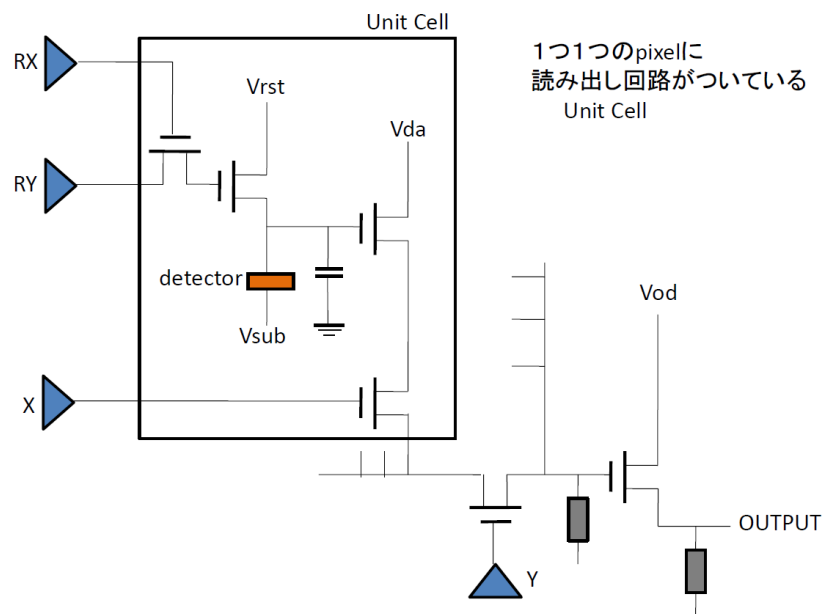


図2 赤外線アレイの単位セルに組み込まれたスイッチ回路 (天体観測学の宮田先生のスライドより)。

11.3.3 Photovoltaic devices

Photovoltaic (PV) 素子の一例として、まず HgCdTe を用いた素子が挙げられる。この素子は、まずサファイア基板の上に有機金属気相成長法 (MOVPE) により CdTe の層を作り、その上に液相エピタキシ法 (LPE) によって HgCdTe の層を成長させることで作られる。赤外線はサファイア基板の層を通して入射する (図 3)。

HgCdTe は Hg と Cd の割合によって感度を有する波長を変化させることができる。表 1 に $\text{Hg}_{1-x}\text{Cd}_x\text{Te}$ の x の値に対するバンドギャップ E_G とカットオフ波長 λ_c の値を示す。

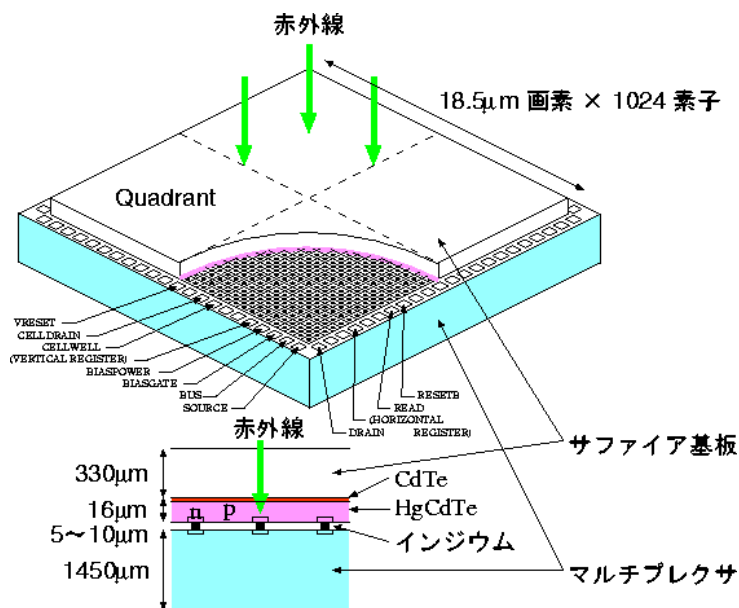


図 3 HgCdTe を用いた素子の構成。(引用元 : <http://www.kusastro.kyoto-u.ac.jp/~iwamuro/LECTURE/OBS/detector.html>)

x	E_G [eV]	λ_c [μm]
0.196	0.09	14
0.295	0.25	5
0.55	0.73	1.7

表 1 $\text{Hg}_{1-x}\text{Cd}_x\text{Te}$ の x の値に対する E_G , λ_c 。

11.3.4 Impurity band conduction devices

長波長 (中間赤外線、遠赤外線) の検出器では適当なバンドギャップを持つ結晶が無い場合不純物準位を利用したフォトコンダクターを用いていたが、フォトコンダクターはフォトダイオードに比べて不利な点が多い。例えば、不純物の量を多くすると不純物同士の電子のやりとり (“hopping”) により暗電流が大きくなってしまふ。また、量子効率を高くするには不純物を添加した層 (“infrared active layer”) を厚くする必要があるが、それにより宇宙線の影響を受けるようになる。

これを克服するために作られたのが BIB (Blocked Impurity Band)、または IBC (Impurity Band Conduction) である。これは、不純物を添加した層の上に純粋な結晶の層 (ブロック層と呼ばれる)

を重ねることにより、暗電流をブロック層で止められるようにしたものである。この構造では高い量子効率を実現しながら検出器全体を薄くすることができるため、宇宙線の影響も小さくなる。

8.3.3 Impurity Band Conduction detector

Impurity Band Conduction = IBC

別名でBlocked Impurity Band (BIB) detector
とも呼ばれるが、BIBは登録商標である

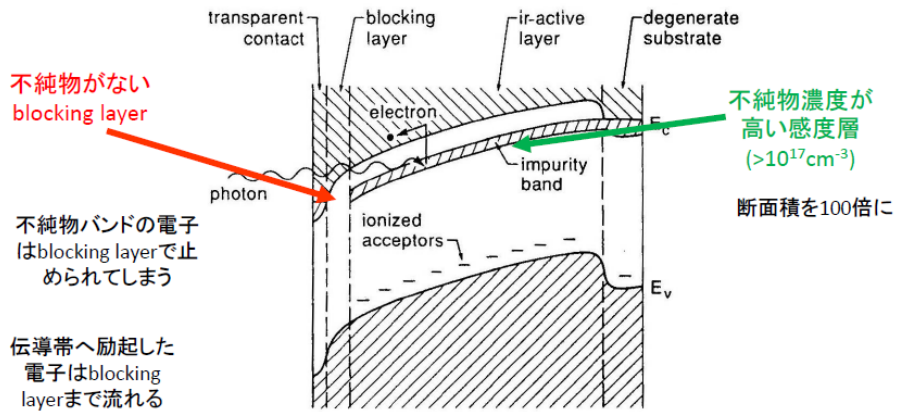


図4 BIB構造の概要。(天体観測学の宮田先生のスライドより)