

*TEC-LESS OPERATION  
OF ULIS UNCOOLED DETECTORS*



目次

1. はじめに .....	3
2. 参考資料 .....	3
3. ULIS のアモルファスシリコン IRFPA の TEC-LESS オペレーション .....	3
3.1 はじめに .....	3
3.2 Tint, GFID, VSK 調節 .....	3
3.3 TEC-less モードの操作 (例) .....	5
3.4 将来にむけて開発と見通し .....	6
4. 応用例 .....	6
4.1 実験セットアップ .....	6
4.2 実験テスト .....	6
5. さいごに .....	9

## 1. はじめに

このテクニカルデータシートは、FPA 温度コントロールのない ULIS マイクロボロメーターを操作するための情報を与えることを目的としています。本書は、熱電気モジュール (TEC) が埋め込まれた製品も含み、すべての ULIS 製品に適用します。本書に含まれるデータは、情報目的のみを意図しています。本書の受取で行なわれるここに含まれるデータに基づくどのような決定に関しても ULIS が責任を負わせられることはないとは明確に判断したときに本書を提供します。このテクニカルノートは、下記の資料[1]に対する補足として使用してください。

## 2. 参考資料

[1] Technical note: “External offset and gain adjustment”, Reference: NT04 173-1

## 3. ULIS のアモルファスシリコン IRFPA の TEC-LESS オペレーション

### 3.1 はじめに

ULIS のマイクロボロメーターは、アモルファスシリコンの感度の良い膜から作られています。アモルファスシリコンは、以下のアレニウスの法則に従って温度と共に抵抗が変化する半導体です。

$$R(T)=R_0 \cdot \exp(-E_a/KT) \quad [1]$$

ここでの  $R_0$  は、アモルファスシリコン電気特性(ドーピングレベル) と抵抗幾何学に依存する名目上の抵抗を示し、また  $E_a$  は充電輸送の活性化エネルギー(in eV)、 $K$  はボルツマン定数、 $T$  は絶対温度をそれぞれ示しています。

アモルファスシリコン非冷却 IRFPA 技術の利点は、拡大する構成から完全にフリーにあることです。その結果として、ウェハーを越えて広がる活性化エネルギーはありません。従って、あらゆるピクセルの  $R(T)$  挙動は非常に均一です。ピクセル間の差は主に温度から独立している  $R_0$  幾何学差から来ています。

### 3.2 Tint, GFID, VSK 調節

非冷却マイクロボロメーターアレイは、内部カメラ放射熱 ( $T_{camera}$ ) や FPA 温度 ( $T_{FPA}$ ) と同様にシーン放射熱 ( $T_{scene}$ ) に敏感です。マイクロボロメーターの感度は GFID 値、VSK 値あるいは Tint 値だけでなく  $T_{FPA}$  にも依存します。例として、室温での温度変動への検出器出力 DC レベルの感度は、 $T_{scene}$  については +3 から +15 mV/K で変動し、 $T_{camera}$  変動については +15 から +60 mV/K です。一方で、 $T_{FPA}$  変動への感度は負となります (おおよそ -40 mV/K) (図 1 参照)。

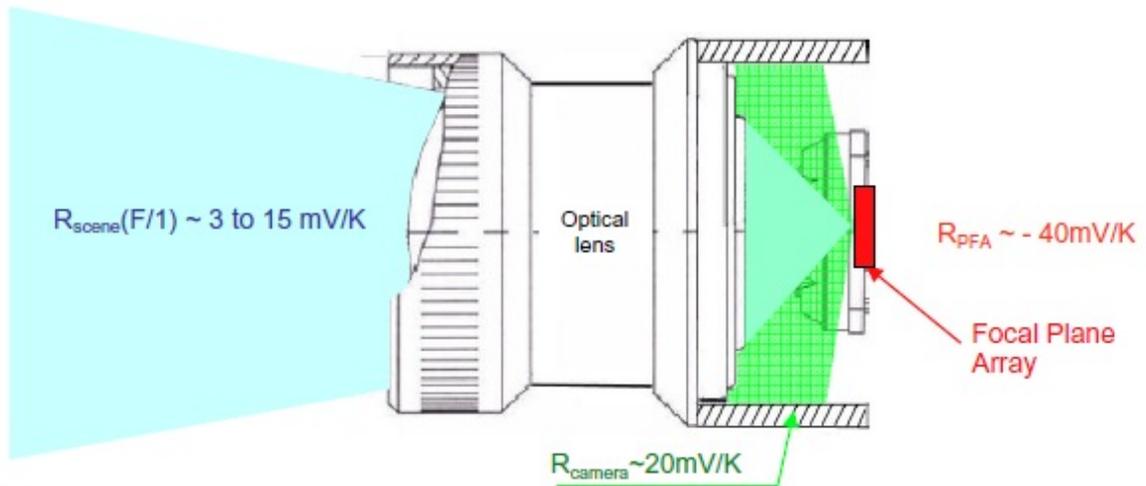


Figure 1: Schematic view of the detector sensitivities to heat sources

結果として、TEC-less モードで検出器を操作するために重要である広いフォーカルプレーン温度範囲内において出力 DC レベルのどんな集中からもフリーにあるために  $GFID$ 、 $VSK$  あるいは  $T_{int}$  の調整が必要です。図 2 では出力 DC レベルに対するフォーカルプレーン温度への  $VSK$  調整の重要な影響を示しています。

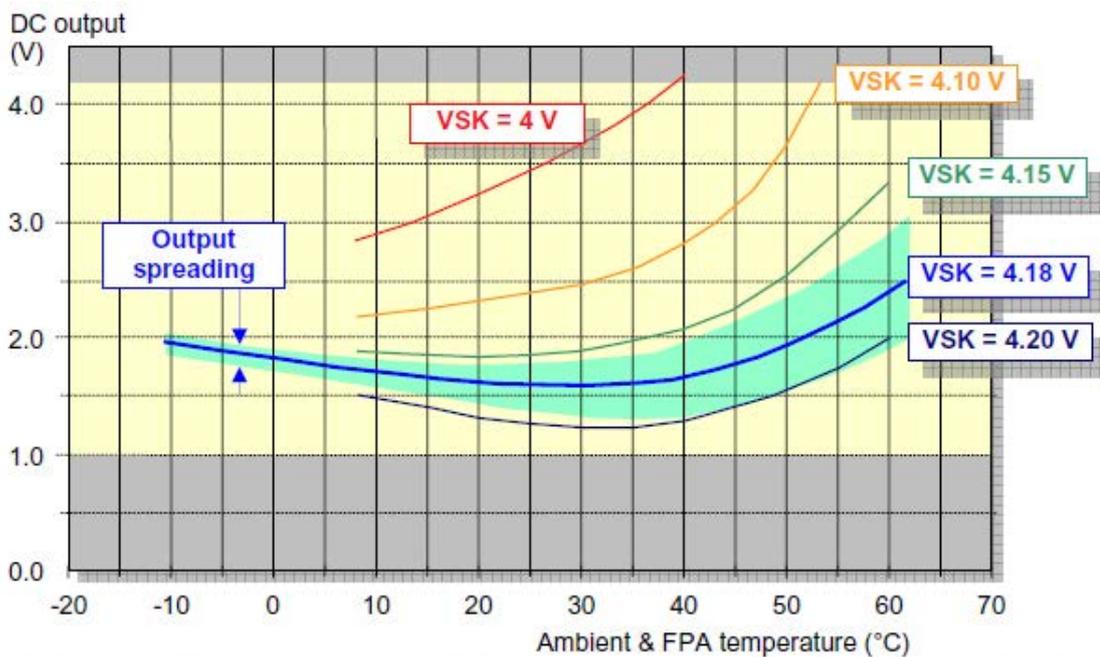


Figure 2: DC level variation in TEC-less mode for UL 02 15 2 for different  $VSK$

青い陰影の領域は、DC 出力分散に対応しています。温度上昇と共に減少するマイクロボロメーター抵抗のために、分散はより高い温度において増大します。

TEC-less モードにおいて、通常  $T_{FPA}$  と  $T_{camera}$  はシーン温度と同様にリンクされている

ので注意してください。

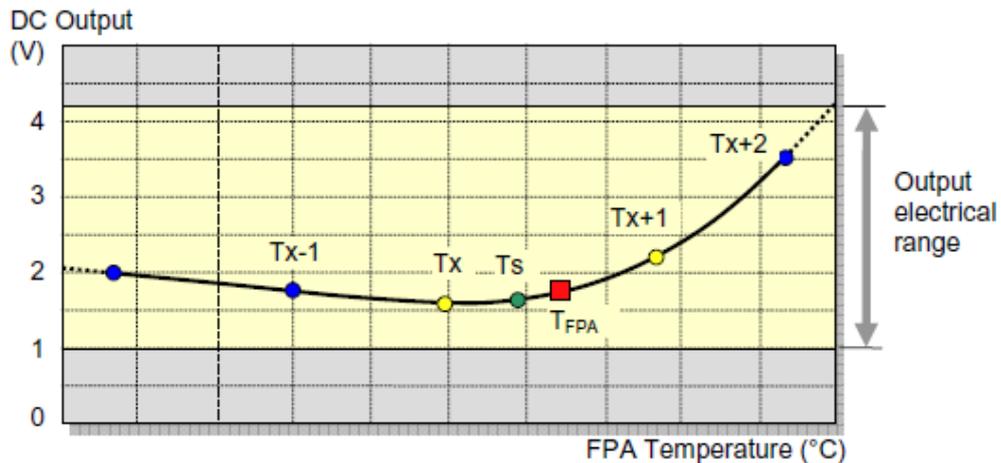
検出器を調整するのに容易な方法として、出力 DC レベルの最小を 1.5V 近くにします。この最小値は  $VSK$  を調節することでだいたい 30°C で達します。

### 3.3 TEC-less モードの操作 (例)

はじめにすることは、不均一なゲインとオフセットテーブル ( $NUC_{T1}$ ,  $NUC_{T2}$ ,  $NUC_{T3}$ , ...) を取得するために、異なるフォーカルプレーン温度について検出器を補正し、そしてどんな中間フォーカルプレーン温度についてもテーブル ( $NUC_T$ ) を計算することです。補正  $NUC$  テーブルの数はシステム規定に依存しています。

*TEC-less* 操作は、 $NUC$  テーブル間の直線補間を用いた  $NUC_T$  計算によって可能になります。つまり、ゲイン係数に関する  $NUC_{Tx}$  と  $NUC_{Tx+1}$ 、オフセット係数に関する  $NUC_{Tx}$ 、シャッター ( $T_s$ )、 $NUC_{Tx+1}$  間の多項式補間です。オフセット係数が空間ノイズを低く保つあるいは実際のノイズに等しくするのに、直線補間はしばしば正確性に欠けます。従って、3つ目のオフセット補正テーブルは、二次補間法を可能にする  $T_x < T_s < T_{x+1}$  の条件をもつ温度  $T_s$  でのシャッターで得られます。

下の図は、 $T_{FPA}$  でのゲイン直線補間に用いた2つの  $NUC$  係数テーブル  $T_x$  と  $T_{x+1}$  の位置と、 $T_{FPA}$  でのオフセット二次補間に用いたオフセット係数テーブル  $T_x$ 、 $T_s$ 、 $T_{x+1}$  の位置を示しています。



**Figure 3: Example of TEC-less strategy**

固定パターンノイズ ( $FPN$ ) が rms ノイズよりも高く始まる時、新たな計算は行なわれません。このアルゴリズムは、最大限の  $T_{FPA}$  レンジをカバーするために1組のバイアスを記しています。しかしながら、より要求の多いアプリケーションに関して、温度レンジは、2組 (もしくはそれ以上) のバイアス条件を持つ2つ (もしくはそれ以上) のレンジ (例えば

-40°Cから 0°C、そして 0°Cから 70°C)で分かれることが明らかです。  
 $T_{FPA}$  温度が  $T_{x+1}$  に非常に近づくとき( $T_{FPA}$  が増大するとき)、補間精度は減少します。  
 従って、 $T_{x+2}$  テーブルに切り替えることと、 $T_x$ 、 $T_s$  と  $T_{x+2}$  で計算することが簡単になります。  
 シャッター温度  $T_s$  が温度  $T_{x+1}$  より高いとき、テーブル  $T_x$  はテーブル  $T_{x+1}$  に置き換えられます。

### 3.4 将来にむけて開発と見通し

補正フェーズ所要時間を減少させるために、開発中の解決策は、はじめにピクセル挙動に対する  $T_{FPA}$  と  $T_{camera}$  を設計し、次に、これまでの補間測定の使用に代わり  $NUC_T$  についてのモデルを適用することです。

## 4. 応用例

### 4.1 実験セットアップ

図4は、 $\alpha Si:H$  TEC-less アルゴリズムを開発しテストするためのテストベンチのセットアップを示しています。検出器、機械的/光学的ハウジング、黒体は、-40°Cから+80°Cに制御された温度の気候室に配置されています。黒体は、感度を決定するために検出器の前にくるように滑動ツール上に据え付けられます。機械的なダイアフラムは光学的口径を  $f/1$  に制限しています。

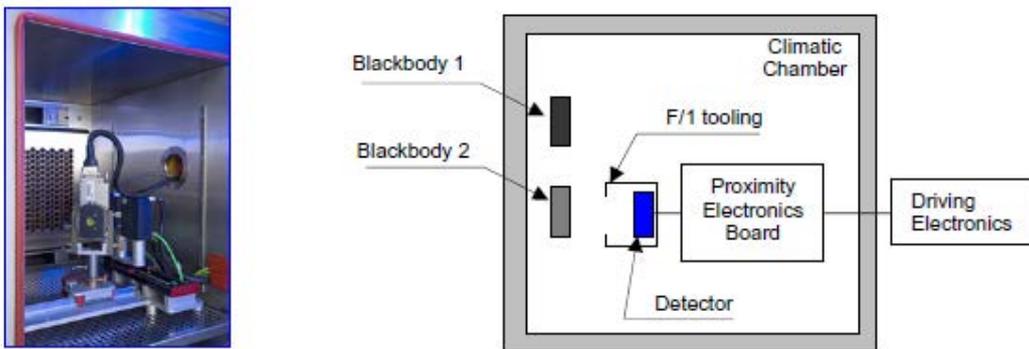


Figure 4 : Experimental setup schematic

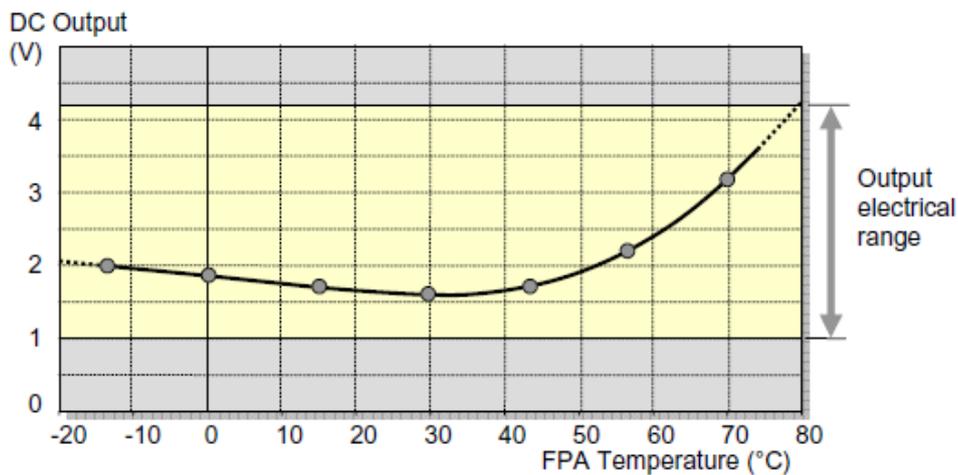
### 4.2 実験テスト

$GFID$  と  $Tint$  調節は従来のように ([1]参照) 2 段階で行なわなければなりません。つまり、最初に、場面ダイナミックレンジとアプリケーションに必要な  $NETD$  とに従って  $GFID$ 、 $Tint$ 、クロック・・・を調節すると、正しい  $VSK$  値がわかります。 $FPA$  温度 30°Cにおいて、平均出力 DC レベルが 1.5V 近傍であるように  $VSK$  を調節することが可能です。  
 検出器は、気候室内の2つの黒体を使った異なる安定化環境温度で初期に記録している不均一係数( $NUC$ )テーブルによって補正されています。テーブルの数はシステ

ム要件に依存します。私達の実験においてNUCテーブルは周囲温度15°Cの段階で記録されています(図5で示されている丸点)。

いったんこの補正フェーズが完了され、そしてアルゴリズムの妥当性をテストするために、周囲温度はいくつかの安定化水平域を含む-15°Cと60°C間の大きな温度振幅をカバーするように設計されたプロファイルにそって動きます(図6参照)。

ある水平から次の水平への傾斜上昇と冷却は1分あたり1.5°Cでプログラムされています。気候室設定値とFPA実際温度間でのタイムラグは、周囲からFPAの内部への熱伝導のイメージです。水平温度相殺はROICの自己熱分散から起きます。



**Figure 5: DC output level as a function of environmental temperature**

検出器はテスト中定温(40°C)で黒体に面しています。固定パターンノイズ(FPN)は5分毎に測定されます、そして、シャッターは15分毎に作動します。システム要件によって、シャッター発動戦略が適合されるのに注意してください。ULISの例では、シャッターは15分毎に作動します。もう一つの可能性として、環境温度が与えられた値以上にシフトするごとにシャッターが作動します。



**Figure 6: Temporal temperature cycle throughout the TEC-less test**

それぞれのシャッター作動は、新しいNUCオフセットテーブル( $T_s$ )を与え、そしてそれは二次補間アルゴリズムを経て次の不均一修正計算にそなえて記憶されます(関連したこれまでのFPA温度: $T_x$ で)。各ピクセルに関するこのアルゴリズムは、実際のFPA温度周辺にある2個の初期オフセット補正テーブル間の放物線オフセット補間と最終のシャッター作動オフセットテーブルを計算します。

図7は、時間におけるrmsノイズの進展(左軸)と、テスト中のFPN/rmsノイズ比の挙動(右軸)を示しています。この実験で、新しいNUCテーブルが0.2°C毎に計算されます。また、この値はシステム要件に依存しています。

これらの実験パラメーターに関して、周囲温度の非常に大きな変化にも関わらず、FPNレベルはrmsノイズの近くにあります。FPNは、シャッター作動間でのかなり長い時間(15')を考慮する場合、過度現象中の最後のシャッターオフセットテーブルの適切な進行損失の結果として、斜面期間の間(1.5°C/分)にrmsノイズをオーバーライドする傾向があります。この現象を克服する簡単な方法は、例えばFPA温度率の変化に関係するシャッター作動間の自動調整です。

注意すべきことは、残りのFPNの挙動は、TEC-lessアルゴリズムのリファインメントに大きく依存することです。10個未満のNUCテーブルは、バイアス状態を変えることなく-40°Cから+70°CのTEC-lessモードで検出器を動かすのには十分な数です。

ULISがさらに強調することは、非常に再現可能で均一なアモルファスシリコンの性質は、コンピューターリソースおよび補正持続時間ならびに大規模メモリーデバイスを劇的に保存するので、比較的簡単な補間アルゴリズムですが、有力に用いられるために予測(挙動)数値法の実行に尽くしています(§3.4参照)。

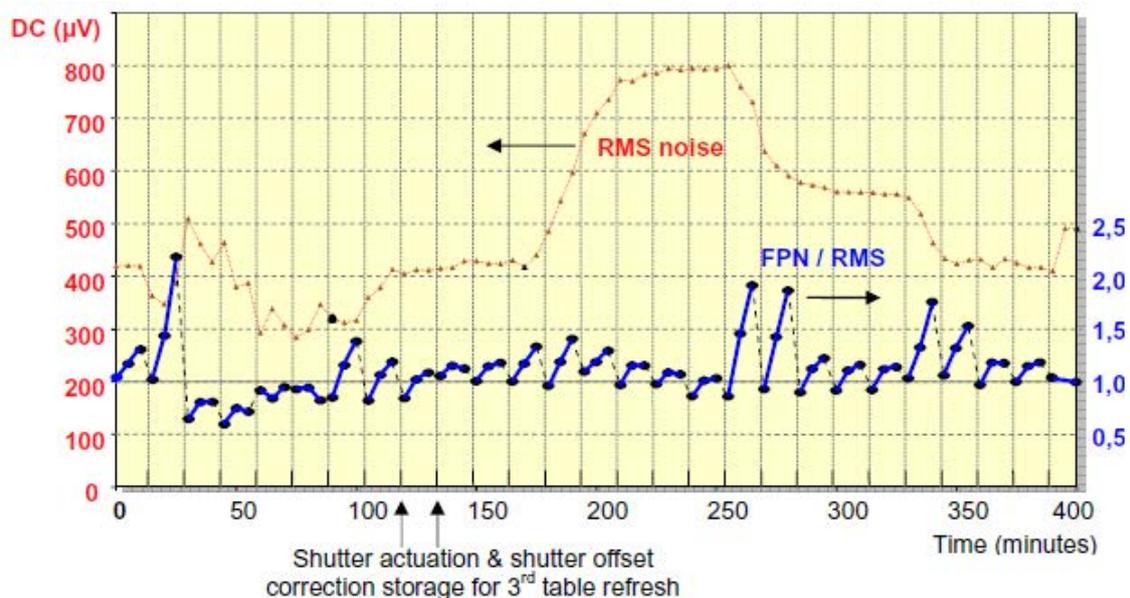


Figure 7: TEC-less algorithm test: rms noise, and FPN/rms noise ratio behaviors

## 5. さいごに

この書は、*FPA*法則(すなわち*TEC-less*モード)なしで検出器を用いるための最初の入門を挙げています。それは情報のためとしてのみに出された例としてみなしてください。フォーカルプレーン温度の進展に関する高均一ピクセルの挙動は、高画質を保つように出力信号を補正するための簡単なアルゴリズムに通じています。この方法の進展は研究中です。