

OPT4001-Q1、高速、高精度、デジタル周辺光センサ

1 特長

- 車載アプリケーション用に AEC-Q100 認定済み:
 - 温度グレード 1 (PicoStar™ バリアント): -40°C ~ 125°C、 T_A
 - 温度グレード 2 (USON バリアント): -40°C ~ 105°C、 T_A
- 機能安全対応**
 - 機能安全システムの設計に役立つ資料を利用可能
- 高速 I²C インターフェイスによる、高精度、高速な光 / デジタル変換
- 高精度の光フィルタリングは優れた近赤外線 (IR) 除去機能により人間の目とほぼ合致
- 片対数出力:
 - 9 つのバイナリ対数フルスケール光レンジ
 - 各範囲内で非常に線形的な応答
- 内蔵の自動フルスケール光レンジ選択ロジックにより、入力光条件に基づいて測定レンジを切り替え、常に可能な限り最高の分解能を実現
- 28 ビットでの実効ダイナミックレンジ:
 - PicoStar™ パッケージ バリアントで 312.5 μ lux ~ 84klux
 - USON パッケージ バリアントで 400 μ lux ~ 107klux
- 12 ステップの構成可能な変換時間:
 - 高速、高精度のアプリケーション向けに 600 μ s ~ 800ms
- ハードウェア同期トリガおよび割り込み用の外部ピン割り込み (PicoStar™ パッケージを除く)
- エラー訂正コード機能を搭載しており、車載用途で信頼性を向上
- I²C バースト読み出し可能な出力レジスタ用内部 FIFO
- 小さい動作電流: 30 μ A
- 超低消費電力のスタンバイ: 2 μ A
- 広い電源電圧範囲: 1.6V ~ 3.6V
- 5.5V 許容の I/O ピン
- I²C アドレスを選択可能
- 小さい外形:
 - PicoStar™: 0.84mm × 1.05mm × 0.226mm
 - USON: 2mm × 2mm × 0.65mm

2 アプリケーション

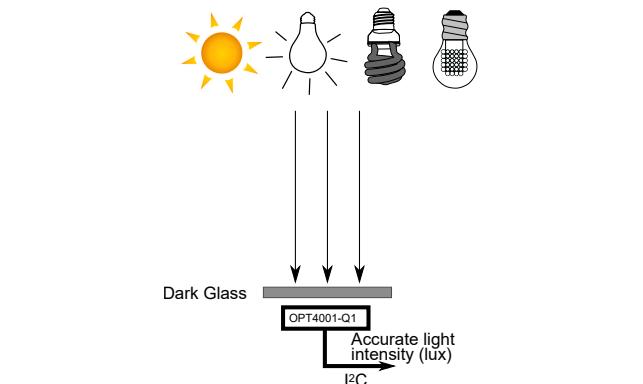
- タブレットおよび電子書籍リーダー
- 診断スキャナ
- EV 充電ステーション
- ビデオ監視
- 車載用車内および車外 照明
- インフォテインメントおよびクラスター
- エレクトロクロマティックミラーとスマートミラー
- ヘッドアップ ディスプレイ (HUD) システム
- 車載用カメラ システム

パッケージ情報

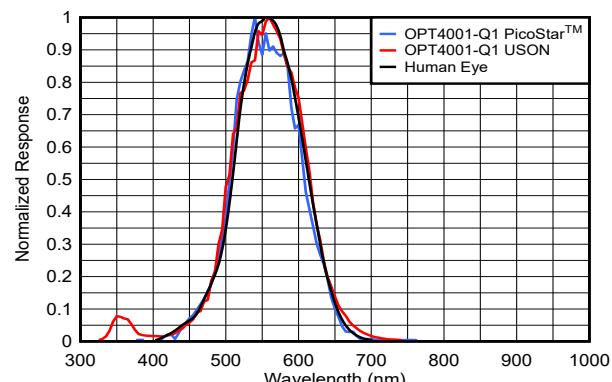
部品番号	パッケージ ⁽¹⁾	パッケージ サイズ ⁽²⁾
OPT4001-Q1	YMN (PicoStar™、4)	0.84mm × 1.05mm × 0.226mm
	DNP (USON, 6)	2mm × 2mm × 0.65mm

(1) 詳細については、[メカニカル、パッケージ、および注文情報](#)をご覧ください。

(2) パッケージ サイズ (長さ × 幅) は公称値であり、該当する場合はピッチを含みます。



OPT4001-Q1 代表的なアプリケーションの図



スペクトル応答：
OPT4001-Q1 と人間の目の比較



このリソースの元の言語は英語です。翻訳は概要を便宜的に提供するもので、自動化ツール（機械翻訳）を使用していることがあります。TI では翻訳の正確性および妥当性につきましては一切保証いたしません。実際の設計などの前には、ti.com で必ず最新の英語版をご参照くださいますようお願いいたします。

3 説明

OPT4001-Q1 は、可視光の強度を測定する光 / デジタル センサ（シングル チップのルクス メーター）です。光の強度を正確に測定するために、本デバイスの特別に設計されたフィルタは、人間の目の明所視応答と厳密に一致し、一般的な光源からの近赤外線成分を除去します。OPT4001-Q1 の出力は、9 つのバイナリ対数フルスケール光レンジを持つ片対数であり、各レンジ内で非常に線形な応答を実現しています。その結果、PicoStar™ バリアントで 312.5 μ lux～84kluxUSON バリアントで 400 μ lux～107klux を測定できます。この機能により、この光センサは、28 ビットの実効ダイナミックレンジにわたって測定が可能です。内蔵の自動レンジ選択ロジックにより、光レベルに基づいてデバイスのゲイン設定が動的に調整されるため、ユーザーの入力なしであらゆる条件下で可能な限り最高の分解能が得られます。

OPT4001-Q1 の工学的光学フィルタは、強力な近赤外線 (NIR) 除去を実現しています。このフィルタは、審美的な理由でセンサを暗色のガラス下に配置した場合に、高い精度を維持するのに役立ちます。

OPT4001-Q1 は、ユーザーの使いやすさ向上のために光レベル検出機能を必要とするシステム向けに設計されており、通常、人間の目との一致度が低く近赤外線除去機能が劣る低精度のフォトダイオード、フォトレジスタ、その他の周辺光センサの代替品として利用できます。

OPT4001-Q1 デバイスは、12 ステップで 600 μ s～800ms の光変換時間で動作するように設定でき、アプリケーションのニーズに応じたシステムの柔軟性を実現します。変換時間には、光の積分時間とアナログ / デジタル (ADC) 変換時間が含まれます。測定の分解能は光の強度と積分時間の組み合わせによって決まり、実質的に、PicoStar™ バリアントでは 312.5 μ luxUSON バリアントでは 400 μ lux までの光の強度変化を測定できます。

柔軟なデジタル動作により、システムの統合が可能です。測定は連続的に行うことも、レジスタへの書き込みまたはハードウェアピン（ハードウェアピンは PicoStar™ バリアントでは使用できません）を使用して 1 回の測定をトリガすることもできます。このデバイスにはスレッショルド検出ロジックが搭載されており、プロセッサはスリープ状態で、センサは適切なウェークアップ イベントが割り込みピンで通知されるのを待機します（PicoStar™ バリアントでは使用できません）。

このセンサは、I²C および SMBus 互換の 2 線式シリアル インターフェイス上の光レベルを表すデジタル出力を報告します。出力レジスタの内部先入れ先出し (FIFO) を使用すると、センサからの測定値を低速で読み出すと同時に、デバイスでキャプチャされたすべてのデータを保持できます。また、OPT4001-Q1 は I²C バースト モードもサポートしており、ホストは最小限の I²C オーバーヘッドで FIFO からデータを読み取ることができます。

OPT4001-Q1 は、低い消費電力と低い電源電圧で動作するので、バッテリ駆動システムのバッテリ動作時間を延長できます。

目次

1 特長.....	1	6.5 プログラミング.....	21
2 アプリケーション.....	1	7 レジスタ マップ.....	27
3 説明.....	2	7.1 レジスタの説明.....	28
4 ピン構成および機能.....	4	8 アプリケーションと実装.....	37
5 仕様.....	5	8.1 アプリケーション情報.....	37
5.1 絶対最大定格.....	5	8.2 代表的なアプリケーション.....	37
5.2 ESD 定格.....	5	8.3 設計のベスト プラクティス.....	41
5.3 推奨動作条件.....	5	8.4 電源に関する推奨事項.....	41
5.4 熱に関する情報.....	5	8.5 レイアウト.....	42
5.5 電気的特性.....	6	9 デバイスおよびドキュメントのサポート.....	47
5.6 タイミング要件.....	8	9.1 ドキュメントのサポート.....	47
5.7 タイミング図.....	8	9.2 ドキュメントの更新通知を受け取る方法.....	47
5.8 代表的特性.....	9	9.3 サポート・リソース.....	47
6 詳細説明.....	12	9.4 商標.....	47
6.1 概要.....	12	9.5 静電気放電に関する注意事項.....	47
6.2 機能ブロック図.....	12	9.6 用語集.....	47
6.3 機能説明.....	13	10 改訂履歴.....	47
6.4 デバイスの機能モード.....	15	11 メカニカル、パッケージ、および注文情報.....	48

4 ピン構成および機能

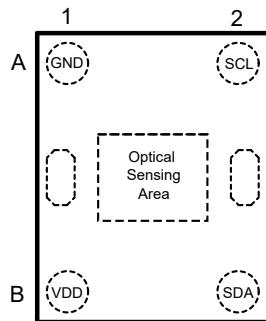


図 4-1. YMN パッケージ、4 ピン PicoStar™
(上面図)

表 4-1. ピンの機能

ピン		タイプ ⁽¹⁾	説明
番号	名称		
A1	GND	P	グランド
B1	V _{DD}	I	デバイス電源。1.6V ~ 3.6V 電源に接続します。
A2	SCL	I	I ² C クロック。10kΩ の抵抗を介して 1.6V ~ 5.5V の電源に接続します。
B2	SDA	I/O	I ² C データ。10kΩ の抵抗を介して 1.6V ~ 5.5V の電源に接続します。

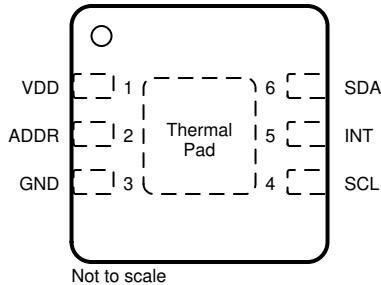


図 4-2. DNP パッケージ、6 ピン USON
(上面図)

表 4-2. ピンの機能

ピン		タイプ ⁽¹⁾	説明
番号	名称		
1	V _{DD}	I	デバイス電源。1.6V ~ 3.6V 電源に接続します。
2	ADDR	I	アドレスピン。このピンは I ² C アドレスの LSB を設定します。
3	GND	P	グランド
4	SCL	I	I ² C クロック。10kΩ の抵抗を介して 1.6V ~ 5.5V の電源に接続します。
5	INT	I/O	割り込み入力/出力オープンドレイン。10kΩ の抵抗を介して 1.6V ~ 5.5V の電源に接続します。
6	SDA	I/O	I ² C データ。10kΩ の抵抗を介して 1.6V ~ 5.5V の電源に接続します。

(1) I = 入力、O = 出力、I/O = 入力または出力、P = 電源

5 仕様

5.1 絶対最大定格

自由気流での動作温度範囲内 (特に記述のない限り) ⁽¹⁾

		最小値	最大値	単位
	VDD から GND への電圧	-0.5	6	V
	SDA および SCL から GND への電圧	-0.5	6	V
	任意のピンへの電流		10	mA
T _J	接合部温度		150	°C
T _{stg}	保存温度	-65	150 ⁽²⁾	°C

- (1) 「絶対最大定格」の範囲外での動作は、デバイスの永続的な損傷の原因となる可能性があります。「絶対最大定格」は、これらの条件において、または「推奨動作条件」に示された値を超える他のいかなる条件でも、本製品が正しく動作することを意味するものではありません。「絶対最大定格」の範囲内であっても「推奨動作条件」の範囲外で使用すると、デバイスが完全に機能しない可能性があり、デバイスの信頼性、機能、性能に影響を及ぼし、デバイスの寿命を縮める可能性があります。
- (2) 105°C より高い温度に長時間さらされると、パッケージの変色、スペクトル歪み、測定精度が低下する可能性があります。

5.2 ESD 定格

			値	単位
V _(ESD)	静電放電	人体モデル (HBM)、ANSI/ESDA/JEDEC JS-001 に準拠、すべてのピン ⁽¹⁾	±2000	V
		デバイス帶電モデル (CDM)、ANSI/ESDA/JEDEC JS-002 に準拠、すべてのピン ⁽²⁾	±500	

- (1) JEDEC ドキュメント JEP155 には、500V HBM であれば標準的な ESD 管理プロセスにより安全な製造が可能であると記載されています。
- (2) JEDEC ドキュメント JEP157 には、250V CDM であれば標準的な ESD 管理プロセスにより安全な製造が可能であると記載されています。

5.3 推奨動作条件

自由気流での動作温度範囲内 (特に記述のない限り)

		最小値	公称値	最大値	単位
電源電圧		1.6		3.6	V
動作温度 (PicoStar™ バリアント)		-40		125	°C
動作温度 (USON バリアント)		-40		105	

5.4 熱に関する情報

熱評価基準 ⁽¹⁾		OPT4001-Q1		単位
		YMN (PicoStar™)	DNP (USON)	
		4 ピン	6 ピン	
R _{θJA}	接合部から周囲への熱抵抗	181.7	71.2	°C/W
R _{θJC(top)}	接合部からケース (上面) への熱抵抗	1.3	45.7	°C/W
R _{θJB}	接合部から基板への熱抵抗	56.3	42.2	°C/W
Ψ _{JT}	接合部から上面への特性パラメータ	0.8	2.4	°C/W
Ψ _{JB}	接合部から基板への特性パラメータ	56.3	42.8	°C/W

- (1) 従来および最新の熱評価基準の詳細については、『半導体および IC パッケージの熱評価基準』アプリケーション ノートを参照してください。

5.5 電気的特性

すべての仕様は、 $T_A = 25^\circ\text{C}$ 、 $VDD = 3.3\text{V}$ 、800ms 変換時間 (CONVERSION_TIME = 0xB)、自動フルスケール レンジ、白色 LED、および光の通常角度入射で規定されています (特に指定がない限り)

パラメータ	テスト条件	最小値	標準値	最大値	単位
光					
PicoStar™ バリアント					
	ピーク放射照度スペクトル応答性		540		nm
E_{vLSB}	分解能	最も低い自動ゲイン範囲、800ms の変換時間	312.5		μlux
		最も低い自動ゲイン範囲、100ms の変換時間	2.5		mlux
E_{vFS}	フルスケール照度		83886		lux
	角度応答 (FWHM)		98		°
	温度ドリフト	可視光、入力照度 = 2000lux	0.02		%/ $^\circ\text{C}$
USON バリアント					
	ピーク放射照度スペクトル応答性		560		nm
E_{vLSB}	分解能	最も低い自動ゲイン範囲、800ms の変換時間	400		μlux
		最も低い自動ゲイン範囲、100ms の変換時間	3.2		mlux
E_{vFS}	フルスケール照度		107374		lux
	角度応答 (FWHM)		120		°
	温度ドリフト	可視光、入力照度 = 2000lux	0.01		%/ $^\circ\text{C}$
共通仕様					
	有効仮数ビット (レジスタ R_MSB および R_LSB)	選択した変換時間によって異なります (レジスタ CT)	9	20	ビット
	指数ビット (レジスタ E)	フルスケール レンジを示しています	4		ビット
E_v	測定出力結果	2000lux 入力 ⁽¹⁾	1800	2000	2200 lux
t_{conv}	光変換時間 ⁽⁴⁾	選択可能な最小値 (CONVERSION_TIME = 0x0)	600		μs
		選択可能な最大値 (CONVERSION_TIME = 0xB)	800		ms
	光源の種類 (白熱灯、ハロゲン、蛍光灯)	裸のデバイス、カバー ガラスなし	4		%
	直線性	EXPOENT > 0,100ms 変換時間 CT=8	2		%
		EXPOENT = 0,100ms 変換時間 CT=8	5		
E_{vIR}	赤外線応答	850nm LED 入力	0.2		%
	ゲイン範囲間の相対精度 ⁽²⁾		0.4		%
	暗測定		0	10	mlux
PSRR	電源除去比 ⁽³⁾	3.6V および 1.6V での VDD	0.1		%/V
電源					
V_{DD}	電源		1.6	3.6	V
V_{I2C}	I ² C プルアップ抵抗の電源	I ² C プルアップ抵抗、 $V_{DD} \leq V_{I2C}$	1.6	5.5	V
$I_{QACTIVE}$	アクティブ電流	暗闇	22		μA
		フルスケール ルックス	30		
I_Q	静止時電流	暗闇	1.6		μA
		フルスケール ルックス	2		
POR	Power-on-reset threshold		0.8		V

すべての仕様は、 $T_A = 25^\circ\text{C}$ 、 $V_{DD} = 3.3\text{V}$ 、800ms 変換時間 (CONVERSION_TIME = 0xB)、自動フルスケール レンジ、白色 LED、および光の通常角度入射で規定されています (特に指定がない限り)

パラメータ	テスト条件	最小値	標準値	最大値	単位
デジタル					
C_{IO}	I/O ピン 容量		3		pF
t_{ss}	トリガからサンプル開始	低消費電力のシャットダウン モード	0.5		ms
V_{IL}	Low レベル入力電圧 (SDA、SCL、および ADDR)		0	$0.3 \times V_{DD}$	V
V_{IH}	High レベル入力電圧 (SDA、SCL、および ADDR)		$0.7 \times V_{DD}$	5.5	V
I_{IL}	Low レベル入力電流 (SDA、SCL、および ADDR)		0.01	0.25 ⁽⁵⁾	μA
V_{OL}	Low レベル出力電圧 (SDA および INT)	$I_{OL} = 3\text{mA}$		0.32	V
I_{ZH}	出力ロジック High、Hi-Z リーク電流 (SDA、INT)	V_{DD} ピンで測定	0.01	0.25 ⁽⁵⁾	μA
温度					
仕様温度範囲	PicoStar™ バリエント	-40	125		°C
	USON バリエント	-40	105		

- (1) 2000lux に調整された白色 LED を使用してテストされました。
- (2) より高い隣接するフルスケール範囲設定で、固定されたほぼフルスケールの光レベルを測定することを特徴とします。
- (3) PSRR は、測定されたルクス出力の電流値からの変化率を電源電圧の変化で割ったもので、3.6V および 1.6V 電源の結果によって特徴付けられます。
- (4) 変換の開始からデータの読み取り準備ができるまでの変換時間は、積分時間とアナログからデジタルへの変換時間の合計です。
- (5) 指定されたリーク電流は、製造試験デバイスの制限によって決まります。標準値ははるかに小さくなります。

5.6 タイミング要件

(1) 参照

		最小値	標準値	最大値	単位
I²C 高速モード					
f_{SCL}	SCL 動作周波数	0.01	0.4	MHz	
t_{BUF}	STOP と START 間のバスフリー時間	1300		ns	
t_{HDSTA}	リピートスタート後のホールド時間	600		ns	
t_{SUSTA}	リピートスタートセットアップ時間	600		ns	
t_{SUSTO}	ストップセットアップ時間	600		ns	
t_{HDDAT}	データホールド時間	20	900	ns	
t_{SUDAT}	データセットアップ時間	100		ns	
t_{LOW}	SCL クロックの Low 期間	1300		ns	
t_{HIGH}	SCL クロックの High 期間	600		ns	
t_{RC} および t_{FC}	クロック立ち上がり/立ち下がり時間		300	ns	
t_{RD} および t_{FD}	データ立ち上がり/立ち下がり時間		300	ns	
t_{TIMEO}	バスのタイムアウト期間。SCL ラインがこの時間の間 Low に保持されると、バスステートマシンはリセットされます。	28		ms	
I²C 標準モード					
f_{SCL}	SCL 動作周波数	0.01	2.6	MHz	
t_{BUF}	STOP と START 間のバスフリー時間	160		ns	
t_{HDSTA}	リピートスタート後のホールド時間	160		ns	
t_{SUSTA}	リピートスタートセットアップ時間	160		ns	
t_{SUSTO}	ストップセットアップ時間	160		ns	
t_{HDDAT}	データホールド時間	20	140	ns	
t_{SUDAT}	データセットアップ時間	20		ns	
t_{LOW}	SCL クロックの Low 期間	240		ns	
t_{HIGH}	SCL クロックの High 期間	60		ns	
t_{RC} および t_{FC}	クロック立ち上がり/立ち下がり時間		40	ns	
t_{RD} および t_{FD}	データ立ち上がり/立ち下がり時間		80	ns	
t_{TIMEO}	バスのタイムアウト期間。SCL ラインがこの時間の間 Low に保持されると、バスステートマシンはリセットされます。	28		ms	

(1) すべてのタイミングパラメータは、最終安定値のそれぞれ 30% および 70% の低電圧レッショルドと高電圧レッショルドを基準とします。

5.7 タイミング図

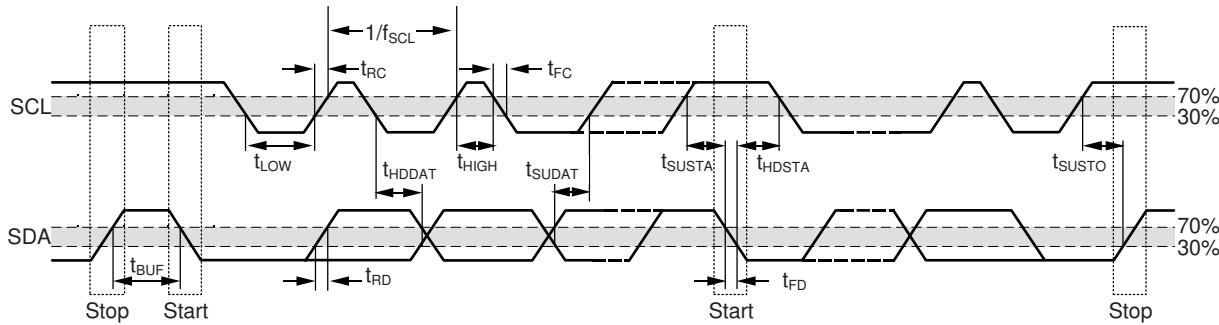


図 5-1. I²C タイミング詳細図

5.8 代表的特性

$T_A = 25^\circ\text{C}$ 、 $V_{DD} = 3.3\text{V}$ 、800ms 変換時間 (CONVERSION_TIME = 0xB)、自動フルスケール レンジ (RANGE = 0xC)、白色 LED、および光の通常角度入射で規定されています (特に記載がない限り)

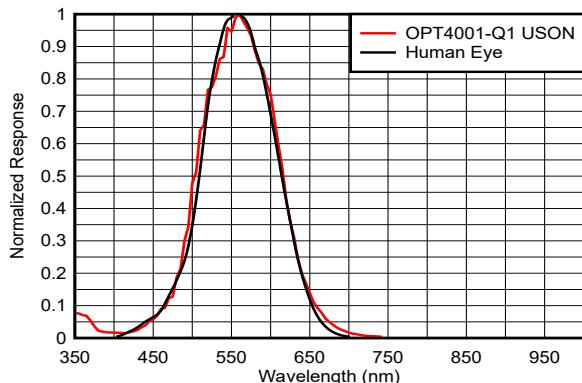


図 5-2. USON バリアントのスペクトル応答と波長の関係

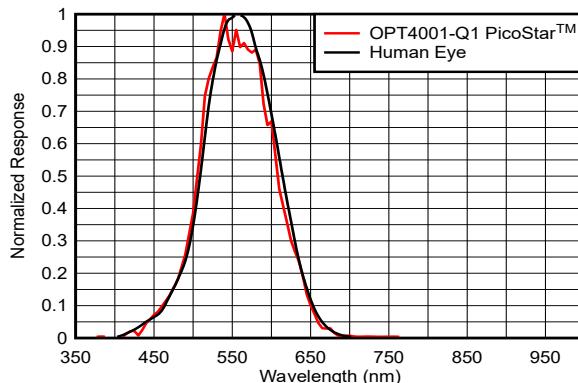
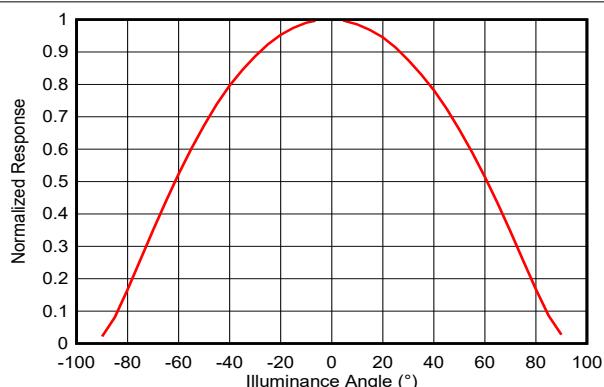
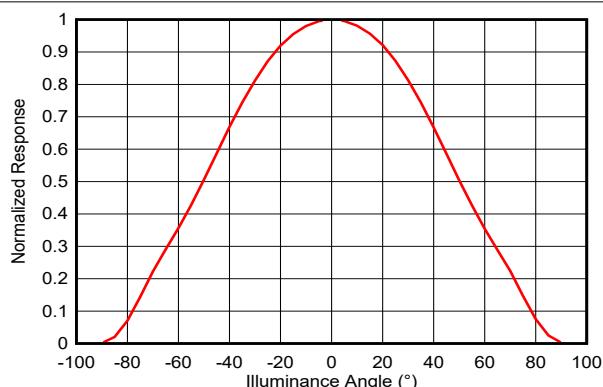


図 5-3. PicoStar™ バリアントのスペクトル応答と波長の関係



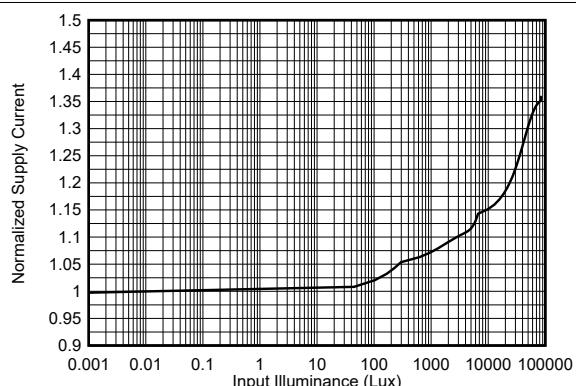
0°に正規化

図 5-4. USON バリアントのデバイス応答と照度角度の関係



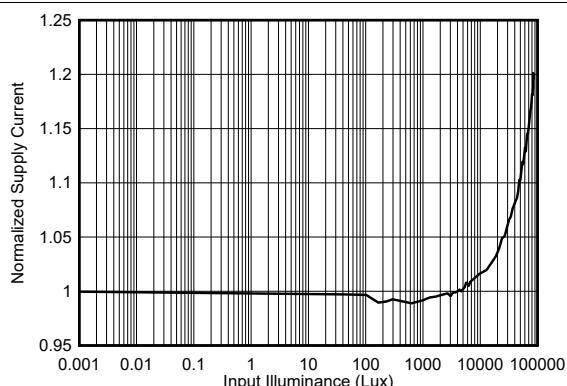
0°に正規化

図 5-5. PicoStar™ バリアントのデバイス応答と照度角度の関係



暗状態に正規化

図 5-6. アクティブ電流と入力光レベルの関係

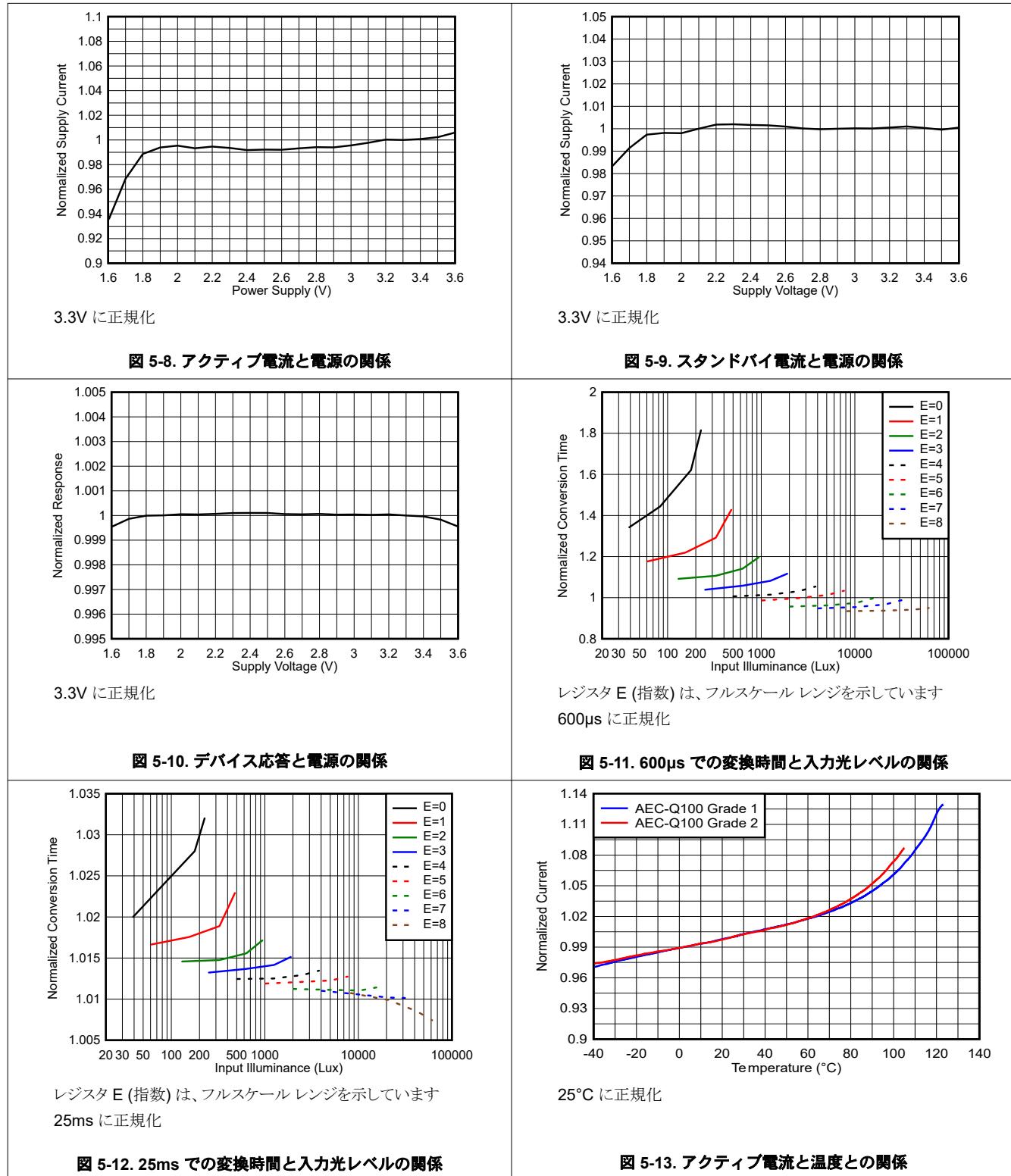


暗状態に正規化

図 5-7. スタンバイ電流と入力光レベルの関係

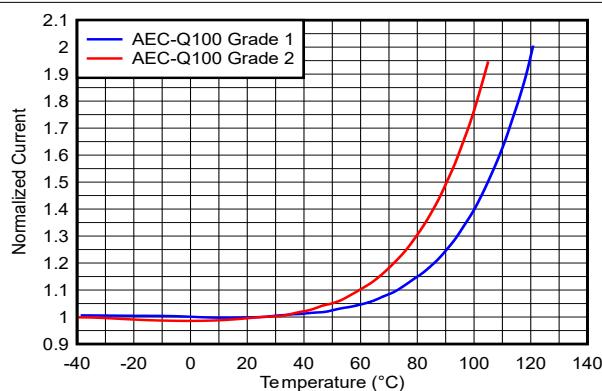
5.8 代表的特性 (続き)

$T_A = 25^\circ\text{C}$ 、 $V_{DD} = 3.3\text{V}$ 、800ms 変換時間 (CONVERSION_TIME = 0xB)、自動フルスケール レンジ (RANGE = 0xC)、白色 LED、および光の通常角度入射で規定されています (特に記載がない限り)



5.8 代表的特性 (続き)

$T_A = 25^\circ\text{C}$ 、 $V_{DD} = 3.3\text{V}$ 、800ms 変換時間 (CONVERSION_TIME = 0xB)、自動フルスケール レンジ (RANGE = 0xC)、白色 LED、および光の通常角度入射で規定されています (特に記載がない限り)



25°C に正規化

図 5-14. スタンバイ電流と温度との関係

6 詳細説明

6.1 概要

OPT4001-Q1 は、デバイスを照らす周囲光を測定します。このデバイスは、人間の目に非常に近いスペクトル応答と強力な近赤外線除去機能で光を測定します。

周囲光センサは人間の照明体験を測定し、その創造を支援するため、センサのスペクトル応答を人間の目の応答にマッチングさせることは非常に重要です。人間が見ることができない赤外線を強力に除去することが、このマッチングの重要な要素です。このマッチングにより、OPT4001-Q1 は、目に見えて暗いが赤外線を透過する窓の下での操作に特に適しています。

OPT4001-Q1 は、周囲光を測定し、その結果を I²C バスを介してルクスに比例した ADC コードでデジタル的に出力する完全な自己完結型デバイスです。また、この結果はシステムへの警告や、INT ピンによるプロセッサへの割り込みにも使用できます。結果は、プログラム可能なスレッショルドの比較でまとめられ、INT ピンで通信することもできます (INT ピンは PicoStar™ パッケージでは利用不可)。

OPT4001-Q1 は、デフォルトでは、特定の照明条件に最適なフルスケール レンジ設定を常に選択する自動フルスケール レンジ検出モードで動作するように設定されています。フルスケールのレンジ設定は 9 つあり、そのうちの一つは手動で選択することもできます。デバイスを自動のフルスケール レンジ検出モードで動作するように設定すると、ユーザーは特定の測定で許容できる結果が得られるまで、測定を複数回繰り返してフルスケール レンジを再調整するためのソフトウェアをプログラミングする必要がなくなります。デバイスは 28 ビットの測定ダイナミック レンジ全体にわたって優れた直線性を示すため、システム レベルで追加の直線性キャリブレーションは必要ありません。

OPT4001-Q1 は、連続測定モードまたはワンショット測定モードで動作するように設定できます。このデバイスは、600μs ~ 800ms の範囲の 12 種類の変換時間を提供します。デバイスは低電力シャットダウン状態で起動するため、OPT4001-Q1 はデバイスがアクティブ状態にプログラムされている場合にのみアクティブ動作電力を消費します。

OPT4001-Q1 光学フィルタリング システムは、光学表面上の小さな粒子や微細な影に対して過度に敏感ではありません。この感度の低下は、赤外線除去のためのセンサ領域の均一な密度の光照射に対するデバイスの依存度が比較的低いことが原因です。すべての光学デバイスで最良の結果を得るには、常に適切な光学表面の清潔さを保ってください。

6.2 機能ブロック図

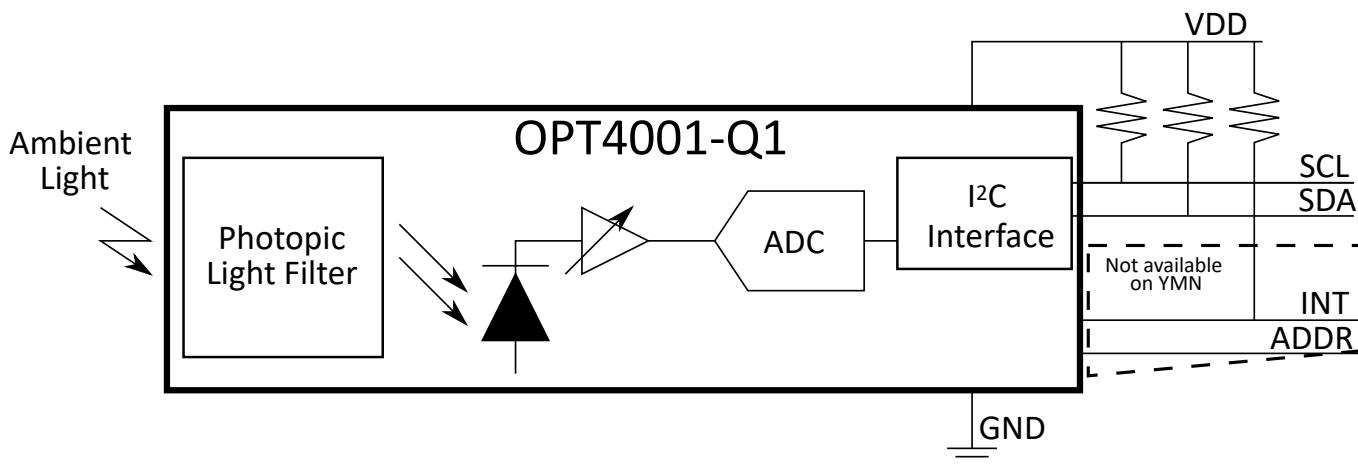


図 6-1. OPT4001-Q1 の機能ブロック図

6.3 機能説明

6.3.1 人間の目の反応に類似したスペクトル

OPT4001-Q1 スペクトル応答は人間の目とほぼ一致しています。周囲光センサ測定値を使用して、人間の快適さを表現したり、人間に適した光学条件を作り出したりする場合、センサは人間と同じスペクトルの光を測定する必要があります。

OPT4001-Q1 は、優れた近赤外線光 (NIR) 除去機能も備えています。実際の多くの光源には人間が認識していない大量の赤外線成分が含まれているので、この NIR 除去機能は特に重要です。センサが人間の目に見えない赤外線を測定した場合、人間の真の体験は正確に表現されません。

アプリケーションにおいて OPT4001-Q1 を暗いウィンドウの下に隠す必要がある場合 (最終製品のユーザーからセンサを見れないようにするため)、多くの暗いウィンドウで可視光は減衰するものの、赤外線は透過するため、OPT4001-Q1 の赤外線除去がさらに重要になります。この可視光の減衰と近赤外線の減衰の欠如により、センサを照らす赤外線と可視光の比率が増幅されます。OPT4001-Q1 の赤外線除去性能は優れているため、このような条件下でも人間の目とよく一致する結果となります。

6.3.2 自動フルスケール レンジ設定

OPT4001-Q1 には自動フルスケール レンジ設定機能があり、デバイスの最適な範囲を予測して設定する必要がありません。このモードでは、各測定に必要な照明条件を変化させるために最適なフルスケール レンジが自動的に選択されます。このデバイスでは、フルスケール レンジ設定の間で高度な結果マッチングが行われます。このマッチングにより、異なるフルスケール レンジを選択した場合でも、結果が異なる問題や、レンジ固有のユーザー調整されたゲイン係数の必要性がなくなります。

6.3.3 エラー訂正コード (ECC) 機能

OPT4001-Q1 は、出力レジスタの一部として追加のエラー訂正コード (ECC) ビットを備えており、アプリケーションの光測定の信頼性を向上させます。

6.3.3.1 出力サンプル カウンタ

OPT4001-Q1 には、測定が成功するたびにインクリメントする出力レジスタの一部として COUNTER レジスタが搭載されています。このレジスタは出力レジスタの一部として読み出すことができ、アプリケーションが測定値を追跡するのに役立ちます。4 ビット カウンタは、パワーアップ時に 0 から開始して最大 15 までカウントします。その後、カウンタは 0 にリセットされ、カウントアップを継続します。これは、以下のようないくつかの状況で特に役立ちます。

- ホストまたはコントローラが連続した測定を必要とする。COUNTER レジスタを使用すると、コントローラはサンプルを比較し、中間のカウンタ値が失われることなくサンプルが予想される順序になっていることを確認できます。
- 光レベルが変化していない場合の安全機能として、コントローラは測定間で COUNTER レジスタの値を比較することにより、OPT4001-Q1 からの測定が停止していないことを確認できます。COUNTER 値がサンプルごとに変化し続ける場合、デバイスは最新の光レベルの測定値で出力レジスタを更新します。

6.3.3.2 出力 CRC

CRC レジスタは、OPT4001-Q1 内で計算される出力レジスタの一部として巡回冗長検査ビットで構成され、測定ごとに更新されます。この機能は、デバイスからの出力読み出し時に通信関連のビットエラーを検出するのに役立ちます。レジスタ 1 には、CRC ビットの計算方法がリストされています。これらの計算方法は、コントローラまたはホストのファームウェアとソフトウェアで個別に検証でき、コントローラとデバイス間の通信が送信中にビット エラーなしで成功したかどうかを検証できます。

6.3.4 出力レジスタ FIFO

出力レジスタには常に最新の光測定値が含まれます。出力レジスタに加えて、前回の 3 つの測定値から得られたデータを持つ、3 つのシャドウレジスタがさらに追加されています。新しい測定ごとに、3 つのシャドウレジスタのデータが更新され、最新の測定値が格納されます。このため、FIFO 方式と同様の最も古い測定値は破棄されます。これらのシャドウレジスタは、出力レジスタと同様に深度 4 の FIFO のように動作します。INT ピンは、測定ごとに割り込みを生成するように設定できます (図 6-2 に示す)。また、INT_CFG レジスタを使用して 4 回の測定ごとに割り込みを生成するように設定することもできます (INT ピンは PicoStar™ パッケージ バリアントでは利用不可)。この方法により、OPT4001-Q1 からデータを読み取るコントローラは割り込みの数を 4 分の 1 にして最小限に抑え、割り込みの間でも 4 つの測定値すべてにアクセスできるようになります。バースト読み取りモードを使用すると、最小限の I²C クロックで出力および FIFO レジスタを読み取ることができます。

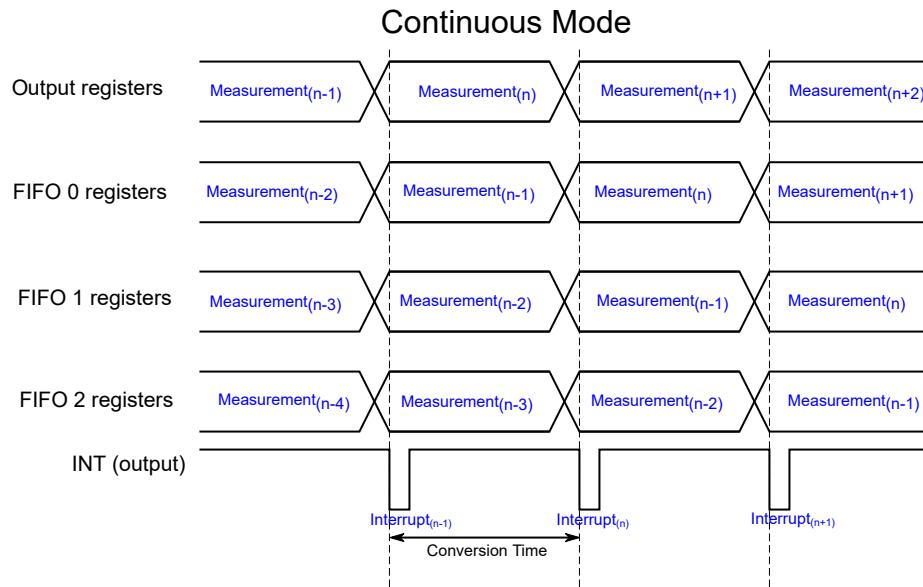


図 6-2. FIFO レジスタのデータ移動

6.3.5 スレッショルド検出

OPT4001-Q1 には、測定された光レベルがユーザーが設定したスレッショルドを超えた場合にレジスタ フラグを示して更新するようにプログラムできる、スレッショルド検出ロジックが搭載されています。Low スレッショルドと High スレッショルドのターゲット レジスタが独立しており、測定された光レベルのステータスを示すために、独立したフラグ レジスタがあります。測定された光のレベルが、下限スレッショルドを下回った場合、および上限スレッショルドを上回った場合を故障と呼びます。ユーザーは、故障カウント レジスタをプログラムできます。このレジスタは、フラグ レジスタがセットされる前に、連続した故障の数をカウントします。この機能は、ルクス計算を実行せずに、コントローラがフラグ レジスタのみを読み取って、測定された光レベルを示す場合に特に役立ちます。スレッショルドを設定するための計算については、スレッショルド検出計算セクションを参照してください。

6.4 デバイスの機能モード

6.4.1 動作モード

OPT4001-Q1 には、次の動作モードがあります。

- ・ **パワーダウン モード:** このモードは、デバイスが低消費電力状態に移行するパワーダウンまたはスタンバイ モードです。このモードでは、アクティブな光センシングや変換はありません。デバイスは、自身をこのモードから復帰させるために使用できる I²C トランザクションにも応答します。OPERATING_MODE レジスタは、0 に設定されています。
- ・ **連続モード:** このモードでは、OPT4001-Q1 は変換時間に応じて出力レジスタを継続的に測定および更新し、変換が成功するたびに INT ピン (PicoStar™ パッケージでは利用不可) でハードウェア割り込みを生成します。INT_DIR レジスタを使用して、INT ピンを出力モードに設定します。測定間隔を最小限に抑えるため、デバイスのアクティブ回路は継続的にアクティブに維持されます。OPERATING_MODE レジスタは、3 に設定されています。
- ・ **ワンショット モード:** OPT4001-Q1 をワンショット モードで使用する方法は 2 つあります。共通点は OPT4001-Q1 がスタンバイ モードのままで、構成レジスタへのレジスタ書き込みまたは INT ピンのハードウェア割り込み (PicoStar™ パッケージでは利用不可) によって変換がトリガされるという点です。

ワンショット モードには、次の 2 つの種類があります。構成レジスタの範囲ビットを設定して手動レンジ モードを指定しない限り、これらのモードはいずれも自動レンジ選択ロジックで動作します。

- **強制的な自動レンジ ワンショット モード:** すべてのワンショットトリガによって、自動レンジ制御ロジックが完全にリセットされ、以前の測定値を無視して新しい自動レンジ検出が開始されます。このモードは、照明条件が頻繁に変化することが予想され、ワンショットトリガ周波数の条件がそれほど頻繁に変化しない状況で、特に役立ちます。自動レンジ設定ロジックがリセット状態から復帰しているため、変換時間に対する不利益が小さくなります。自動レンジ制御ロジックのフルリセットサイクルには約 500μs かかります。このモードを使用するときは、次の測定を行うことを考慮する必要があります。OPERATING_MODE レジスタは、1 に設定されています。
- **通常の自動レンジ ワンショット モード:** 自動レンジ選択ロジックは、前述の測定結果の情報を使用して電流トリガの範囲を決定します。このモードは、デバイスがコントローラから頻繁にトリガされる時間同期測定を必要とする場合にのみ使用します。言い換えれば、このモードは連続モードの代替としても使用できます。これらのモードの主な違いは、測定の間隔がワンショットトリガによって決定されることです。OPERATING_MODE レジスタは、2 に設定されています。

ワンショット モードは、次の方法でトリガできます：

- **ハードウェアトリガ (PicoStar™ バリアントではない):** INT ピンは、測定をトリガする入力として設定でき、INT_DIR レジスタを 0 に設定します。INT ピンを入力として使用する場合、測定完了を示すハードウェア割り込みはありません。コントローラは、トリガ機構から時間を維持し、出力レジスタを読み出す必要があります。
- **レジスタトリガ:** OPERATING_MODE レジスタへの I²C 書き込みにより、測定 (値 1 または 2) がトリガされます。レジスタ値は、次の測定が成功した後でリセットされます。INT ピンは INT_DIR レジスタを 1 に設定することにより、測定完了を示すように構成でき、出力レジスタを読み出すことができます。

後続のトリガ間の間隔は、I²C トランザクション時間、デバイスのウェイクアップ時間、自動レンジ設定時間 (使用されている場合)、デバイスの変換時間など、トリガ機構に関係するすべての側面を考慮して設定する必要があります。現在の測定が完了する前に変換トリガを受信した場合、デバイスは前回の変換が完了するまで新しい要求を無視します。

デバイスは各ワンショットトリガの後にスタンバイ状態になります。そのため、ワンショットトリガ機構の測定間隔では、**仕様**セクションで指定されている、スタンバイ状態から回路を回復するための追加の時間 (t_{ss} 時間) を考慮する必要があります。ただし、クイック ウェイクアップ レジスタ QWAKE を設定すると、トリガの間にスタンバイモードに移行しなくても、アクティブ回路の電源がオフにならない代わりに、この追加の t_{ss} が不要になります。

図 6-3 に、各種動作モードのタイミング図を示します。

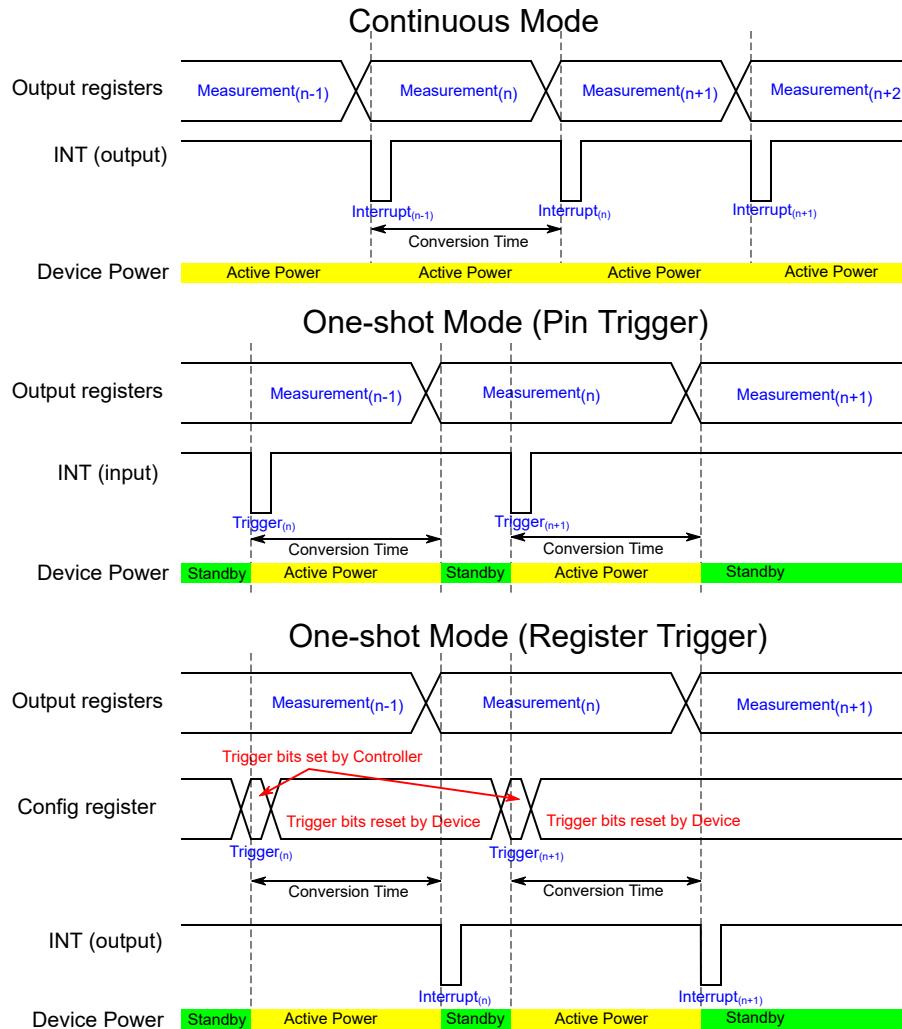


図 6-3. 各種動作モードのタイミング図

6.4.2 割り込み動作モード

デバイスには割り込み報告システムがあり、これによって I²C バスに接続されたプロセッサはアクションを必要とするユーザー定義のイベントが発生するまで、スリープ状態になるか、デバイスの結果を無視することができます。あるいは、この同じ機構は光が対象レベルを超えているか下回っているかを示す单一のデジタル信号を利用できる、あらゆるシステムで使用できます。

INT ピン (PicoStar™ バリアントでは利用不可)はオープンドレイン出力なので、プルアップ抵抗を使用する必要があります。このオープンドレイン出力により、オープンドレイン INT ピンを備えた複数のデバイスを同じラインに接続できるため、デバイス間に論理 NOR または AND 機能を作成できます。INT ピンの極性は、INT_POL レジスタで制御できます。

割り込み報告機構には、ラッチ付きウインドウ比較モードと透過的ヒステリシス比較モードの 2 つの主要なタイプがあります。LATCH 構成レジスタは、これら 2 つのモードのうちどれを使用するかを制御します。表 6-1 と図 6-4 に、これら 2 つのモードの機能をまとめています。さらに INT ピンは、これらのモードのいずれかで故障を示すために (INT_CFG = 0)、または変換の完了を示すために (INT_CFG > 0) を使用できます。表 6-2 は、この機能の詳細を説明しています。

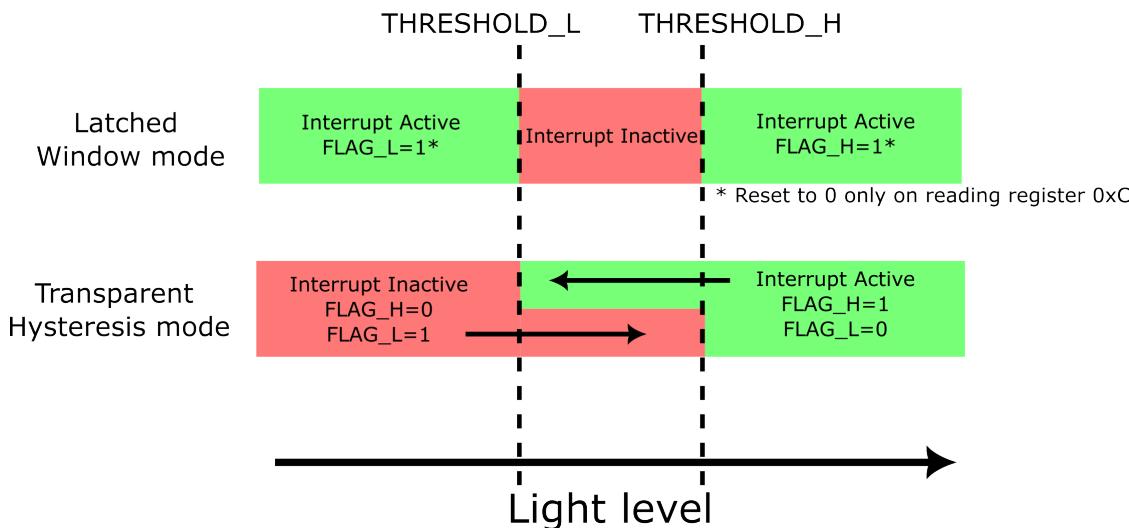


図 6-4. 割り込みピンのステータス (INT_CFG = 0 設定) とレジスタ フラグの動作

表 6-1. 割り込みピンのステータス (INT_CFG = 0 設定) とレジスタ フラグの動作

ラッチ 設定	INT ピンの状態 (INT_CFG = 0 の場合)	FLAG_H 値	FLAG_L 値	ラッチ動作
0:透過ヒステリシス モード	INT ピンは、測定値がスレッショルドを上回っているか (INT アクティブ)、下回っているか (INT 非アクティブ) を示します。測定が High スレッショルド値と Low スレッショルド値の間の場合、直前の INT 値が維持されます。このモードは、測定値がスレッショルドに近いときに INT ピンで何度も切り替わるのが防止します。	0:測定値が下限値を下回っている場合 1: 測定値が上限値と下限値の間にある場合、測定値が上限値を上回ると、以前の値が維持されます。	0:測定値が上限値を超えている場合 1: 測定値が上限値と下限値の間にある場合、測定値が下限値を下回ると、以前の値が維持されます。	ラッチなし: 値は変換ごとに更新されます
1:ラッチ付きウィンドウ モード	測定値がウィンドウ外 (High スレッショルドより高い、または Low スレッショルドより低い) 場合、INT ピンはアクティブになります。0xC レジスタが読み出されるまで INT ピンはリセットされず、非アクティブ状態に戻ります。	1:測定値が上限値を超えている場合	1:測定値が下限値を下回っている場合	ラッチ: INT ピン、FLAG_H、FLAG_L の値は、0x0C レジスタが読み出されるまでリセットされません。

THRESHOLD_H、THRESHOLD_L、LATCH、および FAULT_COUNT レジスタは割り込み動作を制御します。表 6-1 に示すように、LATCH フィールド設定では、ラッチ ウィンドウ モードと透過ヒステリシス モードを選択できます。割り込み通知は、INT ピン (PicoStar™ バリアントでは利用不可)、FLAG_H、および FLAG_L レジスタで確認できます。

電流センサの測定値を THRESHOLD_H および THRESHOLD_L レジスタと比較した結果は、故障イベントと呼ばれます。これらのレジスタを設定する計算については、セクション [スレッショルド検出計算](#) を参照してください。FAULT_COUNT レジスタは、割り込みイベントをトリガしてから、割り込み通知機能の状態を変更するために必要な、連続する故障イベントの数を指定します。たとえば、FAULT_COUNT 値の 2 が 4 つの故障カウントに対応している場合、表 6-1 に示す INT ピン (PicoStar™ バリアントでは利用不可)、FLAG_H、および FLAG_L の状態は、故障条件を満たす 4 つの連続測定が行われない限り、実現しません。

表 6-1 に記載されている INT ピン機能 (PicoStar™ バリアントでは利用不可) は、INT_CFG = 0 の場合にのみ有効です。表 6-2 で説明されているように、INT ピンの機能は、変換の終了または FIFO のフル状態を示すように変更できます。

す。**INT_CFG > 0** の間であっても、**FLAG_H** および **FLAG_L** レジスタは、表 6-1 にリストされているように動作を続けます。INT ピンの極性は、**INT_POL** レジスタによって制御されます。

表 6-2. INT_CFG の設定とその結果生じる INT ピンの動作

INT_CFG 設定	INT ピンの機能
0	表 6-1 に従う
1	各変換後に INT ピンが 1μs パルス持続時間でアサートされます
3	INT ピンは、FIFO がフル状態であることを示すため、4 回の変換ごとに 1μs パルス持続時間でアサートされます

6.4.3 光レンジ選択

OPT4001-Q1 には自動フルスケール レンジ設定モードがあり、デバイスの最適な範囲を予測して設定する必要がありません。このモードに入るには、**RANGE** レジスタを 0xC に設定します。デバイスは、現在の照明条件と前回の測定の組み合わせに基づいて、測定を行うための適切なフルスケール レンジを決定します。

測定値がフルスケールの下限に近い場合、次の測定ではフルスケール レンジが 1 つまたは 2 つの設定だけ減少します。測定がフルスケールの上側に向かっている場合、次の測定では、フルスケール レンジが 1 つの設定だけ増加します。

急速に増加する光過渡事象の結果として測定がフルスケール レンジを超えると、電流測定を終了します。この無効な測定値は報告されません。スケールが最大値に達していない場合、デバイスはスケールを 1 ステップずつインクリメントさせ、そのスケールで新しい測定値が再取得されます。したがって、このモードで高速に増加する光過渡の間、測定が完了してレポートされるまでに、**CONVERSION_TIME** 構成レジスタで示されるよりも時間がかかる場合があります。

デバイスは照明条件に基づいて最適な範囲設定を選択するため、テキサス インスツルメンツはこの機能の使用を強く推奨しています。ただし、範囲を手動で設定するオプションもあります。範囲を手動で設定すると、自動フルスケール選択ロジックがオフになり、デバイスは特定の範囲設定で動作します。レンジ選択テーブルには、レンジ選択の設定が一覧表示されます。

表 6-3. レンジ選択表

レンジ レジスタ設定	標準的なフルスケール光レベル FOT PICOSTAR バリアント	標準的なフルスケール光レベル FOT USON バリアント
0	328lux	419lux
1	655lux	839lux
2	1311lux	1678lux
3	2621lux	3355lux
4	5243lux	6711lux
5	10486lux	13422lux
6	20972lux	26844lux
7	41943lux	53687lux
8	83886lux	107374lux
12	自動フルスケール レンジ ロジックによって決定	

6.4.4 変換時間の選択

表 6-4 にリストされているように、OPT4001-Q1 には選択可能な変換時間がいくつか用意されています。変換時間は、1 回の測定の開始から完了までに要する時間として定義され、出力レジスタの結果を更新するのに必要な時間も含みます。測定の開始は、[動作モード](#)セクションで規定されている動作モードによって決まります。

表 6-4. 変換時間の選択

CONVERSION_TIME レジスタ	標準変換時間
0	0.6ms
1	1ms
2	1.8ms
3	3.4ms
4	6.5ms
5	12.7ms
6	25ms
7	50ms
8	100ms
9	200ms
10	400ms
11	800ms

6.4.5 ルクス単位での光測定

OPT4001-Q1 は照度を測定し、比例した ADC コードで出力レジスタを更新します。デバイスの出力は、4 つの [EXPONENT](#) レジスタビットと 20 の MANTISSA ビットの 2 つの部分で表されます。レンジ内でのリニア表現を伴うバイナリ対数フルスケールレンジのこの配置は、測定の広いダイナミックレンジをカバーするのに役立ちます。MANTISSA は、指定されたフルスケールレンジ内で測定された光に比例するリニア ADC コードを表し、[EXPONENT](#) ビットは現在選択されているフルスケールレンジを表します。選択範囲は、自動範囲選択ロジックによって自動的に決定することも、[セクション 6.4.3](#) に従って手動で選択することもできます。

ルクスのレベルは次の式を使用して決定できます。まず、[式 1](#) または [式 2](#) を使用して MANTISSA を計算します。次に、[式 3](#) または [式 4](#) を使用して ADC_CODES を計算します。最後に、最後の式を使用してルクスを計算します。

$$\text{MANTISSA} = (\text{RESULT_MSB} \ll 8) + \text{RESULT_LSB} \quad (1)$$

または

$$\text{MANTISSA} = (\text{RESULT_MSB} \times 2^8) + \text{RESULT_LSB} \quad (2)$$

ここで

- The [RESULT_MS](#)、[RESULT_LB](#)、および [EXPONENT](#) ビットは出力レジスタの一部です

RESULT_MS レジスタは MANTISSA の最上位 12 ビットを保持し、RESULT_LB レジスタは MANTISSA の最下位 8 ビットを保持します。前の式を使用して、20 ビットの MANTISSA 数を取得します。4 つの EXPONENT ビットはレジスタから直接読み取られます。

EXPONENT 部分と MANTISSA 部分を計算した後、[式 3](#) または [式 4](#) を使用して線形化された ADC_CODES を計算します。

$$\text{ADC_CODES} = (\text{MANTISSA} \ll E) \quad (3)$$

または

$$\text{ADC_CODES} = (\text{MANTISSA} \times 2^{\text{E}}) \quad (4)$$

レジスタ E の最大値は 8 なので、ADC_CODECS は実質的に 28 ビットの数値になります。次の式に示すように、片対数の数値はリニア ADC_CODECS 表現に変換され、ルクスに簡単に変換できます。

$$\text{lux} = \text{ADC_CODES} \times 312.5\text{E-6} \text{ for the PicoStar™ variant} \quad (5)$$

$$\text{lux} = \text{ADC_CODES} \times 400\text{E-6} \text{ for the USON variant} \quad (6)$$

MANTISSA と ADC_CODECS は、表現するのに 20 ビットと 28 ビットが必要な大きな数値です。これらの計算用のファームウェアまたはソフトウェアを開発する際には、データのオーバーフローを防ぐために適切なデータ型を割り当てることが重要です。左シフト演算 ($<<$) の前に 32 ビット表現など、より大きなデータ型への明示的な型キャストが推奨されます。

6.4.6 スレッショルド検出計算

THRESHOLD_H_RESULT および **THRESHOLD_L_RESULT** スレッショルド結果レジスタは 12 ビットです。一方、**THRESHOLD_H_EXPONENT** および **THRESHOLD_L_EXPONENT** スレッショルド指数レジスタは 4 ビットです。スレッショルドは、次の式に示すように、リニア ADC_CODECS で比較されます。したがって、スレッショルド レジスタは、ADC_CODECS と比較するために内部的にゼロで埋められます。

$$\text{ADC_CODES_TH} = \text{THRESHOLD_H_RESULT} << (8 + \text{THRESHOLD_H_EXPONENT}) \quad (7)$$

または

$$\text{ADC_CODES_TH} = \text{THRESHOLD_H_RESULT} \times 2^{(8 + \text{THRESHOLD_H_EXPONENT})} \quad (8)$$

および

$$\text{ADC_CODES_TL} = \text{THRESHOLD_L_RESULT} << (8 + \text{THRESHOLD_L_EXPONENT}) \quad (9)$$

または

$$\text{ADC_CODES_TL} = \text{THRESHOLD_L_RESULT} \times 2^{(8 + \text{THRESHOLD_L_EXPONENT})} \quad (10)$$

次に、次の式に示すようにスレッショルド比較して、故障イベントを検出します。

$$\text{If } \text{ADC_CODES} < \text{ADC_CODES_TH} \text{ a fault low is detected} \quad (11)$$

および

$$\text{If } \text{ADC_CODES} > \text{ADC_CODES_TH} \text{ a fault high is detected} \quad (12)$$

FAULT_COUNT レジスタ設定に基づいて、連続する故障 *high* イベントまたは故障 *low* イベントが発生すると、それぞれの **FLAG_H** レジスタおよび **FLAG_L** レジスタが設定されます。詳細については、[割り込み動作モード](#) セクションを参照してください。THRESHOLD_H_EXPONENT、THRESHOLD_H_RESULT、THRESHOLD_L_EXPONENT、および THRESHOLD_L_RESULT レジスタビットと出力レジスタの関係を理解することは、アプリケーションのニーズに基づいて適切なスレッショルドを設定するために重要です。

6.4.7 光分解能

OPT4001-Q1 の有効分解能は、変換時間の設定とフルスケールの光範囲の両方に依存します。リニア ADC_CODES の LSB 分解能は変わりませんが、デバイスの有効分解能または有用分解能は 変換時間の設定とフルスケール レンジに依存します。有効分解能が低い変換時間では、LSB に 0 が埋め込まれます。

表 6-5. PicoStar™ バリアントの分解能表

CONVERSIO N_TIME レジ スタ	変換時間	仮数部有効ビ ット	指數								
			0	1	2	3	4	5	6	7	8
			フルスケール ルクス (ルクス単位の有効分解能)								
			328	655	1310	2621	5243	10486	20972	41943	83886
0	600μs	9	640m	1.28	2.56	5.12	10.24	20.48	40.96	81.82	163.84
1	1ms	10	320m	640m	1.28	2.56	5.12	10.24	20.48	40.96	81.82
2	1.8ms	11	160m	320m	640m	1.28	2.56	5.12	10.24	20.48	40.96
3	3.4ms	12	80m	160m	320m	640m	1.28	2.56	5.12	10.24	20.48
4	6.5ms	13	40m	80m	160m	320m	640m	1.28	2.56	5.12	10.24
5	12.7ms	14	20m	40m	80m	160m	320m	640m	1.28	2.56	5.12
6	25ms	15	10m	20m	40m	80m	160m	320m	640m	1.28	2.56
7	50ms	16	5m	10m	20m	40m	80m	160m	320m	640m	1.28
8	100ms	17	2.5m	5m	10m	20m	40m	80m	160m	320m	640m
9	200ms	18	1.25m	2.5m	5m	10m	20m	40m	80m	160m	320m
10	400ms	19	0.625m	1.25m	2.5m	5m	10m	20m	40m	80m	160m
11	800ms	20	0.3125m	0.625m	1.25m	2.5m	5m	10m	20m	40m	80m

表 6-6. USON バリアントの分解能表

CONVERSIO N_TIME レジ スタ	変換時間	仮数部有効ビ ット	指數								
			0	1	2	3	4	5	6	7	8
			フルスケール ルクス (ルクス単位の有効分解能)								
			419	839	1678	3355	6711	13422	26844	53687	107374
0	600μs	9	819.2m	1.64	3.28	6.55	13.11	26.21	52.43	104.86	209.72
1	1ms	10	409.6m	819.2m	1.64	3.28	6.55	13.11	26.21	52.43	104.86
2	1.8ms	11	204.8m	409.6m	819.2m	1.64	3.28	6.55	13.11	26.21	52.43
3	3.4ms	12	102.4m	204.8m	409.6m	819.2m	1.64	3.28	6.55	13.11	26.21
4	6.5ms	13	51.2m	102.4m	204.8m	409.6m	819.2m	1.64	3.28	6.55	13.11
5	12.7ms	14	25.6m	51.2m	102.4m	204.8m	409.6m	819.2m	1.64	3.28	6.55
6	25ms	15	12.8m	25.6m	51.2m	102.4m	204.8m	409.6m	819.2m	1.64	3.28
7	50ms	16	6.4m	12.8m	25.6m	51.2m	102.4m	204.8m	409.6m	819.2m	1.64
8	100ms	17	3.2m	6.4m	12.8m	25.6m	51.2m	102.4m	204.8m	409.6m	819.2m
9	200ms	18	1.6m	3.2m	6.4m	12.8m	25.6m	51.2m	102.4m	204.8m	409.6m
10	400ms	19	0.8m	1.6m	3.2m	6.4m	12.8m	25.6m	51.2m	102.4m	204.8m
11	800ms	20	0.4m	0.8m	1.6m	3.2m	6.4m	12.8m	25.6m	51.2m	102.4m

6.5 プログラミング

OPT4001-Q1 は、転送プロトコルとして最高 100kHz の標準モード、最高 400kHz の高速モードと、最高 2.6MHz のハイスピード モードをサポートしています。高速モードと標準モードは、F/S というデフォルトのプロトコルとして説明されています。高速モードについては、[高速 I2C モード](#)セクションを参照してください。

6.5.1 I²C バスの概要

OPT4001-Q1 は、I²C および SMBus インターフェイスと互換性があります。I²C および SMBus プロトコルは、本質的に互いに互換性があります。このドキュメントを通して、主な例として I²C インターフェイスを使用し、2 つのプロトコルの相違点について説明するときのみ SMBus プロトコルが指定されています。

このデバイスは、SCL クロック入力ピンと SDA オープンドレイン双方データピンの 2 つのピンでバスに接続されます。バスにはコントローラ デバイスがなくなりません。コントローラ デバイスはシリアル クロック (SCL) を生成し、バスへの

アクセスを制御して、**START** 条件および **STOP** 条件を生成します。特定のデバイスをアドレス指定するには、コントローラが **SCL** が High ロジック レベルのときにデータ信号ライン (**SDA**) をロジック High から Low レベルにプルし、スタート条件を開始します。バス上のすべてのターゲットは、**SCL** 立ち上がりエッジでターゲットのアドレス バイトを取り込みます。このバイトの最下位ビットは、読み取りと書き込みのどちらの動作が意図されているかを示しています。アドレス指定されたターゲットは、9 番目のクロック パルスのときアクノリッジ ビットを生成し、**SDA** を Low にプルして、コントローラに応答します。

その後でデータ転送が開始され、8 ビットのデータが送信されてから、アクノリッジ ビットが送信されます。データ転送中、**SCL** が High の間、**SDA** は安定した状態を維持する必要があります。**SCL** が High のとき **SDA** が変化すると、スタートまたはストップの条件と解釈されます。コントローラは、すべてのデータが転送されると、**SCL** が High のときに **SDA** を Low から High にプルして、ストップ条件を生成します。このデバイスは、バスのロックアップを防ぐため、I²C インターフェイスに 28ms のタイムアウト機能を備えています。**SCL** ラインがこの時間の間 Low レベルに保持されると、バス ステート マシンはリセットされます。

6.5.1.1 シリアルバス アドレス

OPT4001-Q1 と通信するには、コントローラが最初に I²C 開始コマンドを開始する必要があります。次に、コントローラがターゲット アドレス バイトを介してターゲット デバイスをアドレス指定する必要があります。ターゲット アドレス バイトは、7 つのビット アドレスと、動作が読み出しか書き込みかを示す 1 つの方向ビットで構成されます。

ADDR ピンを次の 4 つのピンのいずれかに接続することで、4 つの I²C アドレスが可能になります。GND、VDD、SDA、または SCL。[表 6-7](#) に、可能なアドレスと、対応する ADDR ピンの構成をまとめています。ADDR ピンの状態はすべてのバス通信でサンプリングされ、インターフェイス上でアクティビティが発生する前に、そのピンを駆動するか、目的のレベルに接続する必要があります。

表 6-7. ADDR ピンのアドレス

ADDR ピンの接続	デバイスの I ² C アドレス
GND	1000100
VDD	1000101
SDA	1000110
SCL	1000111

PicoStar™ バリアントの場合、ターゲットアドレス選択機能はなく、デバイスアドレスは 1000101b (0x45) にハード コードされています。

6.5.1.2 シリアルインターフェイス

OPT4001-Q1 は、I²C バスと SMBus バスの両方で、ターゲット デバイスとして動作します。バスへの接続は、SCL クロック入力ラインと SDA オープンドレイン I/O ラインを介して行われます。このデバイスは、標準モード (最大 100kHz)、高速モード (最大 400kHz)、高速モード (最大 2.6MHz) の伝送プロトコルをサポートしています。すべてのデータビットは、最上位バイトから先に送信されます。

SDA ピンおよび SCL ピンは、内蔵のスパイク抑制フィルタとシュミットトリガを備えており、入力スパイクとバスノイズの影響を最小限に抑えます。I²C バスのノイズ耐性の詳細については、[電気的インターフェイス](#) セクションを参照してください。

6.5.2 読み取りと書き込み

OPT4001-Q1 上の特定のレジスタにアクセスするには、I²C トランザクション シーケンス中に適切なレジスタ アドレスを書き込む必要があります。レジスタの完全なリストと対応するレジスタ アドレスについては、[レジスタ マップ](#) を参照してください。レジスタのアドレスの値 ([図 6-5](#) を参照) は、R/W ビットが Low になっているターゲットアドレス バイトの後に送信される最初のバイトです。

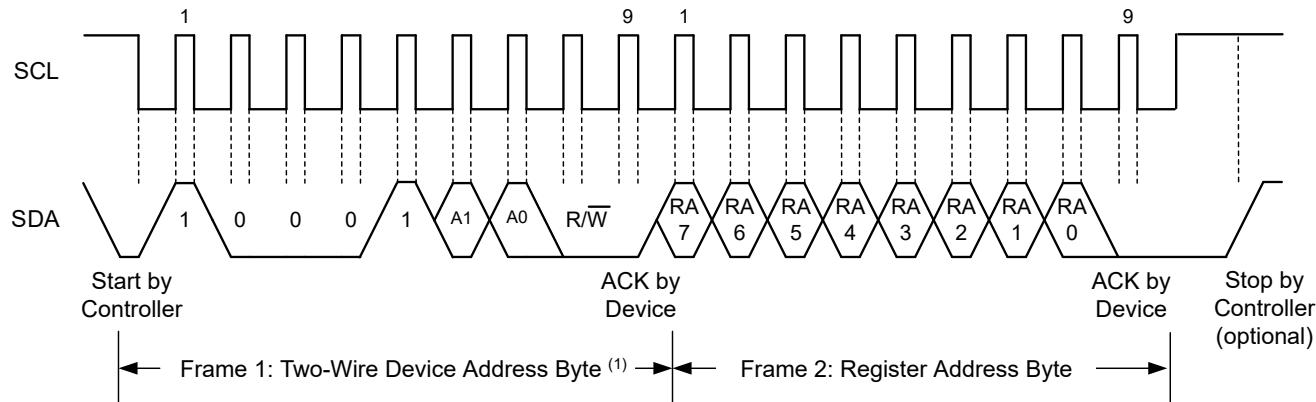


図 6-5. I²C レジスタ アドレスの設定

レジスタへの書き込みは、コントローラによって送信される最初のバイトから開始されます。このバイトはターゲット アドレスで、R/W ビットは Low です。有効なアドレスを受信すると、デバイスはアクノリッジします。コントローラから送信される次のバイトは、データが書き込まれるレジスタのアドレスです。次の 2 バイトは、レジスタのアドレスによってレジスタ アドレスに書き込まれます。デバイスは、データ バイトを受信するたびにアクノリッジします。コントローラは、開始条件または停止条件を生成することによりデータ転送を終了できます。

本デバイスから読み出す場合、書き込み動作によってレジスタ アドレスに保存された最後の値が、読み出し動作中に読み出されるレジスタを決定します。読み取り操作のレジスタ アドレスを変更するには、新しい部分的な I²C 書き込みトランザクションを開始する必要があります。この部分的な書き込みは、R/W ビットが低い状態でターゲット アドレス バイトを発行し、その後にレジスタ アドレス バイトと停止コマンドを発行することによって実行されます。その後、コントローラはスタート条件を生成し、R/W ビットを High に設定したターゲット アドレス バイトを送信して、読み取りコマンドを開始します。次のバイトはターゲットから送信され、レジスタのアドレスで指定されるレジスタの最上位バイトです。このバイトに続いて、コントローラからアクノリッジがあります。次に、ターゲットは最下位バイトを送信します。コントローラは、データ バイトの受信をアクノリッジします。コントローラは、任意のデータ バイトを受信した後にノン アクノリッジを生成するか、スタート条件またはストップ条件を生成することにより、データ転送を終了できます。同じレジスタから繰り返し読み取りを行う場合、レジスタ アドレス バイトを継続的に送信する必要はありません。デバイスは、次の書き込み操作によってその番号が変更されるまで、レジスタ アドレスを保持します。

書き込みおよび読み取り動作のタイミング図を、それぞれ 図 6-6 と 図 6-7 に示します。レジスタ バイトは、上位バイトが最初に送信され、その後、下位バイトが送信されます。

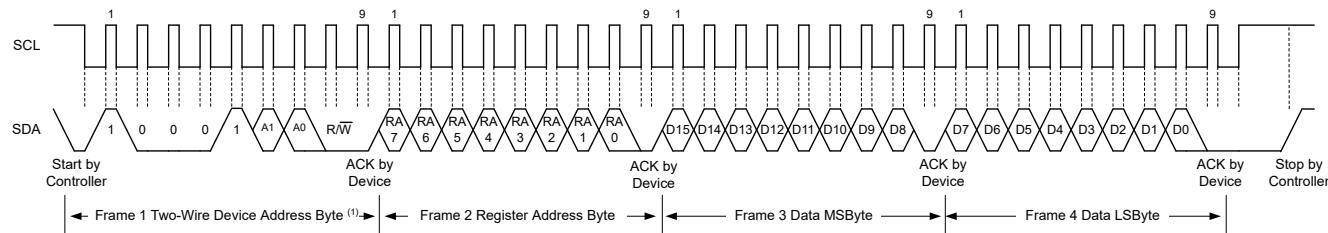
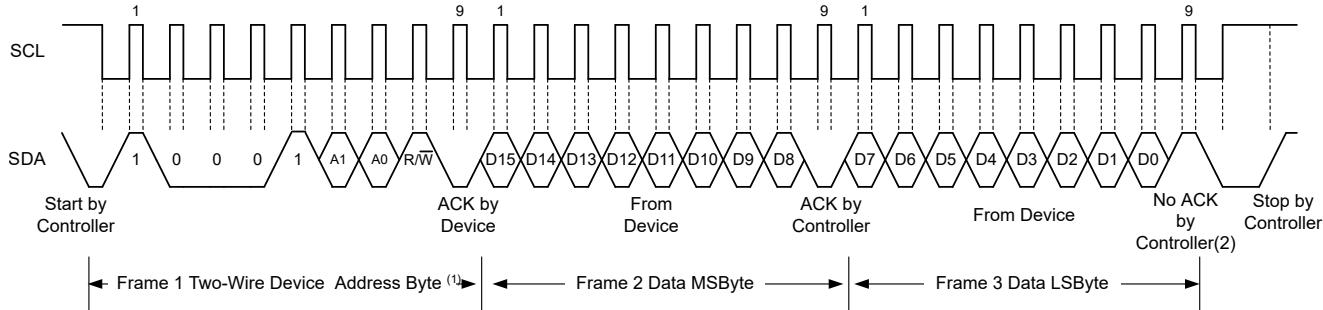


図 6-6. I²C 書き込み例



A. コントローラからの ACK も送信できます。

図 6-7. I²C 読み取り例

6.5.2.1 高速 I²C モード

バスがアイドルのときは、SDA ラインと SCL ラインの両方がプルアップ抵抗またはアクティブ プルアップ デバイスによって High にプルされます。コントローラはスタート条件を生成してから、ハイスピード (HS) コントローラ コードの 0000 1XXXb を含む、有効なシリアル バイトを続けます。この送信は、標準モードまたは高速モード (最大 400kHz) のいずれかで行われます。デバイスは HS コントローラ コードをアクリングしませんが、は、このコードを認識し、2.6MHz での動作をサポートするよう内部フィルタを切り替えます。

次に、コントローラは再スタート条件を生成します (再スタート条件のタイミングはスタート条件と同じです)。この再スタート条件の後、プロトコルは F/S モードと同じですが、許容転送速度は最高 2.6MHz になります。バスを HS モードを保持するには、終了条件を使用する代わりに、再スタート条件を使用します。終了条件を使用すると HS モードは終了し、デバイスのすべての内部フィルタは F/S モードをサポートするよう切り換わります。

6.5.2.2 パースト読み取りモード

OPT4001-Q1 は I²C パースト読み取りモードをサポートしており、バス上のトランザクション数を最小限に抑えて、デバイスからコントローラへの効率的なデータ転送を実現します。

パースト モードを検討する前に、通常の I²C 読み取りトランザクションには、デバイスの読み取りポインターへの I²C 書き込み動作が含まれ、その後に実際の I²C 読み取り動作が続きます。連続した場所にある出力レジスタと FIFO レジスタから読み取るときに通常の I²C 読み取りトランザクションが実行される場合、レジスタ ポインタは 2 バイトごとに書き込まれ、このプロセスには数クロック サイクルかかります。パースト モードを有効にすると、レジスタの読み取り (2 バイト) ごとに読み取りポインタ アドレスが自動的にインクリメントされるため、後続のレジスタ読み取り用にポインタを設定するための書き込み動作が必要なくなります。

パースト モードを有効にするには、I₂C_BURST レジスタを設定します。中止コマンドが発行されると、ポインタは自動インクリメント前の元のレジスタ アドレスにリセットされます。図 6-8 は、I²C 書き込み、単一読み取り、およびパースト モード読み取り動作の図を示しています。

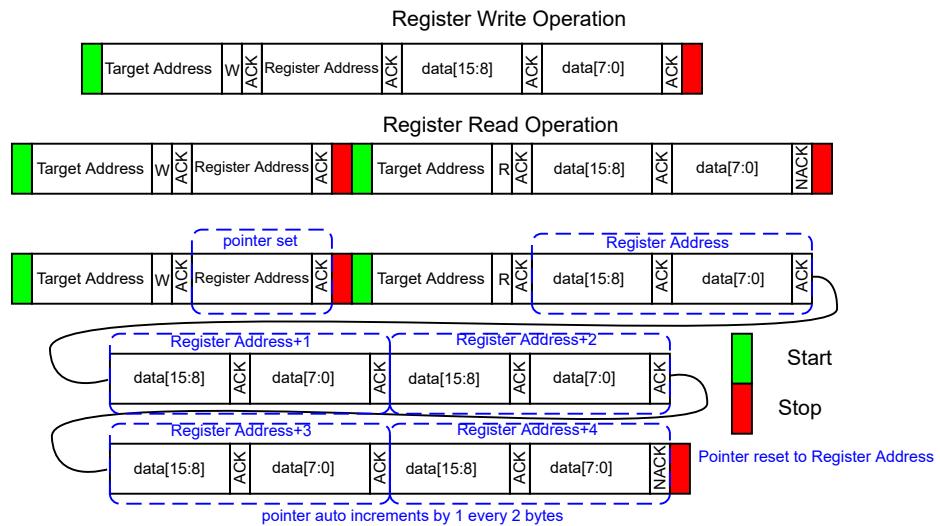


図 6-8. I²C 動作

6.5.2.3 ゼネラル コール リセット コマンド

I²C ゼネラル コール リセットを使用すると、ホスト コントローラは 1 つのコマンドで、ゼネラルコール リセット コマンドに応答するバス上のすべてのデバイスをリセットできます。ゼネラル コールを開始するには、I²C にアドレス 0 (0000 0000b) を書き込みます。リセット コマンドは、後続の 2 番目のアドレス バイトが 06h (0000 0110b) のときに開始されます。このトランザクションにより、デバイスは確認ビットを発行し、すべてのレジスタをパワーオン リセットのデフォルト状態に設定します。

6.5.2.4 SMBus のアラート応答

SMBus のアラート応答 (PicoStarTM バリアントでは利用不可) (バリアントでは利用不可) を使うと、割り込みが発生したデバイスをすばやく識別できます。このアラート応答機能がないと、複数のターゲット デバイスが接続されている場合に、プロセッサはどのデバイスが割り込み ラインをプルしたかを判断できません。

OPT4001-Q1 は、ラッチ ウィンドウ スタイルの比較モードのときに、SMBus アラート応答アドレスに応答するように設計されています。OPT4001-Q1 は、透過モードでは SMBus アラート応答に応答しません。

図 6-9 に、SMBus のアラート応答に対するデバイスの動作を示します。プロセッサへの割り込みラインがアクティブになると、コントローラはアラート応答ターゲットのアドレスをブロードキャストできます。このアラート応答に続いて、アラートを生成したターゲット デバイスは、アラート応答を確認し、対応する I²C アドレスをバス上に送信することで、自身の識別を行います。アラート応答は、複数の異なるターゲット デバイスを同時にアクティビ化することができます。複数のターゲットが応答を試みた場合、バス アービトリレーション ルールが適用されます。アドレスが最も小さいデバイスが調停で優先されます。OPT4001-Q1 が調停に負けた場合、デバイスは I²C トランザクションを承認せず、INT ピンはアクティブ状態のままでなり、I²C コントローラ プロセッサに後続の SMBus アラート応答を発行するよう促します。OPT4001-Q1 が調停で優先権を得ると、デバイスはトランザクションをアクノリッジし、INT ピンを非アクティブに設定します。コントローラは、INT ピンをクリアするために、必要な回数だけ、同じコマンドを再度発行できます。フラグと INT ピンの制御方法については、[割り込み動作モード](#) セクションを参照してください。コントローラは、上記のプロセスでブロードキャストされたアドレスから OPT4001-Q1 割り込みのソースに関する情報を取得できます。FLAG_H 値はアドレスの最後の LSB として送信され、コントローラに OPT4001-Q1 割り込みの原因に関する追加情報を提供します。コントローラが追加情報を必要とする場合は、結果レジスタまたは構成レジスタを照会できます。FLAG_H および FLAG_L フィールドは、SMBus アラート応答ではクリアされません。

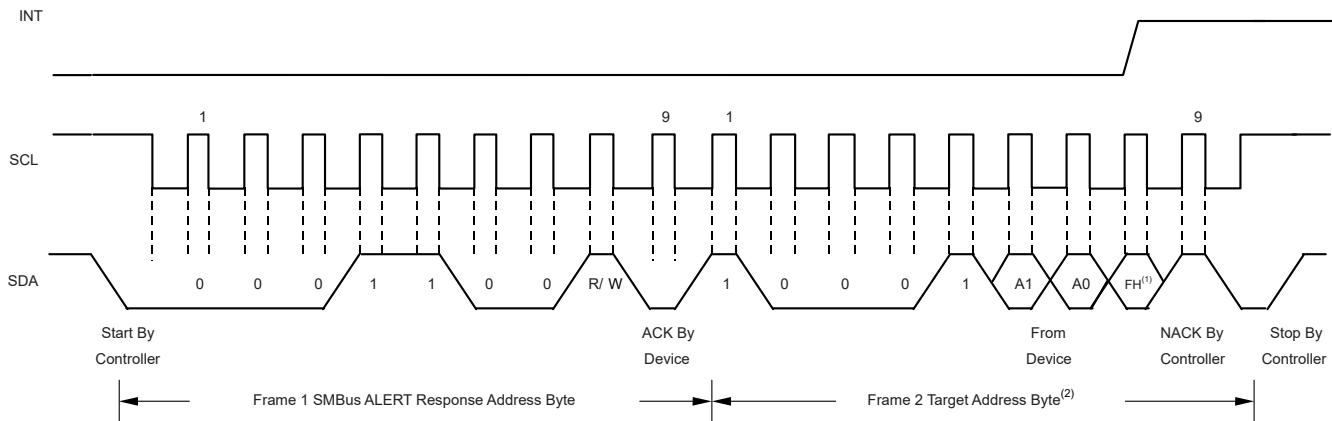


図 6-9. SMBus アラート応答のタイミング図

7 レジスタ マップ

図 7-1. ALL レジスタ マップ

追加	D15	D14	D13	D12	D11	D10	D9	D8	D7	D6	D5	D4	D3	D2	D1	D0
00h	指数				RESULT_MSB											
01h	RESULT_LSB								COUNTER			CRC				
02h	EXPONENT_FIFO0				RESULT_MSB_FIFO0											
03h	RESULT_LSB_FIFO0								COUNTER_FIFO0			CRC_FIFO0				
04h	EXPONENT_FIFO1				RESULT_MSB_FIFO1											
05h	RESULT_LSB_FIFO1								COUNTER_FIFO1			CRC_FIFO1				
06h	EXPONENT_FIFO2				RESULT_MSB_FIFO2											
07h	RESULT_LSB_FIFO2								COUNTER_FIFO2			CRC_FIFO2				
08h	THRESHOLD_L_EXPONENT				THRESHOLD_L_RESULT											
09h	THRESHOLD_H_EXPONENT				THRESHOLD_H_RESULT											
0Ah	QWAKE	0	RANGE			CONVERSION_TIME				OPERATING_MODE		LATCH	INT_POL	FAULT_COUNT		
0Bh			1024							INT_DIR	INT_CFG		0	I2C_BURST		
0Ch			0								OVERLOAD_FLAG	CONVERSATION_READY_FLAG	FLAG_H	FLAG_L		
11h	0		DIDL		DIDH											

7.1 レジスタの説明

7.1.1 レジスタ 0h (オフセット = 0h) [リセット = 0h]

図 7-2. レジスタ 0h

15	14	13	12	11	10	9	8
指数				RESULT_MSB			
R-0h				R-0h			
7	6	5	4	3	2	1	0
RESULT_MSB				R-0h			

凡例: R/W = 読み出し/書き込み、W = 書き込み専用、-n = リセット後の値

図 7-3. レジスタ 00 のフィールドの説明

ビット	フィールド	タイプ	リセット	説明
15-12	指数	R	0h	EXPONENT 出力。光測定のフルスケール レンジを決定します。ルクス計算のスケーリング係数として使用されます
11-0	RESULT_MSB	R	0h	結果レジスタ MSB (最上位ビット)。与えられた指数またはフルスケール レンジ内での光レベルを表す仮数部を計算するために使用されます

7.1.2 レジスタ 1h (オフセット = 1h) [リセット = 0h]

図 7-4. レジスタ 1h

15	14	13	12	11	10	9	8
RESULT_LSB				R-0h			
R-0h				R-0h			
7	6	5	4	3	2	1	0
COUNTER				CRC			
R-0h				R-0h			

凡例: R/W = 読み出し/書き込み、W = 書き込み専用、-n = リセット後の値

図 7-5. レジスタ 01 のフィールドの説明

ビット	フィールド	タイプ	リセット	説明
15-8	RESULT_LSB	R	0h	結果レジスタ LSB (最下位ビット)。与えられた指数またはフルスケール レンジ内での光レベルを表す仮数部を計算するために使用されます
7-4	COUNTER	R	0h	サンプル カウンタ。変換ごとにインクリメントするローリング カウンタ
3-0	CRC	R	0h	CRC ビット。 $R[19:0]=\text{MANTISSA}=((\text{RESULT_MSB} << 8) + \text{RESULT_LSB})$ $X[0]=\text{XOR}(E[3:0], R[19:0], C[3:0])$ XOR of all bits $X[1]=\text{XOR}(C[1], C[3], R[1], R[3], R[5], R[7], R[9], R[11], R[13], R[15], R[17], R[19], E[1], E[3])$ $X[2]=\text{XOR}(C[3], R[3], R[7], R[11], R[15], R[19], E[3])$ $X[3]=\text{XOR}(R[3], R[11], R[19])$

7.1.3 レジスタ 2h (オフセット = 2h) [リセット = 0h]

図 7-6. レジスタ 2h

15	14	13	12	11	10	9	8
EXPONENT_FIFO0				RESULT_MSB_FIFO0			
R-0h				R-0h			
7	6	5	4	3	2	1	0
RESULT_MSB_FIFO0				R-0h			

凡例: R/W = 読み出し/書き込み、W = 書き込み専用、-n = リセット後の値

図 7-7. レジスタ 02 のフィールドの説明

ビット	フィールド	タイプ	リセット	説明
15-12	EXPONENT_FIFO0	R	0h	FIFO 0 からの EXPONENT レジスタ
11-0	RESULT_MSB_FIFO0	R	0h	FIFO 0 からの RESULT_MSB レジスタ

7.1.4 レジスタ 3h (オフセット = 3h) [リセット = 0h]

図 7-8. レジスタ 3h

15	14	13	12	11	10	9	8
RESULT_LSB_FIFO0				R-0h			
7	6	5	4	3	2	1	0
COUNTER_FIFO0				CRC_FIFO0			
R-0h				R-0h			

凡例: R/W = 読み出し/書き込み、W = 書き込み専用、-n = リセット後の値

図 7-9. レジスタ 03 のフィールドの説明

ビット	フィールド	タイプ	リセット	説明
15-8	RESULT_LSB_FIFO0	R	0h	FIFO 0 からの RESULT_LSB レジスタ
7-4	COUNTER_FIFO0	R	0h	FIFO 0 からの COUNTER レジスタ
3-0	CRC_FIFO0	R	0h	FIFO 0 からの CRC レジスタ

7.1.5 レジスタ 4h (オフセット = 4h) [リセット = 0h]

図 7-10. レジスタ 4h

15	14	13	12	11	10	9	8
EXPONENT_FIFO1				RESULT_MSB_FIFO1			
R-0h				R-0h			
7	6	5	4	3	2	1	0
RESULT_MSB_FIFO1				R-0h			

凡例: R/W = 読み出し/書き込み、W = 書き込み専用、-n = リセット後の値

図 7-11. レジスタ 04 のフィールドの説明

ビット	フィールド	タイプ	リセット	説明
15-12	EXPONENT_FIFO1	R	0h	FIFO 1 からの EXPONENT レジスタ
11-0	RESULT_MSB_FIFO1	R	0h	FIFO 1 からの RESULT_MSB レジスタ

7.1.6 レジスタ 5h (オフセット = 5h) [リセット = 0h]

図 7-12. レジスタ 5h

15	14	13	12	11	10	9	8
RESULT_LSB_FIFO1				R-0h			
7	6	5	4	3	2	1	0
COUNTER_FIFO1				CRC_FIFO1			
R-0h				R-0h			

凡例: R/W = 読み出し/書き込み、W = 書き込み専用、-n = リセット後の値

図 7-13. レジスタ 05 のフィールドの説明

ビット	フィールド	タイプ	リセット	説明
15-8	RESULT_LSB_FIFO1	R	0h	FIFO 1 からの RESULT_LSB レジスタ
7-4	COUNTER_FIFO1	R	0h	FIFO 1 からの COUNTER レジスタ
3-0	CRC_FIFO1	R	0h	FIFO 1 からの CRC レジスタ

7.1.7 レジスタ 6h (オフセット = 6h) [リセット = 0h]

図 7-14. レジスタ 6h

15	14	13	12	11	10	9	8
EXPONENT_FIFO2				RESULT_MSB_FIFO2			
R-0h				R-0h			
7	6	5	4	3	2	1	0
RESULT_MSB_FIFO2				R-0h			

凡例: R/W = 読み出し/書き込み、W = 書き込み専用、-n = リセット後の値

図 7-15. レジスタ 06 のフィールドの説明

ビット	フィールド	タイプ	リセット	説明
15-12	EXPONENT_FIFO2	R	0h	FIFO 2 からの EXPONENT レジスタ
11-0	RESULT_MSB_FIFO2	R	0h	FIFO 2 からの RESULT_MSB レジスタ

7.1.8 レジスタ 7h (オフセット = 7h) [リセット = 0h]

図 7-16. レジスタ 7h

15	14	13	12	11	10	9	8
RESULT_LSB_FIFO2				R-0h			
7	6	5	4	3	2	1	0
COUNTER_FIFO2				CRC_FIFO2			
R-0h				R-0h			

凡例: R/W = 読み出し/書き込み、W = 書き込み専用、-n = リセット後の値

図 7-17. レジスタ 07 のフィールドの説明

ビット	フィールド	タイプ	リセット	説明
15-8	RESULT_LSB_FIFO2	R	0h	FIFO 2 からの RESULT_LSB レジスタ
7-4	COUNTER_FIFO2	R	0h	FIFO 2 からの COUNTER レジスタ
3-0	CRC_FIFO2	R	0h	FIFO 2 からの CRC レジスタ

7.1.9 レジスタ 8h (オフセット = 8h) [リセット = 0h]

図 7-18. レジスタ 8h

15	14	13	12	11	10	9	8
THRESHOLD_L_EXPONENT				THRESHOLD_L_RESULT			
R/W-0h				R/W-0h			
7	6	5	4	3	2	1	0
THRESHOLD_L_RESULT				R/W-0h			

凡例: R/W = 読み出し/書き込み、W = 書き込み専用、-n = リセット後の値

図 7-19. レジスタ 08 のフィールドの説明

ビット	フィールド	タイプ	リセット	説明
15-12	THRESHOLD_L_EXPONENT	R/W	0h	スレッショルド Low レジスタ指数
11-0	THRESHOLD_L_RESULT	R/W	0h	スレッショルド Low レジスタ結果

7.1.10 レジスタ 9h (オフセット=9h) [リセット=BFFFh]

図 7-20. レジスタ 9h

15	14	13	12	11	10	9	8
THRESHOLD_H_EXPONENT				THRESHOLD_H_RESULT			
R/W-Bh				R/W-Fh			
7	6	5	4	3	2	1	0
THRESHOLD_H_RESULT				R/W-FFh			

凡例: R/W = 読み出し/書き込み、W = 書き込み専用、-n = リセット後の値

図 7-21. レジスタ 09 のフィールドの説明

ビット	フィールド	タイプ	リセット	説明
15-12	THRESHOLD_H_EXPONENT	R/W	Bh	スレッショルド High レジスタ指数
11-0	THRESHOLD_H_RESULT	R/W	FFFh	スレッショルド High レジスタ結果

7.1.11 レジスタ Ah (オフセット = Ah) [リセット = 3208h]

図 7-22. レジスタ Ah

15	14	13	12	11	10	9	8
QWAKE	0	RANGE				CONVERSION_TIME	
R/W-0h	R/W-0h	R/W-Ch				R/W-2h	
7	6	5	4	3	2	1	0
CONVERSION_TIME	OPERATING_MODE			LATCH	INT_POL	FAULT_COUNT	
R/W-0h	R/W-0h			R/W-1h	R/W-0h	R/W-0h	

凡例: R/W = 読み出し/書き込み、W = 書き込み専用、-n = リセット後の値

図 7-23. レジスタ 0A のフィールドの説明

ビット	フィールド	タイプ	リセット	説明
15-15	QWAKE	R/W	0h	すべての回路の電源を切らずに、ワンショットモードでスタンバイからすばやくウェークアップします。ワンショットモードでのみ適用され、完全なスタンバイモードに比べて消費電力は増えますが、スタンバイモードからより早く抜け出すことができます。
14-14	0	R/W	0h	0の読み取りまたは書き込み必須
13-10	RANGE	R/W	Ch	デバイスのフルスケール光レベルレンジを制御します。このレジスタ形式は、0 ~ 8 のすべての値で EXPONENT レジスタと同じです。 RANGE と、対応する EXPONENT 値については、 セクション 6.4.3 を参照してください。
9-6	CONVERSION_TIME	R/W	8h	デバイス変換時間を制御する 0: 600μs 1: 1ms 2: 1.8ms 3: 3.4ms 4: 6.5ms 5: 12.7ms 6: 25ms 7: 50ms 8: 100ms 9: 200ms 10: 400ms 11: 800ms
5-4	OPERATING_MODE	R/W	0h	デバイスの動作モードを制御 0: パワードウン 1: 強制的な自動レンジワンショット 2: ワンショット 3: 連続
3-3	LATCH	R/W	1h	スレッショルド検出ロジックの INT ピンの割り込み報告機構の機能を制御します (PicoStar™ バリアントでは使用できません)。
2-2	INT_POL	R/W	0h	INT ピンの極性またはアクティブ状態を制御します (PicoStar™ バリアントでは使用できません)。 0: アクティブ Low 1: アクティブ High
1-0	FAULT_COUNT	R/W	0h	故障カウントレジスタは、スレッショルド機構 (フラグ High (FLAG_H) レジスタとフラグ Low (FLAG_L) レジスタ) をトリガるために必要な連続故障イベントの数をデバイスに指示します。 0: 1 つの故障カウント 1: 2 つの故障カウント 2: 4 つの故障カウント 3: 8 つの故障カウント

7.1.12 レジスタ Bh (オフセット = Bh) [リセット = 8011h]

図 7-24. レジスタ Bh

15	14	13	12	11	10	9	8
1	0	0	0	0	0	0	0
R/W-1h	R/W-0h	R/W-0h	R/W-0h	R/W-0h	R/W-0h	R/W-0h	R/W-0h
7	6	5	4	3	2	1	0
0	0	0	INT_DIR	INT_CFG		0	I2C_BURST
R/W-0h	R/W-0h	R/W-0h	R/W-1h	R/W-0h		R/W-0h	R/W-1h

凡例: R/W = 読み出し/書き込み、W = 書き込み専用、-n = リセット後の値

図 7-25. レジスタ 0B のフィールドの説明

ビット	フィールド	タイプ	リセット	説明
15-5	1024	R/W	400h	1024 の読み取りまたは書き込み必須
4-4	INT_DIR	R/W	1h	INT ピンの方向を決定します (PicoStar™ バリエントでは使用できません)。 0: 入力 1: 出力
3-2	INT_CFG	R/W	0h	変換終了後の出力割り込み機構を制御します (PicoStar™ バリエントでは使用できません)。 0: SMBUS アラート 1: 変換ごとに INT ピンがアサートされます 2: 無効 3: 変換 4 回ごとに INT ピンがアサートされます (FIFO フル)
1-1	0	R/W	0h	0 の読み取りまたは書き込み必須
0-0	I2C_BURST	R/W	1h	設定すると、I2C バーストモードが有効になり、レジスタの読み取りごとに読み取りレジスタポインタが 1 ズつ自動的にインクリメントされて、I2C 読み取りサイクルが最小限に抑えられます

7.1.13 レジスタ Ch (オフセット = Ch) [リセット = 0h]

図 7-26. レジスタ Ch

15	14	13	12	11	10	9	8
0	0	0	0	0	0	0	0
R/W-0h	R/W-0h	R/W-0h	R/W-0h	R/W-0h	R/W-0h	R/W-0h	R/W-0h
7	6	5	4	3	2	1	0
0	0	0	0	OVERLOAD_F LAG	CONVERSION _READY_FLAG	FLAG_H	FLAG_L
R/W-0h	R/W-0h	R/W-0h	R/W-0h	R-0h	R-0h	R-0h	R-0h

凡例: R/W = 読み出し/書き込み、W = 書き込み専用、-n = リセット後の値

図 7-27. レジスタ 0C のフィールドの説明

ビット	フィールド	タイプ	リセット	説明
15-4	0	R/W	0h	0 の読み取りまたは書き込み必須
3-3	OVERLOAD_FLA G	R	0h	データ変換プロセスでオーバーフロー状態が発生したことを示します。通常は、デバイスを照らす光がフルスケールレンジを超えたことが原因です。
2-2	CONVERSION_R EADY_FLAG	R	0h	変換準備完了フラグは、変換が完了したことを示します。このフラグは変換の終了時に 1 に設定され、レジスタ アドレス 0xC が読み取られるか、ゼロ以外の値で書き込まれるとクリアされます (0 に設定) 0: 変換進行中 1: 変換完了
1-1	FLAG_H	R	0h	フラグ High レジスタは、変換の結果が指定された閾値レベルより高い測定結果となったことを示します。FAULT_COUNT レジスタで定義された連続した測定回数にわたって結果が THRESHOLD_H_EXPONENT レジスタと THRESHOLD_H_RESULT レジスタのレベルより大きい場合、FLAG_H は 1 に設定されます。
0-0	FLAG_L	R	0h	フラグ Low レジスタは、変換の結果が指定された閾値レベルより低い測定結果となったことを示します。FAULT_COUNT レジスタで定義された連続した測定回数にわたって結果が THRESHOLD_LOW_EXPONENT レジスタと THRESHOLD_L_RESULT レジスタのレベルより小さい場合、FL は 1 に設定されます。

7.1.14 レジスタ 11h (オフセット = 11h) [リセット = 121h]

図 7-28. レジスタ 11h

15	14	13	12	11	10	9	8
0	0	DIDL		DIDH			
R/W-0h	R/W-0h	R-0h		R-1h			
7	6	5	4	3	2	1	0
			DIDH				
				R-21h			

凡例: R/W = 読み出し/書き込み、W = 書き込み専用、-n = リセット後の値

図 7-29. レジスタ 11 のフィールドの説明

ビット	フィールド	タイプ	リセット	説明
15-14	0	R/W	0h	0 の読み取りまたは書き込み必須
13-12	DIDL	R	0h	デバイス ID L
11-0	DIDH	R	121h	デバイス ID H

8 アプリケーションと実装

注

以下のアプリケーション情報は、テキサス・インスツルメンツの製品仕様に含まれるものではなく、テキサス・インスツルメンツはその正確性も完全性も保証いたしません。個々の目的に対する製品の適合性については、お客様の責任で判断していただくことになります。また、お客様は自身の設計実装を検証しテストすることで、システムの機能を確認する必要があります。

8.1 アプリケーション情報

周囲光センサは、人間の目で知覚される光を正確に測定する必要があるさまざまなアプリケーションで使用されるため、センサには人間の目を模倣した特殊なフィルタが搭載されています。次のセクションでは、OPT4001-Q1 をアプリケーションに統合するための重要な情報を示します。

8.2 代表的なアプリケーション

8.2.1 電気的インターフェイス

図 8-1 に示すように、電気インターフェイスは非常にシンプルです。OPT4001-Q1 I²C SDA ピンと SCL ピンを、アプリケーション プロセッサ、マイクロコントローラ、またはその他のデジタル プロセッサの同じピンに接続します。そのデジタル プロセッサが OPT4001-Q1 からの重要なイベントに起因する割り込みを必要とする場合は、INT ピンをプロセッサの割り込みピンまたは汎用 I/O ピンに接続します (INT ピンは PicoStar™ パッケージでは利用不可)。この INT ピンには、ワンショット モードで測定をトリガする、低電力モードからウェイクアップするようにシステムに信号を送る、関心のある周囲光イベントを待機しながら他のタスクを処理する、サンプルの読み取り準備が完了したことをプロセッサに通知するなど、さまざまな用途があります。デジタル通信に適した電源と SDA ピンおよび SCL ピンの間にプルアップ抵抗を接続します (ピンはオープン ドレイン出力構造になっているため)。INT ピンを使用する場合は、INT ピンにプルアップ抵抗を接続します。これらのプルアップ抵抗の標準的な値は 10kΩ です。抵抗の選択は、バス容量との組み合わせて最適化することができ、システムの速度、電力、ノイズ耐性、その他の要件のバランスをとります。

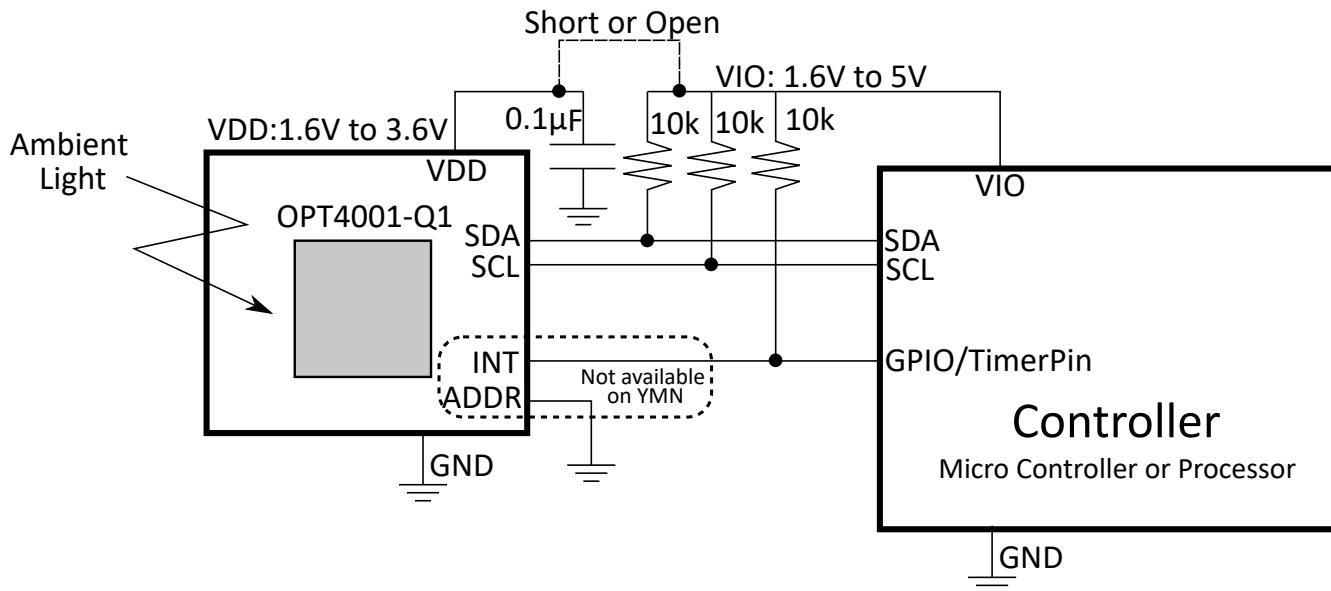


図 8-1. 代表的なアプリケーション回路図

電源とグランディングに関する考慮事項については、[電源に関する推奨事項](#) セクションで説明します。

SDA ピン回路および SCL ピン回路にはスパイク抑制機能が組み込まれていますが、通信ラインへの結合量を最小限に抑えるために適切なレイアウト手法を使用してください。ノイズが発生する原因としては、2 つの通信回線間の信号エッジ

の容量結合が考えられます。もう一つのノイズ発生の原因としては、システム内に存在する他のスイッチングノイズ源、特に長い通信ラインなどが挙げられます。ノイズの多い環境では、通信ラインをシールドして、誤って解釈される可能性のあるデジタル I/O ラインへの意図しないノイズ結合の可能性を減らします。

8.2.1.1 設計要件

このセクションでは、暗色ガラスで囲まれた筐体のカットアウトの内側にあるシステムに統合された光センサの設計要件について説明します。このアプリケーションは、光センサシステムの統合の一般的な例です。センサの視野角 (FoV) や暗色ガラス透過率などの主な検討事項については、[光インターフェイス](#) セクションで説明しています。

8.2.1.1.1 光インターフェイス

図 8-3 に、光領域の寸法を示します。

光インターフェイスは、物理的には、PicoStar™バリエントの電気的インターフェイスと同じ側に配置されており、USON ではピンから離して配置されています (以下の図を参照)。

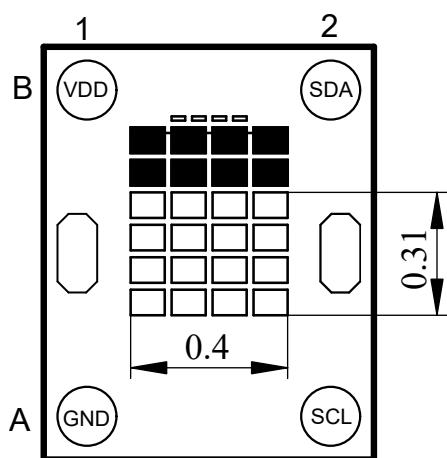


図 8-2. PicoStar™ センサの位置

pin 1

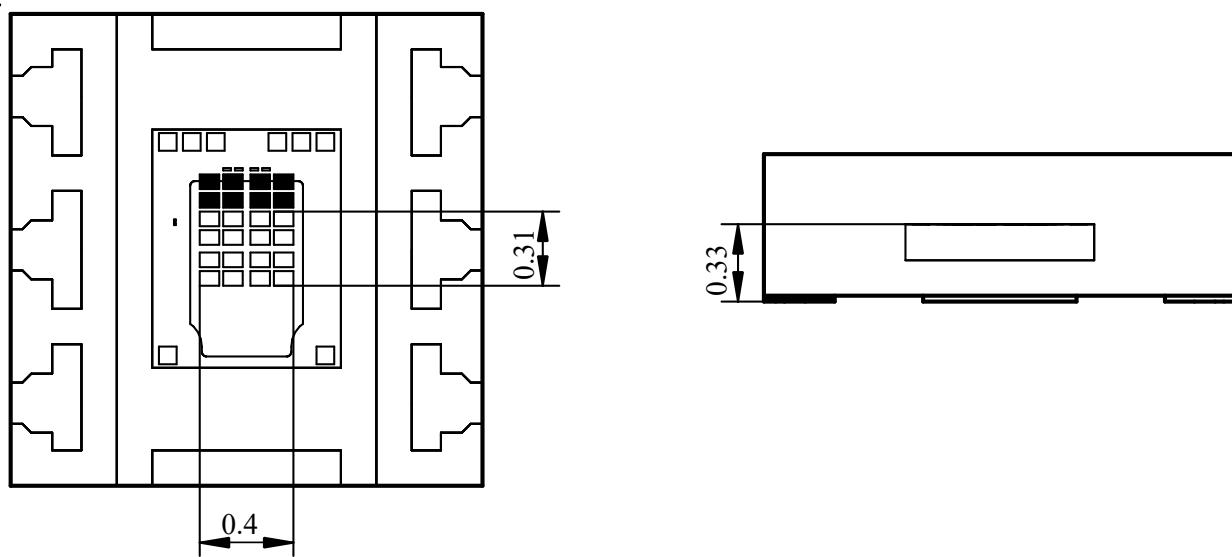


図 8-3. USON センサの位置

PicoStar™ バリアント システムの場合、センサを照らす光は **FPCB** を通過する必要があります。通常、最良の方法は **FPCB** にカットアウト領域を作成することです。他の方法も可能ですが、関連する設計上のトレードオフも存在します。このカットアウトは慎重に設計する必要があります。寸法と許容誤差が、ネットシステムの光学視野の性能に影響を与えるためです。このカットアウトの設計については、[セクション 8.5.2](#) で詳しく説明します。

一般に、光センサのセンシング領域を照らす光に影響を与える物理的なコンポーネントも、その光センサの性能に影響を及ぼします。たとえば、暗いウインドウや不透明なウインドウを使用して、センサを視野から隠すことで、デザインの視覚的魅力をさらに高めることができます。このウインドウの材質は通常、透明なプラスチックまたはガラスです。したがって、最高の性能を得るために、これらのコンポーネントの影響を理解し、制御するようにしてください。センサを照射するのに十分な視野から光を確保できるように、ウインドウの幅と高さを設計します。最高の性能を得るには、視野角を $\pm 35^\circ$ 以上、できれば $\pm 45^\circ$ 以上にしてください。視野角の理解と設計については、アプリケーション ノート [Ambient Light Sensor Application Guide \(周辺光センサ アプリケーション ガイド\)](#) で詳しく説明しています。

暗いウインドウ用の可視スペクトル伝送は、一般に 5% ~ 30% の範囲ですが、1% 未満の場合もあります。可視スペクトルの透過率を低くして、十分な視覚的アピールを達成するために必要な値を低くします。これは、透過率が低下すると、センサが測定できる光が減少するためです。透明なウインドウ材にインクを塗布するか、ウインドウ材に染料やその他の光学物質を入れることで、窓が暗くなります。ウインドウの可視スペクトルでのこの減衰透過は、デザインの外側の光とデバイスによって測定される光との比を生み出します。設計外の光を正確に測定するには、この比率でデバイス測定を補償します。

暗いウインドウのインクと染料は、可視光への透過性を最小限に抑えるという主な目的を果たしますが、一部のインクと染料は赤外線光に非常に透過性があります。これらのインクと染料を使用すると、可視光と赤外線の比率がさらに低下し、センサの測定精度が低下します。しかし、デバイスの赤外と赤外の除去が優れているため、この効果は最小限に抑えられ、同様のスペクトル応答を持つ暗いウインドウでも良好な結果を得られます。

最高の精度を得るためにには、設計者が光学的効果を十分に理解していない限り、グリルのようなウインドウ構造は避けください。これらのグリルのようなウインドウ構造がセンサ上に不均一な照明パターンを生成し、配置の許容誤差や光の入射角によって光測定結果が変化します。グリルのような構造が必要な場合には、本デバイスが照明の均一性の問題に対して最小限にしか影響しないため、測定プロセスを中断することができるため、優れたセンサ選択肢となります。

光パイプは、センサに光をもたらす光学機械設計を支援するために魅力的なように見えます。ただし、システム設計者が設計および目的の完全な文脈内で光パイプの光学物理の影響を完全に理解していない限り、光センサと一緒に光パイプを使用しないでください。

8.2.1.2 詳細な設計手順

8.2.1.2.1 光学機械設計 (PicoStar™ バリアント)

電気設計と光学インターフェイスの理解ができたら、次のタスクは **FPCB** カットアウトの光学機械設計です。このカットアウトは、**FPCB** メーカーの許容範囲機能と組み合わせて設計します。または、逆に、このカットアウトを作成する機能については、**FPCB** メーカーを選択します。ここでは、標準の **FPCB** レーザーで作成されたカットアウトの半長方形の形状を示します。コスト、許容誤差、性能のトレードオフがさまざまに異なる、多くの代替アプローチがあります。

作成された **FPCB** の画像に、プラスの形状のカットアウトと長方形の形状のカットアウトが示されています。プラスの形状は、広い視野を持つ両方向の光の収集に適しています。長方形のカットアウト形状の場合、**FPCB** から生成された影がセンサの近くに入らないため、カットアウトの長い(垂直)方向の角度応答への影響は最小限です。長いカットアウト方向は、視野の制限が少ない回転軸を定義します。[OPT4001-Q1](#) への電気接続によって制限されるカットアウトの狭い(水平)方向により、角度応答にわずかな影響を与える影が発生する可能性があります。狭いカットアウト方向は、より制限されたビューの回転軸を定義します。影が発生する可能性は、センス領域を備えた [OPT4001](#) デバイスがカットアウト付き **FPCB** に半田付けされた状態を示す断面図 [図 8-6](#) に示されています。円形のカットアウトでは、あらゆる方向の光から影が落ちるため、視野が制限されます。TI は、影の影響とセンサの視野への影響を考慮することを推奨しています。製品フォルダには、これらの成果物を理解するのに役立つアプリケーション ノートとツールが含まれています。

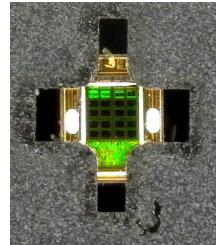


図 8-4. OPT4001-Q1 を実装した FPCB の画像。プラス形状のカットアウトを通して光を受ける



図 8-5. OPT4001-Q1 を実装した FPCB の画像。長方形形状のカットアウトを通して光を受ける

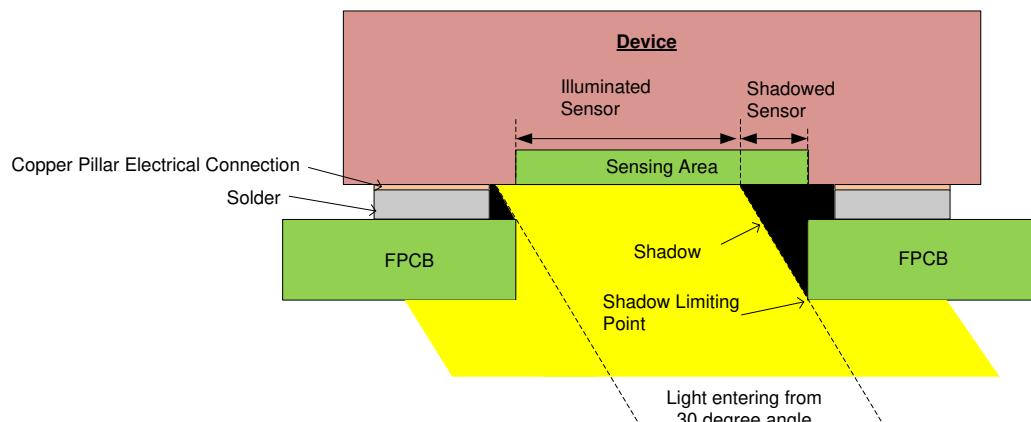


図 8-6. カットアウトのある FPCB に OPT4001-Q1 を半田付けした断面図 (斜めからの光を含む)

デバイスと FPCB のアセンブリの上に製品ケースを置く必要が生じる場合もあります。このようなアセンブリのウィンドウのサイズと配置については、[周囲光センサ アプリケーション ガイド](#)でさらに詳しく説明されています。

8.2.1.3 アプリケーション曲線 (PicoStar™ バリエント)

図 8-7 と 図 8-8 は、図 8-14 に示されている長方形のカットアウト ホールに対するデバイスの応答曲線の例を示しています。カットアウトの形状は全体的な光収集に影響を与え、視野をクリアにすることができます。

OPT4001-Q1 PicoStar™ パッケージの人間の目とのマッチングは 図 5-3 に示されています。この明所視反応により、照明条件全体で正確な光強度の読み取り値を報告するセンサの機能が決まります。角度に対するデバイスの応答は 図 5-5 に示されています。センサがシステム レベルで統合されると、両方の曲線が影響を受けます。システム レベルの設計上の考慮事項の詳細については、[周囲光センサ アプリケーション ガイド](#)を参照してください。

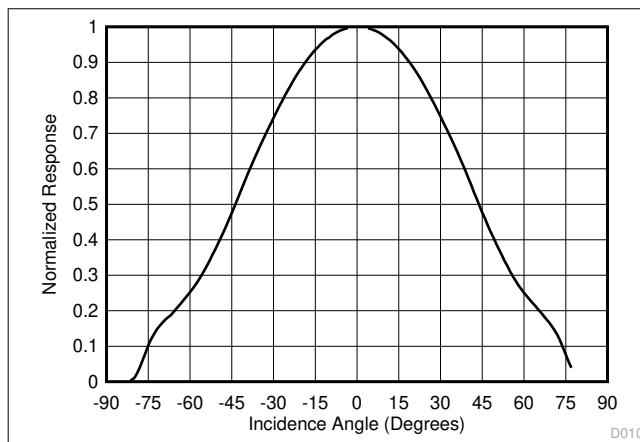


図 8-7. より制限の少ない回転軸に沿ったこの FPCB 設計の角度応答

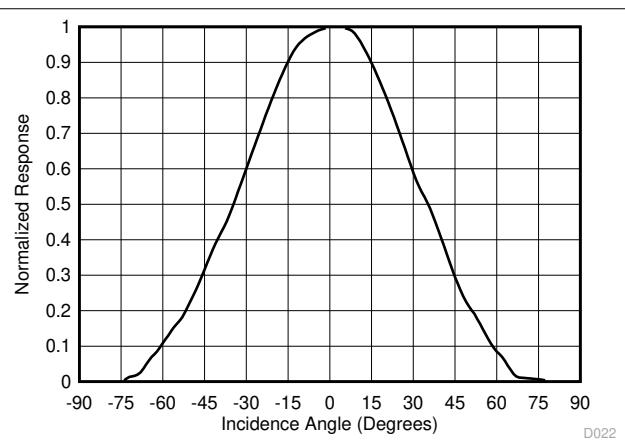


図 8-8. より制限の多い回転軸に沿ったこの FPCB 設計の角度応答

8.2.1.4 アプリケーション曲線 (その他のバリエント)

人間の目の明所視反応に一致するセンサのスペクトル ([図 5-2](#)、[図 5-3](#) を参照) により、さまざまな照明条件で正確な光強度の測定値を報告するセンサの機能が決まります。裸のデバイスの角度に対する応答は [図 5-4](#) に示されています。これら両方の曲線は、センサがシステム レベルで統合されると影響を受ける可能性があります。[周囲光センサ アプリケーション ガイド](#)には、光センサの統合とシステム レベルの設計上の考慮事項に関する詳細が記載されています。

8.3 設計のベスト プラクティス

他の光学製品と同様、OPT4001-Q1 を取り扱うときは特に注意してください。デバイスのプロトタイプ製作時および量産時の両方で、最高の性能を得るために、デバイスの光学面はクリーンな状態に維持する必要があります。指紋、ほこり、その他の光学的に阻害される汚染物質がないように、光学面を清潔に保ちます。適切なサイズの真空操作ツールを使用して、デバイスを取り扱います。

デバイスの光学面を清掃する必要がある場合は、脱イオン水またはイソプロピルアルコールを含ませた柔らかい綿棒で数回軽くこすってください。研磨剤による洗浄や工具の操作、および光学面を傷つける過度の力は避けてください。

OPT4001-Q1 の性能がなんらかの理由で低下した場合は、光学面に汚れ、かき傷、その他の光学的アーチファクトがないかを検査します。

8.4 電源に関する推奨事項

OPT4001-Q1 は電源の問題に対する感度は低いですが、常に適切な対策が推奨されます。最高のパフォーマンスを得るには、デバイスの VDD ピンに、デバイスの近くに 100nF のバイパスコンデンサを配置し、しっかりと接地された、安定した低ノイズ電源が必要です。デバイスの消費電流レベルが低いため、デバイスに電力を供給するためのオプションは多くあります。

8.5 レイアウト

8.5.1 レイアウトのガイドライン

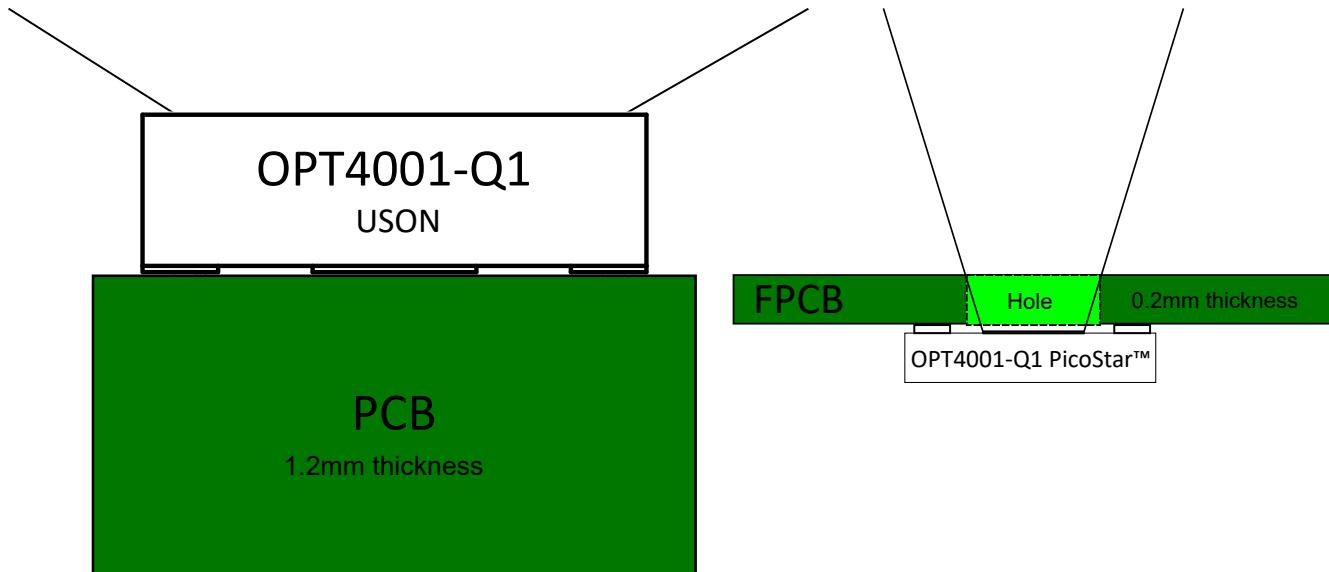


図 8-9. パッケージの配置側面図

デバイスの USON パッケージ バリエントの場合、光に敏感な領域とデバイス ピンが互いに反対側にあるため、PCB 上の従来の配置により良好な光収集が実現します。PicoStar™ タイプのデバイスの場合、光センス領域とデバイス ピンが同じ側にあるため、良好な光収集を実現するには、図 8-9 に示すような特別な配置が必要です。通常、PicoStar™ バリエントの広角光収集には、光学領域の周囲に穴またはカットアウトがある薄いフレキシブル PCB が必要です。通常の PCB を使用することもできますが、収集された光の量と光収集の視野があまり良くなく、一般的には推奨されません。光を収集するためのカットアウトは、光センス領域に十分な光が当たるように十分な大きさの開口部があれば、どのような形状でも構いません。図 8-13 と 図 8-14 に、光の収集量を最大化するのに役立つ 2 つの形状の例を示します。製造上許される限り大きな円形のカットアウトも許容されますが、視野が制限され、集光が減少する可能性があります。TI の製品フォルダでは、穴のサイズに基づいて視野角を推定するためのツールと資料が入手できます。

デカップリング コンデンサをデバイスの近くに配置することを強く推奨しますが、部品の光反射表面も設計の性能に影響を及ぼすことに注意してください。二次的な光学反射によって予期しない結果が生じるのを防止するため、センサの周囲のすべての部品と構造の三次元形状を考慮します。通常は、コンデンサおよび部品を部品の高さの少なくとも 2 倍の距離に配置するだけで十分です。最良の光学レイアウトは、すべての近接した部品を OPT4001-Q1 から PCB の反対側に配置することです。ただし、このアプローチは、すべての設計の制約に対して実用的ではありません。

また、適切な SMT アセンブリを実現するには、デバイスのレイアウトも重要です。このパッケージには、半田マスク定義パッド (SMD) と非半田マスク定義パッド (NSMD) の 2 種類のランド パターン パッドを使用できます。SMD パッドには、金属パッドよりも小さいはんだマスク開口部がありますが、NSMD には金属パッドよりも大きいはんだマスク開口部があります。図 8-10 に、これらの種類のランディング パターン パッドを示します。SMD パッドが推奨されます。これらのパッドは、トレース接続によってより正確なハンダ付けパッド寸法を実現するためです。SMT および PCB の推奨事項の詳細については、ハンダ付けおよび取り扱いに関する推奨事項セクションを参照してください。

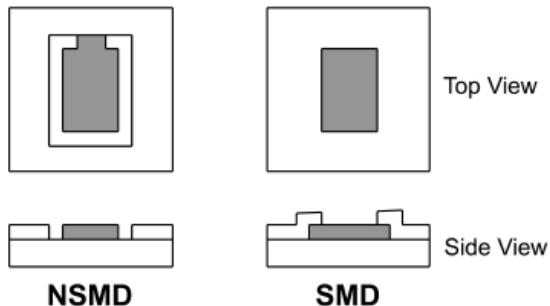


図 8-10. 半田マスク定義パッド (SMD) と非半田マスク定義パッド (NSMD)

8.5.1.1 半田付けと取り扱いに関する推奨事項 (PicoStar™ バリアント)

OPT4001-Q1 は、半田付けと取り扱いに関して特別な考慮が必要な小型デバイスです。デバイスとカットアウト領域の位置合わせの影響については、[セクション 8.2.1.2.1](#) を参照してください。半田付けパッドの考慮事項については、[セクション 8.5.1](#) を参照してください。

OPT4001-Q1 を PCB から取り外す必要がある場合、デバイスは再取り付けせず破棄してください。

注

過剰な熱を加えると、デバイスが変色し、光学性能に影響するおそれがあります。

一般的な光デバイスと同様に、OPT4001-Q1 は特別な注意を払って取り扱い、受光面に汚れや傷が付かないようにしてください。より詳細な推奨事項については、[セクション 8.3](#) を参照してください。最高の光学性能を得るには、半田付け工程の後にはんだフラックスやその他の破片をすべて除去する必要があります。

8.5.1.1.1 半田ペースト

半田ペーストの堆積には、圧力を加えてあらかじめ定義された開口部から半田ペーストを転写するステンシル印刷プロセスを使用します。アパーチャの面積比や製造プロセスなどのステンシル パラメータは、ペーストの堆積に大きな影響を与えます。電解研磨法でレーザーを使用してステンシル開口部を切断します。ステンシル開口部の壁を 5° テーパして、貼り付けを容易にします。半田ペーストをデバイスの外側に移動すると、半田がデバイスの検出領域に入る可能性を最小限に抑えることができます。このデータシートの最後に添付されているメカニカル パッケージを参照してください。

半田ペースト選択タイプ 4 以上の無洗浄鉛フリー半田ペーストを使用します。リフロー工程で半田が飛び散る場合は、通常または低フラックス含有量の半田ペーストを選択するか、[セクション 8.5.1.1.3](#) に従ってリフロー プロファイルを変更します。

8.5.1.1.2 パッケージの配置

サイズ番号が 0.6 mm を超えるピック アンド プレースノズルを使用します。部品の厚さをプログラムして配置する場合は、実際の部品の厚さに 0.04 mm を加えて、パッケージが半田ペーストの中間に収まるようにします。

デバイスの配置方法については、半田ペーストの押し出し、パッケージの剥離、半田ブリッジ、または半田ボールを回避するために、3N 以上の力を選択してください。

8.5.1.1.3 リフロー プロファイル

図 8-11 のプロファイルを使用し、必要に応じて調整します。半田がセンシング領域に飛び散る可能性を最小限に抑えるには、1°C ~ 1.2°C/s の低速半田リフロー ランプ レートを使用します。

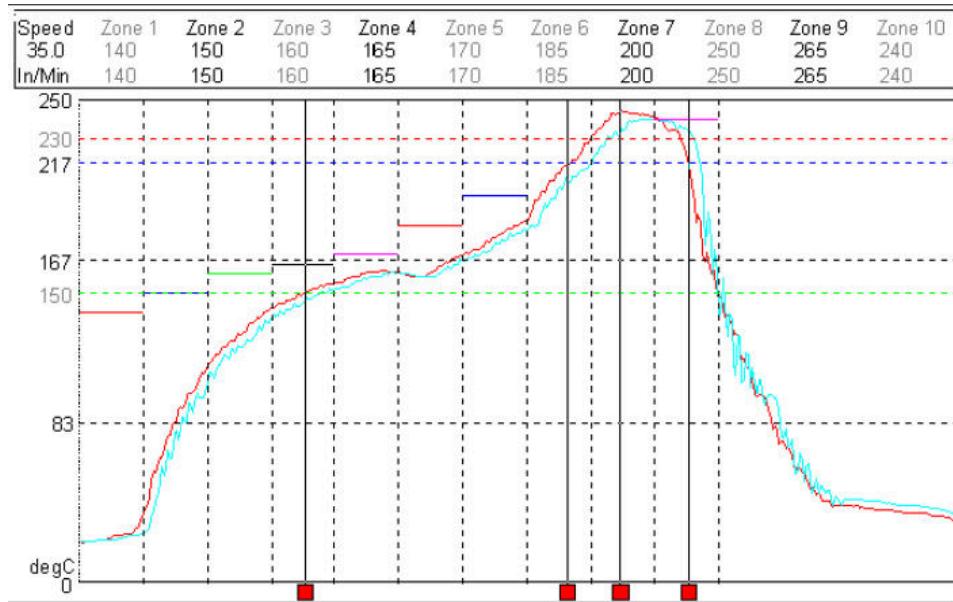


図 8-11. 推奨半田リフロー温度プロファイル

8.5.1.1.4 特別なフレキシブルプリント基板(FPCB)に関する推奨事項

特別なフレキシブルプリント基板(FPCB)設計の推奨事項:

- IPC-6013に準拠して製造してください。
- IPC 4204/11に準拠した柔軟な銅クラッドの材料を使用します(製品の用途ごとにポリイミドと銅の厚さを定義します)。
- 仕上げ:すべての露出銅は、IPC 4556に準拠した無電解Ni浸漬金(ENIG)です。
- IPC SM840準拠の半田マスク。
- レーザーを使用して、光検出のためのカットアウトを作成し、精度を向上させ、半田付けパッドの寸法に影響を与えるないようにします。パンチカットアウトなど、他のオプションも使用できます。デバイスの影響からカットアウト領域のサイズと位置合わせまで、詳細については [セクション 8.2.1.2.1](#) を参照してください。公差を含め、完全な設計を考慮する必要があります。

非常に薄いフレキシブル回路の処理を支援するために、ペースト印刷、ピック&プレース、リフロー プロセスを通じてフレキシブル回路を保持するための治具を設計および製造します。そのような備品の例については、工場にお問い合わせください。

8.5.1.1.5 リワークプロセス

デバイスを PCB から取り外す必要がある場合は、デバイスを廃棄し、再取り付けしないでください。PCB/フレックスケーブルからパッケージを取り外すには、半田接合部を液相線温度以上に加熱します。リワークの前に、PCB にひび割れが生じたり、剥離を引き起こす可能性のある水分を除去するために、基板を 125°C で 4 時間焼きます。熱加熱プロファイルを使用して、パッケージをマウントするプロファイルに近いパッケージを削除します。新しいパッケージをインストールする準備として、余分なはんだと残留物を取り除いて設置場所を清掃します。ミニステンシル(局所ステンシル)を使用して、ランドパターンには半田ペーストを塗布します。間隔などの理由でミニステンシルが使用できない場合は、パッケージパッドに直接半田ペーストを塗布し、マウントしてリフローしてください。

8.5.2 レイアウト例

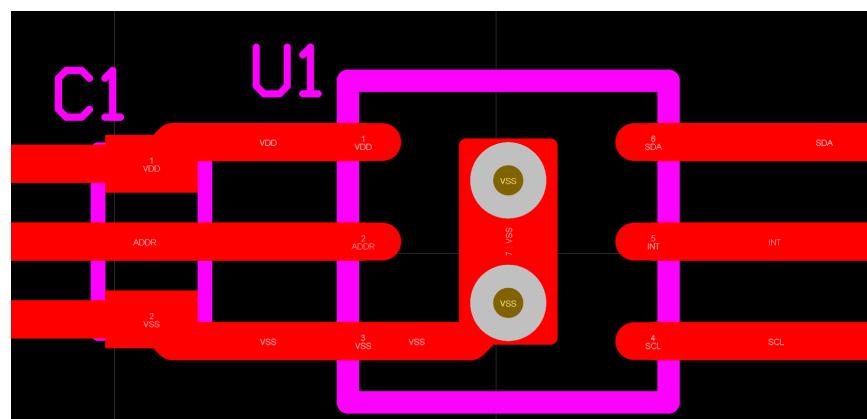


図 8-12. DNP パッケージのレイアウト例

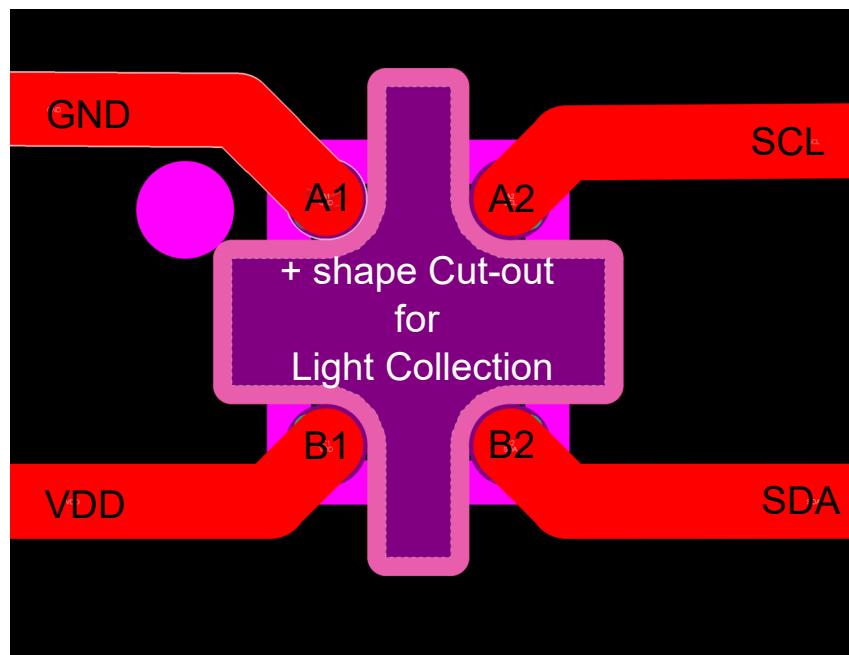


図 8-13. プラス型カットアウト付き YMN パッケージのレイアウト例

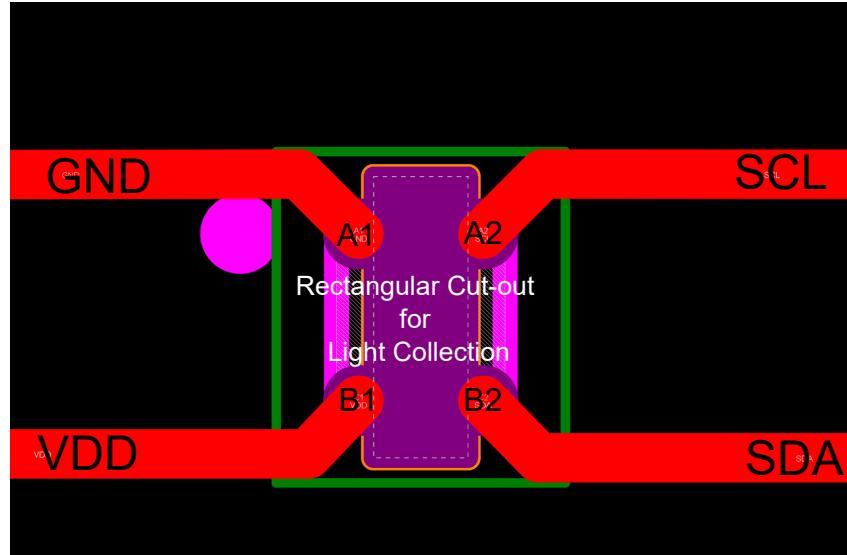


図 8-14. 長方形カットアウト付き YMN パッケージのレイアウト例

9 デバイスおよびドキュメントのサポート

9.1 ドキュメントのサポート

9.1.1 関連資料

関連資料については、以下を参照してください。

- テキサス・インスツルメンツ、[周囲光センサ アプリケーション ガイド](#)、アプリケーション ノート
- テキサス・インスツルメンツ、[OPT4001YMNEVM ユーザー ガイド](#)
- テキサス・インスツルメンツ、[光センサ評価基板](#)、ユーザー ガイド
- テキサス・インスツルメンツ、[QFN と SON の PCB 実装](#)、アプリケーション ノート
- テキサス・インスツルメンツ、[PicoStar™ パッケージ光センサアセンブリ ガイドライン](#)、アプリケーション ノート

9.2 ドキュメントの更新通知を受け取る方法

ドキュメントの更新についての通知を受け取るには、www.tij.co.jp のデバイス製品フォルダを開いてください。[通知] をクリックして登録すると、変更されたすべての製品情報に関するダイジェストを毎週受け取ることができます。変更の詳細については、改訂されたドキュメントに含まれている改訂履歴をご覧ください。

9.3 サポート・リソース

テキサス・インスツルメンツ E2E™ サポート・フォーラムは、エンジニアが検証済みの回答と設計に関するヒントをエキスパートから迅速かつ直接得ることができる場所です。既存の回答を検索したり、独自の質問をしたりすることで、設計で必要な支援を迅速に得ることができます。

リンクされているコンテンツは、各寄稿者により「現状のまま」提供されるものです。これらはテキサス・インスツルメンツの仕様を構成するものではなく、必ずしもテキサス・インスツルメンツの見解を反映したものではありません。テキサス・インスツルメンツの[使用条件](#)を参照してください。

9.4 商標

PicoStar™ and テキサス・インスツルメンツ E2E™ are trademarks of Texas Instruments.

すべての商標は、それぞれの所有者に帰属します。

9.5 静電気放電に関する注意事項

 この IC は、ESD によって破損する可能性があります。テキサス・インスツルメンツは、IC を取り扱う際には常に適切な注意を払うことをお勧めします。正しい取り扱いおよび設置手順に従わない場合、デバイスを破損するおそれがあります。

ESD による破損は、わずかな性能低下からデバイスの完全な故障まで多岐にわたります。精密な IC の場合、パラメータがわずかに変化するだけで公表されている仕様から外れる可能性があるため、破損が発生しやすくなっています。

9.6 用語集

[テキサス・インスツルメンツ用語集](#) この用語集には、用語や略語の一覧および定義が記載されています。

10 改訂履歴

資料番号末尾の英字は改訂を表しています。その改訂履歴は英語版に準じています。

Changes from Revision D (December 2024) to Revision E (June 2025)	Page
• DTS パッケージを削除	1
• ドキュメント全体にわたって表、図、相互参照の採番方法を更新	2
• バースト読み取りモードセクションに正しいレジスタ読み取り動作が含まれるように I ² C 動作図を変更	24

Changes from Revision C (June 2024) to Revision D (December 2024)	Page
• ドキュメント全体にわたって表、図、相互参照の採番方法を更新.....	2
• USON パッケージのピーク放射スペクトル応答性を 550nm から 560nm に変更.....	5
• 光学機械設計 (SOT-5X3 バリアント) セクションを削除.....	39

Changes from Revision B (January 2024) to Revision C (June 2024)	Page
• ドキュメント全体にわたって表、図、相互参照の採番方法を更新.....	1
• 「特長」に PicoStar™ パッケージを追加.....	1
• ドキュメント全体にわたって表、図、相互参照の採番方法を更新.....	2
• PicoStar™ パッケージを追加.....	4
• PicoStar™ のスペクトル応答と波長、デバイスの応答と照度角度の関係を追加.....	9
• PicoStar™ パッケージ用のレンジ選択設定を追加.....	18
• PicoStar™ パッケージの分解能表を追加.....	21
• PicoStar™ センサの位置を追加.....	38
• 光学機械設計 (PicoStar™ バリアント) を追加.....	39
• アプリケーション曲線 (PicoStar™ バリアント) を追加.....	41
• PicoStar™ パッケージの配置図を追加.....	42
• 半田付けと取り扱いに関する推奨事項 (PicoStar™ バリアント) を追加.....	43
• PicoStar™ パッケージのレイアウト例を追加.....	45

Changes from Revision A (July 2023) to Revision B (January 2024)	Page
• ドキュメント全体にわたって表、図、相互参照の採番方法を更新.....	2
• タイミング要件を追加.....	8
• タイミング図を追加.....	8

Changes from Revision * (May 2023) to Revision A (July 2023)	Page
• ドキュメントのステータスを「事前情報」から「量産データ」に変更	1

11 メカニカル、パッケージ、および注文情報

以降のページには、メカニカル、パッケージ、および注文に関する情報が記載されています。この情報は、指定のデバイスに使用できる最新のデータです。このデータは、予告なく、このドキュメントを改訂せずに変更される場合があります。本データシートのブラウザ版を使用されている場合は、画面左側の説明をご覧ください。

重要なお知らせと免責事項

テキサス・インスツルメンツは、技術データと信頼性データ（データシートを含みます）、設計リソース（リファレンス デザインを含みます）、アプリケーションや設計に関する各種アドバイス、Web ツール、安全性情報、その他のリソースを、欠陥が存在する可能性のある「現状のまま」提供しており、商品性および特定目的に対する適合性の默示保証、第三者の知的財産権の非侵害保証を含むいかなる保証も、明示的または默示的にかかわらず拒否します。

これらのリソースは、テキサス・インスツルメンツ製品を使用する設計の経験を積んだ開発者への提供を意図したものです。(1) お客様のアプリケーションに適した テキサス・インスツルメンツ製品の選定、(2) お客様のアプリケーションの設計、検証、試験、(3) お客様のアプリケーションに該当する各種規格や、その他のあらゆる安全性、セキュリティ、規制、または他の要件への確実な適合に関する責任を、お客様のみが単独で負うものとします。

上記の各種リソースは、予告なく変更される可能性があります。これらのリソースは、リソースで説明されている テキサス・インスツルメンツ製品を使用するアプリケーションの開発の目的でのみ、テキサス・インスツルメンツはその使用をお客様に許諾します。これらのリソースに関して、他の目的で複製することや掲載することは禁止されています。テキサス・インスツルメンツや第三者の知的財産権のライセンスが付与されている訳ではありません。お客様は、これらのリソースを自身で使用した結果発生するあらゆる申し立て、損害、費用、損失、責任について、テキサス・インスツルメンツおよびその代理人を完全に補償するものとし、テキサス・インスツルメンツは一切の責任を拒否します。

テキサス・インスツルメンツの製品は、[テキサス・インスツルメンツの販売条件](#)、または ti.com やかかる テキサス・インスツルメンツ製品の関連資料などのいづれかを通じて提供する適用可能な条項の下で提供されています。テキサス・インスツルメンツがこれらのリソースを提供することは、適用されるテキサス・インスツルメンツの保証または他の保証の放棄の拡大や変更を意味するものではありません。

お客様がいかなる追加条項または代替条項を提案した場合でも、テキサス・インスツルメンツはそれらに異議を唱え、拒否します。

郵送先住所: Texas Instruments, Post Office Box 655303, Dallas, Texas 75265

Copyright © 2025, Texas Instruments Incorporated

PACKAGING INFORMATION

Orderable part number	Status (1)	Material type (2)	Package Pins	Package qty Carrier	RoHS (3)	Lead finish/ Ball material (4)	MSL rating/ Peak reflow (5)	Op temp (°C)	Part marking (6)
OPT4001DNPRQ1	Active	Production	USON (DNP) 6	3000 LARGE T&R	Yes	NIPDAUAG	Level-3-260C-168 HR	-40 to 105	1Q
OPT4001DNPRQ1.A	Active	Production	USON (DNP) 6	3000 LARGE T&R	Yes	NIPDAUAG	Level-3-260C-168 HR	-40 to 105	1Q
OPT4001YMNQRQ1	Active	Production	PICOSTAR (YMN) 4	3000 LARGE T&R	Yes	SNAGCU	Level-1-260C-UNLIM	-40 to 125	1Q
OPT4001YMNQRQ1.A	Active	Production	PICOSTAR (YMN) 4	3000 LARGE T&R	Yes	SNAGCU	Level-1-260C-UNLIM	-40 to 125	1Q

⁽¹⁾ **Status:** For more details on status, see our [product life cycle](#).

⁽²⁾ **Material type:** When designated, preproduction parts are prototypes/experimental devices, and are not yet approved or released for full production. Testing and final process, including without limitation quality assurance, reliability performance testing, and/or process qualification, may not yet be complete, and this item is subject to further changes or possible discontinuation. If available for ordering, purchases will be subject to an additional waiver at checkout, and are intended for early internal evaluation purposes only. These items are sold without warranties of any kind.

⁽³⁾ **RoHS values:** Yes, No, RoHS Exempt. See the [TI RoHS Statement](#) for additional information and value definition.

⁽⁴⁾ **Lead finish/Ball material:** Parts may have multiple material finish options. Finish options are separated by a vertical ruled line. Lead finish/Ball material values may wrap to two lines if the finish value exceeds the maximum column width.

⁽⁵⁾ **MSL rating/Peak reflow:** The moisture sensitivity level ratings and peak solder (reflow) temperatures. In the event that a part has multiple moisture sensitivity ratings, only the lowest level per JEDEC standards is shown. Refer to the shipping label for the actual reflow temperature that will be used to mount the part to the printed circuit board.

⁽⁶⁾ **Part marking:** There may be an additional marking, which relates to the logo, the lot trace code information, or the environmental category of the part.

Multiple part markings will be inside parentheses. Only one part marking contained in parentheses and separated by a "~" will appear on a part. If a line is indented then it is a continuation of the previous line and the two combined represent the entire part marking for that device.

Important Information and Disclaimer: The information provided on this page represents TI's knowledge and belief as of the date that it is provided. TI bases its knowledge and belief on information provided by third parties, and makes no representation or warranty as to the accuracy of such information. Efforts are underway to better integrate information from third parties. TI has taken and continues to take reasonable steps to provide representative and accurate information but may not have conducted destructive testing or chemical analysis on incoming materials and chemicals. TI and TI suppliers consider certain information to be proprietary, and thus CAS numbers and other limited information may not be available for release.

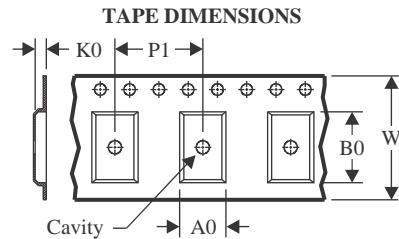
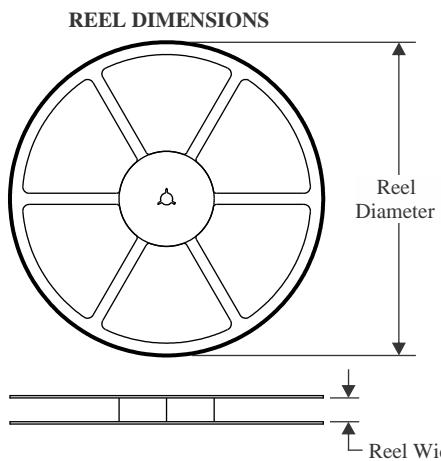
In no event shall TI's liability arising out of such information exceed the total purchase price of the TI part(s) at issue in this document sold by TI to Customer on an annual basis.

OTHER QUALIFIED VERSIONS OF OPT4001-Q1 :

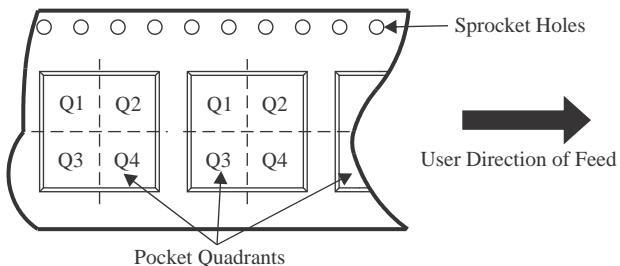
- Catalog : [OPT4001](#)

NOTE: Qualified Version Definitions:

- Catalog - TI's standard catalog product

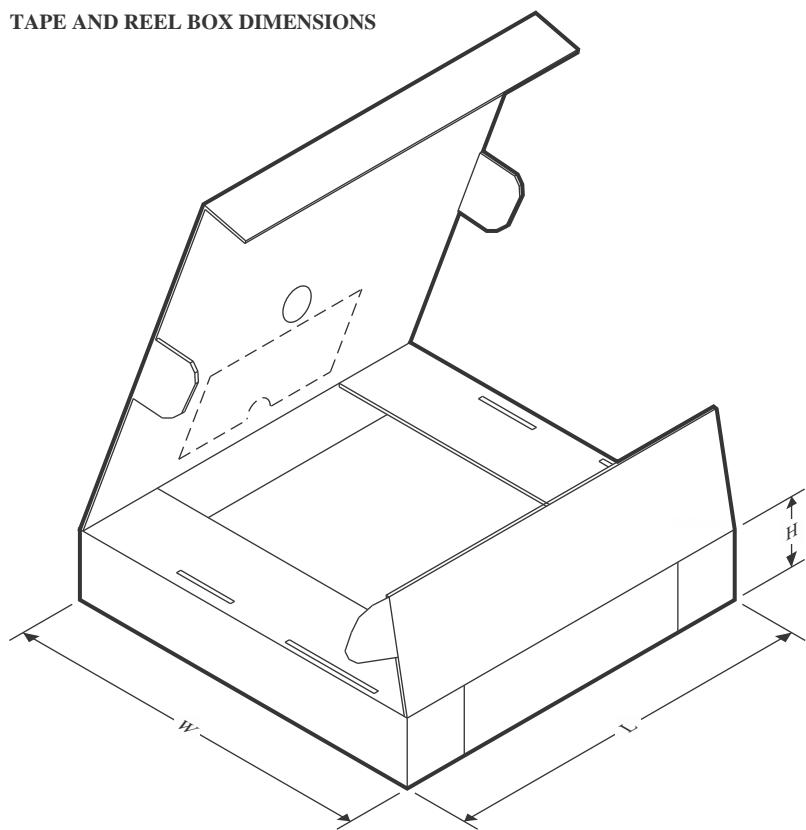
TAPE AND REEL INFORMATION

A0	Dimension designed to accommodate the component width
B0	Dimension designed to accommodate the component length
K0	Dimension designed to accommodate the component thickness
W	Overall width of the carrier tape
P1	Pitch between successive cavity centers

QUADRANT ASSIGNMENTS FOR PIN 1 ORIENTATION IN TAPE

*All dimensions are nominal

Device	Package Type	Package Drawing	Pins	SPQ	Reel Diameter (mm)	Reel Width W1 (mm)	A0 (mm)	B0 (mm)	K0 (mm)	P1 (mm)	W (mm)	Pin1 Quadrant
OPT4001DNPRQ1	USON	DNP	6	3000	330.0	12.4	2.3	2.3	0.9	8.0	12.0	Q1
OPT4001YMNQRQ1	PICOSTAR	YMN	4	3000	180.0	8.4	0.94	1.15	0.37	2.0	8.0	Q1

TAPE AND REEL BOX DIMENSIONS


*All dimensions are nominal

Device	Package Type	Package Drawing	Pins	SPQ	Length (mm)	Width (mm)	Height (mm)
OPT4001DNPRQ1	USON	DNP	6	3000	356.0	338.0	48.0
OPT4001YMNRRQ1	PICOSTAR	YMN	4	3000	182.0	182.0	20.0

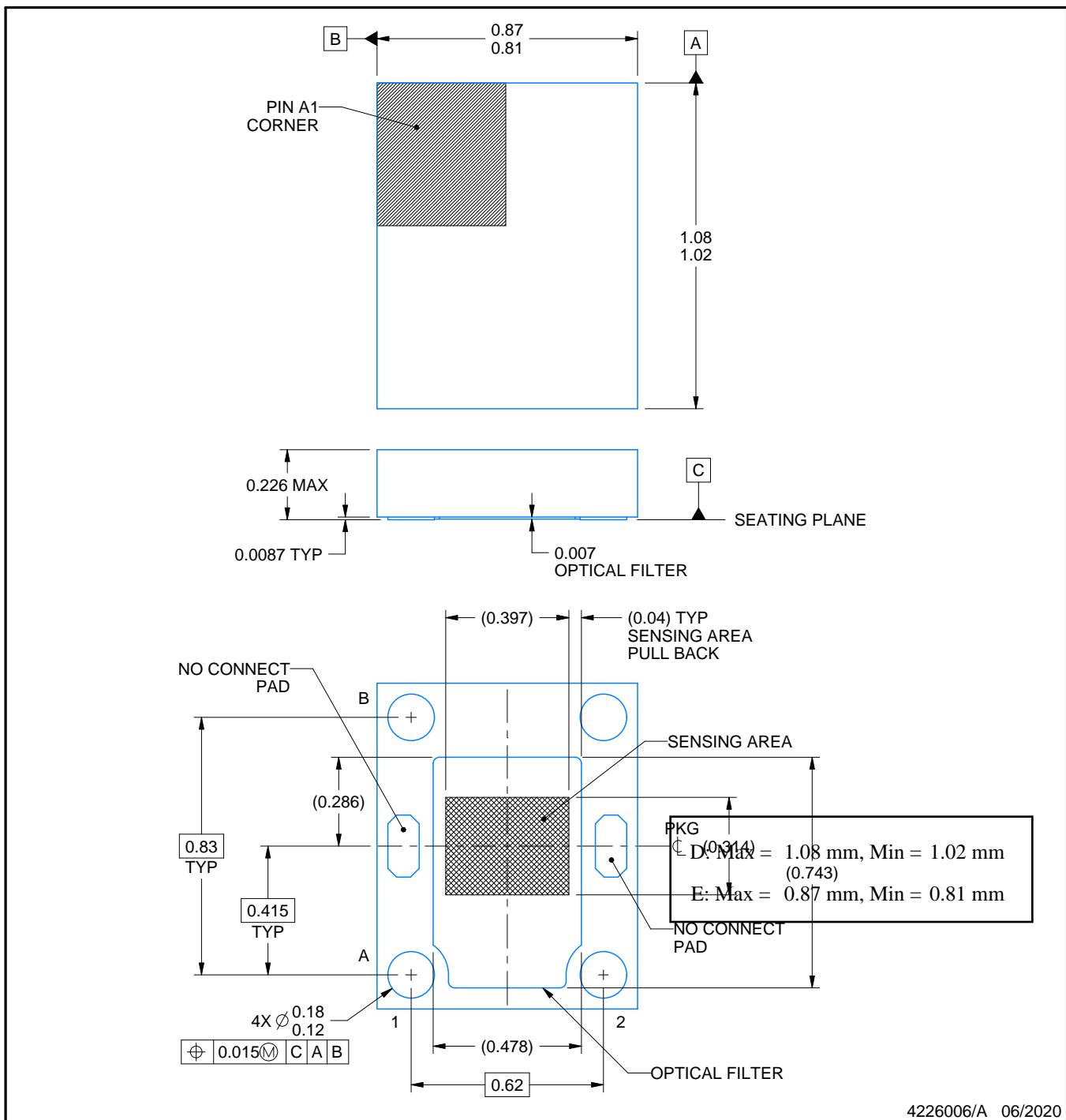
PACKAGE OUTLINE

YMN0004A



PicoStar™ - 0.226 mm max height

PicoStar



4226006/A 06/2020

NOTES:

PicoStar is a trademark of Texas Instruments.

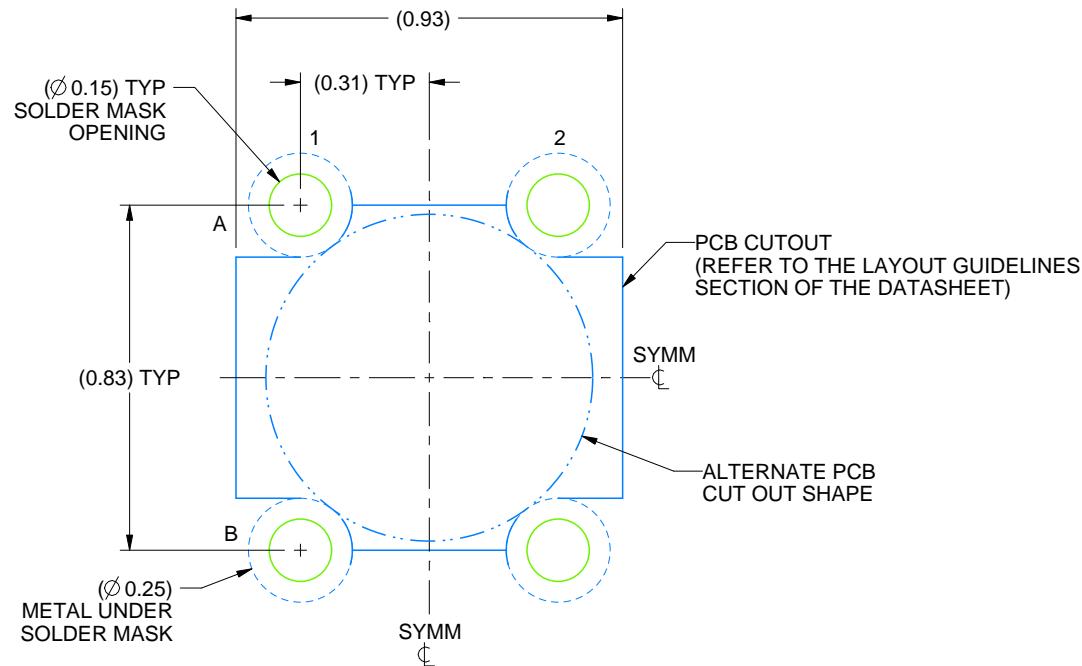
- All linear dimensions are in millimeters. Any dimensions in parenthesis are for reference only. Dimensioning and tolerancing per ASME Y14.5M.
- This drawing is subject to change without notice.

EXAMPLE BOARD LAYOUT

YMN0004A

PicoStar™ - 0.226 mm max height

PicoStar



LAND PATTERN EXAMPLE
SCALE: 55X

4226006/A 06/2020

NOTES: (continued)

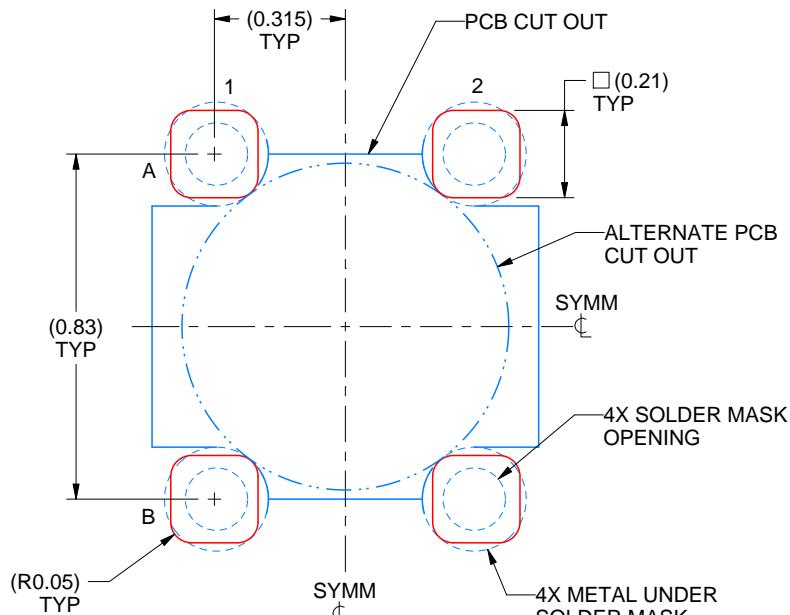
- Final dimensions may vary due to manufacturing tolerance considerations and also routing constraints.
For more information, see Texas Instruments literature number SLUA271 (www.ti.com/lit/slua271).

EXAMPLE STENCIL DESIGN

YMN0004A

PicoStar™ - 0.226 mm max height

PicoStar



SOLDER PASTE EXAMPLE
BASED on 0.075 mm THICK STENCIL
SCALE: 55X

4226006/A 06/2020

NOTES: (continued)

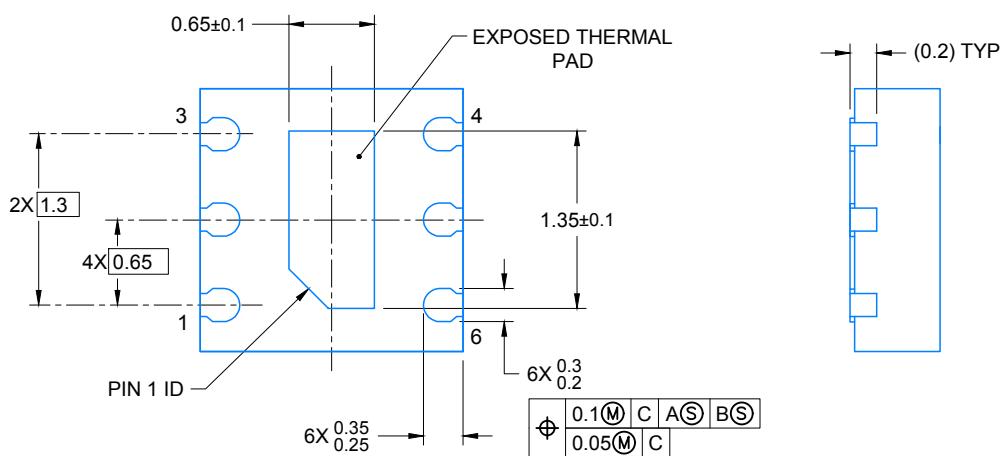
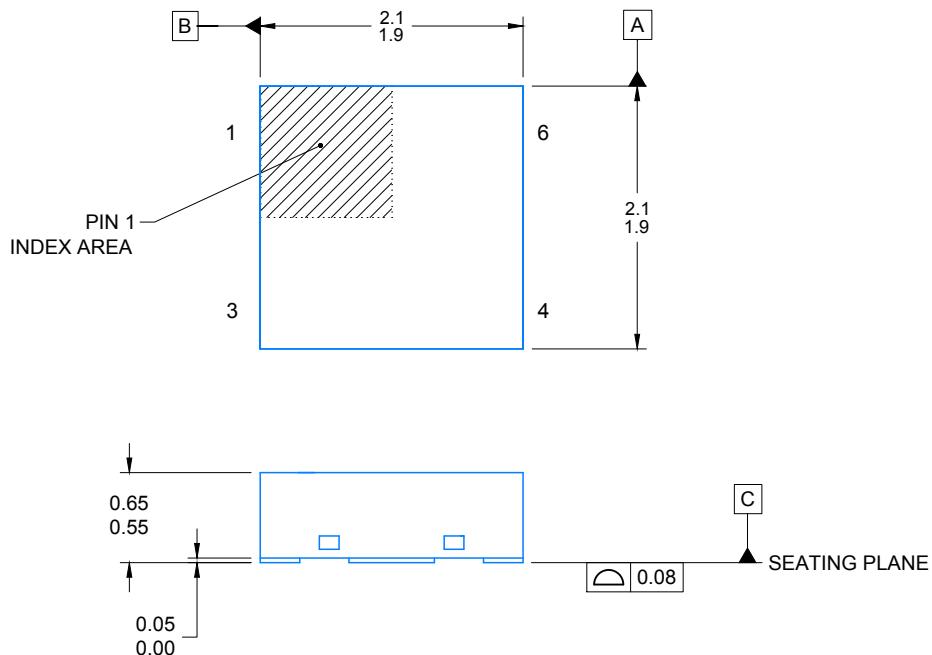
4. Laser cutting apertures with trapezoidal walls and rounded corners may offer better paste release.

PACKAGE OUTLINE

DNP0006A

USON - 0.65 mm mm max height

PLASTIC SMALL OUTLINE NO-LEAD

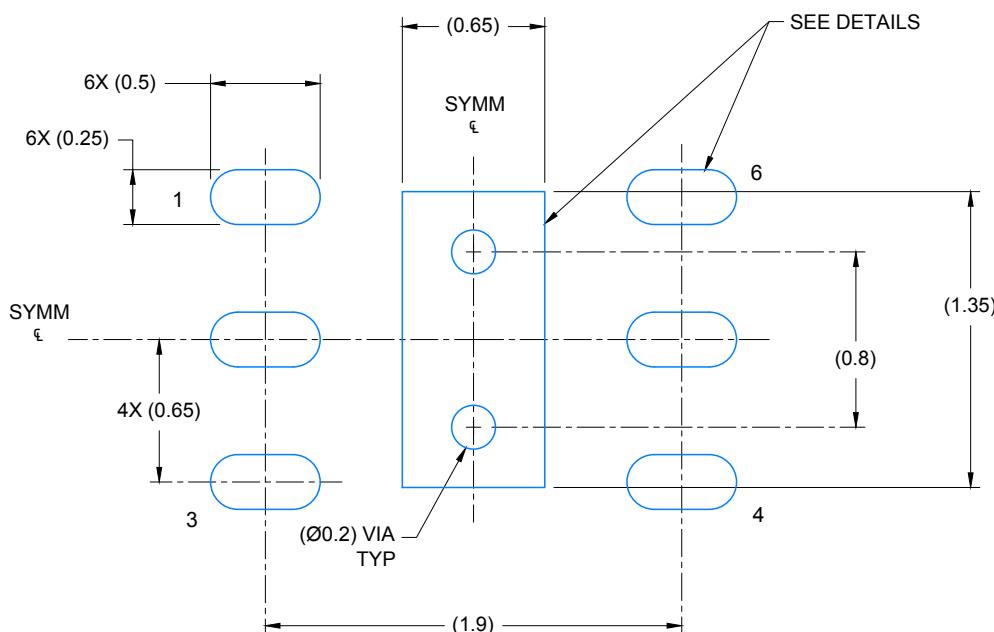


4221434/C 01/2018

NOTES:

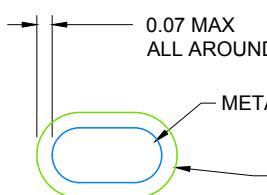
1. All linear dimensions are in millimeters. Any dimensions in parenthesis are for reference only. Dimensioning and tolerancing per ASME Y14.5M.
 2. This drawing is subject to change without notice.
 3. The package thermal pad must be soldered to the printed circuit board for thermal and mechanical performance.
 4. Optical package with clear mold compound.



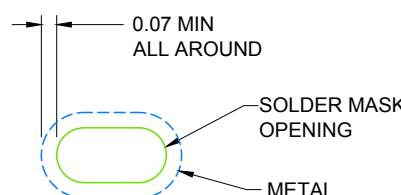


LAND PATTERN EXAMPLE

SCALE: 30X



NON SOLDER MASK
DEFINED
(PREFERRED)



SOLDER MASK
DEFINED

SOLDER MASK DETAILS

4221434/C 01/2018

NOTES: (continued)

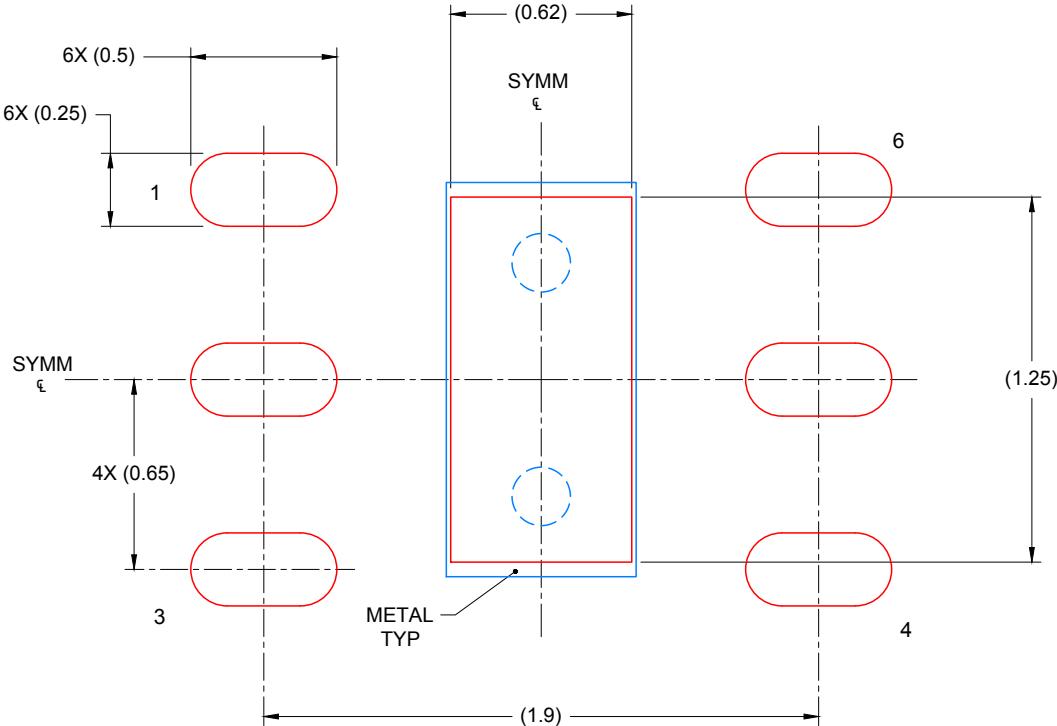
- This package is designed to be soldered to a thermal pad on the board. For more information, see Texas Instruments literature number SLUA271 (www.ti.com/lit/slua271).

EXAMPLE STENCIL DESIGN

DNP0006A

USON - 0.65 mm mm max height

PLASTIC SMALL OUTLINE NO-LEAD



SOLDER PASTE EXAMPLE
BASED ON 0.125mm THICK STENCIL

EXPOSED PAD
88% PRINTED SOLDER COVERAGE BY AREA
SCALE: 40X

4221434/C 01/2018

NOTES: (continued)

6. Laser cutting apertures with trapezoidal walls and rounded corners may offer better paste release. IPC-7525 may have alternate design recommendations.

重要なお知らせと免責事項

TIは、技術データと信頼性データ(データシートを含みます)、設計リソース(リファレンス デザインを含みます)、アプリケーションや設計に関する各種アドバイス、Webツール、安全性情報、その他のリソースを、欠陥が存在する可能性のある「現状のまま」提供しており、商品性および特定目的に対する適合性の默示保証、第三者の知的財産権の非侵害保証を含むいかなる保証も、明示的または默示的にかわらず拒否します。

これらのリソースは、TI 製品を使用する設計の経験を積んだ開発者への提供を意図したもので、(1)お客様のアプリケーションに適した TI 製品の選定、(2)お客様のアプリケーションの設計、検証、試験、(3)お客様のアプリケーションに該当する各種規格や、他のあらゆる安全性、セキュリティ、規制、または他の要件への確実な適合に関する責任を、お客様のみが単独で負うものとします。

上記の各種リソースは、予告なく変更される可能性があります。これらのリソースは、リソースで説明されている TI 製品を使用するアプリケーションの開発の目的でのみ、TI はその使用をお客様に許諾します。これらのリソースに関して、他の目的で複製することや掲載することは禁止されています。TI や第三者の知的財産権のライセンスが付与されている訳ではありません。お客様は、これらのリソースを自身で使用した結果発生するあらゆる申し立て、損害、費用、損失、責任について、TI およびその代理人を完全に補償するものとし、TI は一切の責任を拒否します。

TI の製品は、[TI の販売条件](#)、[TI の総合的な品質ガイドライン](#)、[ti.com](#) または TI 製品などに関連して提供される他の適用条件に従い提供されます。TI がこれらのリソースを提供することは、適用される TI の保証または他の保証の放棄の拡大や変更を意味するものではありません。TI がカスタム、またはカスタマー仕様として明示的に指定していない限り、TI の製品は標準的なカタログに掲載される汎用機器です。

お客様がいかなる追加条項または代替条項を提案する場合も、TI はそれらに異議を唱え、拒否します。

Copyright © 2026, Texas Instruments Incorporated

最終更新日：2025 年 10 月