

GaNおよびSiCによる 電源のエネルギー効率の向上



Sameer Pendharkar
TI Fellow and High Voltage
Technology Roadmap Manager,
Texas Instruments

ご存じないかもしれませんが、人口1人あたりの半導体チップ数は、小さな壁なら簡単に埋め尽くすほどの数です。これらのチップは、コンシューマ・エレクトロニクスやIoT (Internet of Things) 向けデバイス、さらには車載機器から産業用機械まで、幅広い範囲のアプリケーションに使用されています。

実際、World Semiconductor Trade Statisticsによると、2016年には世界で1人あたり平均111個の集積回路(IC)チップが購入された計算になります。これらの半導体デバイスの使用は、人口増加率の5倍のペースで増え続けています。やがて、1人あたりのチップで埋め尽くせる壁の面積もそれほど小さくはなくなっていくでしょう。

このような半導体アプリケーションの急激な増加により、動作電力の需要も同様に増大しています。しかし、コストおよび温室効果ガス削減の必要性により、ICはより低い電力でより多くの処理をこなすことが求められます。すべてのデバイスがこのような相反する要件に直面していますが、中でも最も大きな影響を受けるのは、ACラインやバッテリーの電圧をシステム内の他のチップで利用できる電圧へと変換するデバイス、つまり電源デバイスです。

エネルギーをより効率的に使用したいというニーズに応えるため、シリコン・ベースの技術が進化を続ける一方で、窒化ガリウム(GaN)や炭化ケイ素(SiC)などの新しいワイドバンド・ギャップ材料を使用した技術開発も進められています。これらの新しい材料を使用したデバイスは、電力やサイズの効率が向上することから、電源市場に浸透し始めています。

このような開発の結果、今日の電源システム設計者はより幅広い範囲の電源テクノロジー・オプションを利用できるようになりました。これは現在のエレクトロニクス・システムの多様性を考えると必然的です。これらの技術は、アプリケーション領域全体のうち個々の分野でそれぞれ異なる力を発揮します。最適なソリューションを選択するために、電源システム設計者は各オプションについて、効率と動作特性とのトレードオフを理解しておく必要があります。

テキサス・インスツルメンツ(TI)は、高度な電源ソリューションを構築するための新しい電源テクノロジーの開発を推進しています。アナログ半導体製品の業界リーダーとして、TIは幅広い豊富な電源ポートフォリオおよびプロセス技術を通じ、お客様がエネルギーを節約して地球環境の保全に貢献する高効率システムを開発するために、必要となる各種のオプションを提供しています。

効率のさまざまなトレードオフ

かつて、いくらでも燃やせるエネルギーがあるように思えた時代には、リニア電源はまさにそのとおりに振る舞い、利用しない電力を熱の形で放出していました。現在は、エネルギーのコストが上昇し、気象への影響も懸念される中で、優先順位が変化しています。効率的な電力利用は、メーカーおよびユーザーにとってますます重要性を増しています。

電力効率に加えて、電源ソリューションを選択する際に考慮する条件は他にもあります。多くのシステムでは、スペースが重要です。部品はより小さくし、発熱を最小限に抑えて冷却要件を低減する必要があります。ワット毎立方センチメートル (W/cm³) またはワット毎立方インチ (W/in³) で測定される電力密度は、あらゆるシステムでスペースの効率的な利用を示す重要な尺度ですが、データセンターやテレコム・スイッチのような機器数の多いシステムでは特に重要となります。

車載機器やポータブル・エレクトロニクスなど、他の機器では、スペース効率に軽量化の要件も伴います。キロワット毎キログラム (kW/kg) で測定される電力重量密度は、このようなシステムの設計トレードオフに使用される別の形の効率尺度です。

電力効率、スペース効率、および重量のニーズに加え、重要なのがコストです。どのようなシステム設計もコスト予算を満たす必要があります。状況によっては、最良のオプションが高コストになってしまい、電力効率、スペース、および重量について妥協を強いられる場合もあります。現場で問題が生じた半導体デバイスや最終機器を交換するのは非常にコストがかかるため、品質と信頼性も重要です。

パワー半導体開発の目標は、これらの効率をできるだけ高くすること、つまり、電力損失、スペース、重量、コスト、および故障率をゼロに近づけることです。1つのアプリケーション領域に最良の設計トレードオフを提供するパワー半導体が別の領域でも最適とは限りません。これは、複数の種類の電源テクノロジーが必要になることを意味し、機器設計者はアプリケーションの要件に基づいて適切なテクノロジーを慎重に選択する必要があります。

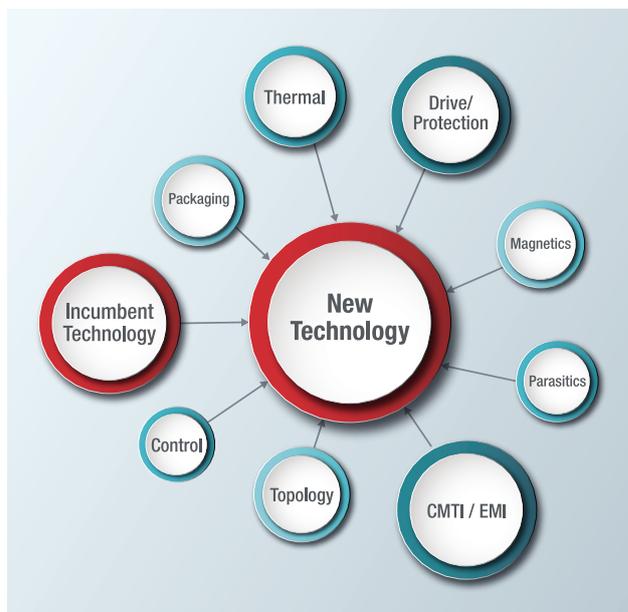


図1：新しい電源テクノロジーには新しいエコシステムが必要

電力変換の向上のトレンド

長年にわたってデジタル CMOS やメモリのスケールに関するゴールド・スタンダードであるムーアの法則は、一般にパワー半導体には当てはまりません。デジタル回路の電圧は5Vから1V未満へと下がり、スイッチング速度は増加し、サイズも小さくなっています。また、電源では、入力電圧を高く保つために、より高い電力レベルを処理する必要があります。

もう1つの考慮事項は、電源部品や他のアナログ部品の設計であり、これはデジタル・チップの設計よりも多次元的で、同じ特性を持つトランジスタを何十万回も反復する作業となります。新しいパワー・トランジスタの開発には、図1に示すように電子“エコシステム”の更新が必要となり、これには制御回路、パッケージング、熱特性、および過渡電圧、各種信号干渉、磁気などからの保護が含まれます。これらの環境的な問題に対処する必要があり、これには場合によって、パワー・トランジスタを次のレベルの性能へと引き上げるために、複数の領域にまたがる多くの開発作業が伴います。

このような困難に関わらず、パワー IC は着実な進歩を重ねてきました。少なくともこの20年は、電力損失が5年ごとに半分減っています。スペースが重要なテレコムなどのアプリケーションでは、電源モジュールの密度は1970年代から10年ごとに2倍になっています。

スイッチングでの電源テクノロジーの問題

スイッチ・モード電源 (SMPS) への移行は、電力効率の向上につながる重要な要素の1つです。SMPSは、高周波数のパルス幅変調 (PWM) スwitchingにより時間ドメインで電圧を制御します。また、SMPSはリニア電源に比べて電力効率を2倍にすることができます。ただし、BOMの増大や設計の複雑化といった新しい問題ももたらします。より高い電力定格および高いスイッチング周波数に向けた技術開発の中で、これらの要素は重要性を増しています。

業界で製造基盤および専門知識が確立されているため、シリコン (Si) は現在でも最も低コストなパワー半導体材料です。ゲート制御サイリスタ、絶縁ゲート・バイポーラ・トランジスタ (IGBT)、スーパージャンクション MOSFET などのデバイス革新により、パワー・デバイスの電力定格は増加しています。

ただし、Si デバイスは非常に高速でのスイッチングと同時に大電力を処理することができません。そのため、重く、かさばるだけでなく、電力変換効率も低くなります。

GaN および SiC の利用が増えるにつれて、電源システムの勢力図も変化しています。これらの材料はバンドギャップが広いので、デバイスはより高い電圧と高いスイッチング周波数をサポートでき、より小さな受動部品が使用可能になります。GaN および SiC パワー・デバイスは、SI ベースのシステムよりも効率がよく小型で軽量の電源システムを実現できます。

GaN と SiC が Si を追い越していく中で、それらの性能の違いも考慮する必要があります。GaN はより高い周波数で動作する一方、SiC はより高い入力電圧を処理し、より高電力の出力を駆動します (ただし、適切な電源段設計によって GaN でもかなり大電力の出力を実現できます)。現在、GaN はテレコムやサーバなどのアプリケーションで最大 600 ~ 700V の電源向けに選択される傾向があります。より高い電圧が必要となる、電気自動車、ハイブリッド自動車、太陽光インバータなどの分野では、SiC がより適切なオプションとなっています。

図2に、各種の電源テクノロジーと、電力レベルおよび周波数に基づくそれぞれの位置付けを示します。ただし、ここに示した各領域はおおむね正しい一方、継続的な技術開発によってそれぞれのサポート範囲は広がっていきます。また、互いに競合するこれらの技術間には多くの重なりがあり、すべての状況で価格性能比が優れた単一の種類のパワー・トランジスタは存在しません。

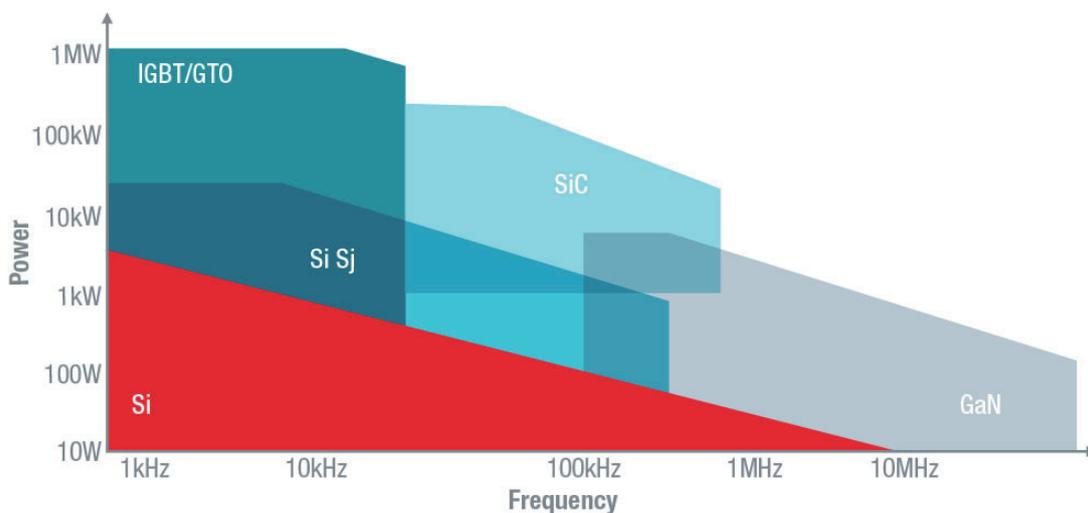


図2：電源テクノロジーの位置付け

電源エコシステムのソリューション

電源デバイスの市場全体では前述のすべてのオプションが要求される一方で、GaNおよびSiCは高電力、密度、重量効率によって将来の開発を推進します。技術がさらに成熟し、より多くの製品が登場するにつれ、GaNおよびSiCはシリコンよりもコスト競争力を強め、設計のトレードオフを評価する上での重要性も高まっています。広バンドギャップ半導体デバイスの信頼性に関する徹底した特性評価、物理的理解、および継続的な改善も、採用を進めるうえで不可欠です。

GaNおよびSiCはより高いスイッチング周波数を提供するため、適切に対応可能ないくつかの設計上の課題を生む可能性があります。これらの潜在的な問題には、スイッチから電源ラインへの高周波数帰還、高周波数のスイッチング干渉、狭いスイッチング・ウィンドウから生じるタイミング問題、スイッチング・パスにおける寄生インダクタンスの重要性の高まりなどが含まれます。

TIでは現在、これらの課題に対処する検証済みの既製ソリューションを実現するためのモジュールを提供し、開発時間を大幅に短縮するとともに、広バンドギャップ技術による設計を非常に複雑と感じて敬遠する可能性のあるシステム設計者の不安を軽減しています。1つの例がLMG3410シングルチャネルGaNであり、高電力のGaNベースのスイッチング・トランジスタを最適化されたドライバとともに1つのパッケージに収めています。また、過電流保護や過熱保護などの主要な機能も統合し、電源デバイスとドライバとの間で寄生成分やループ・インダクタンスを管理する困難を取り除いています。互換性のあるアナログおよびデジタル電力変換コントローラと組み合わせることで、LMG3410電源段(図3を参照)は、小型で高効率の高性能電源の設計を単純化する包括的なエコシステムを提供します。

また、TIでは、特に速度が重要なアプリケーション向けに、より高効率で高性能の設計を構築するための高速GaN電界効果トランジスタ(FET)ドライバも提供しています。

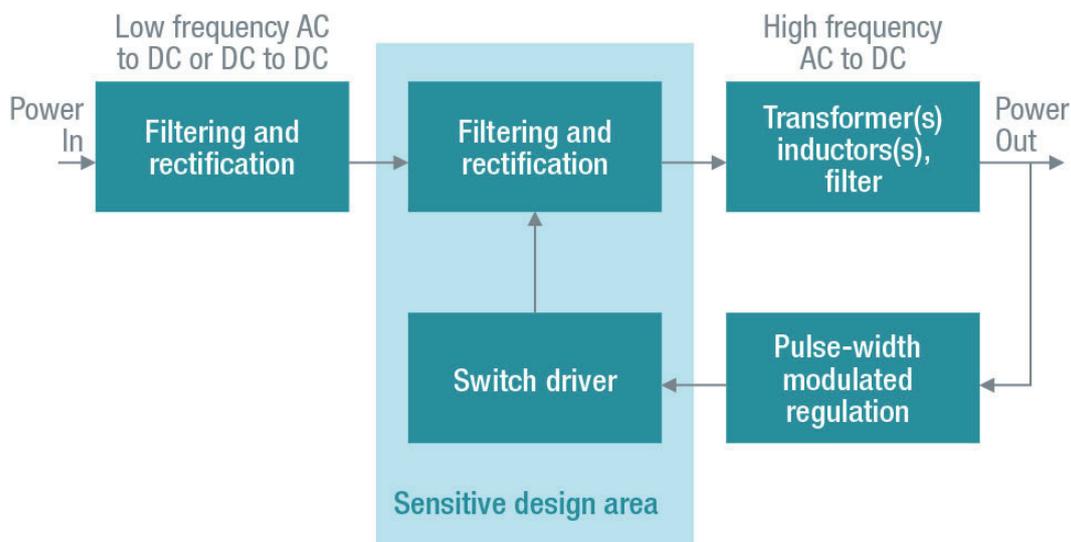


図3 : LMG3410 電源段による SMPS

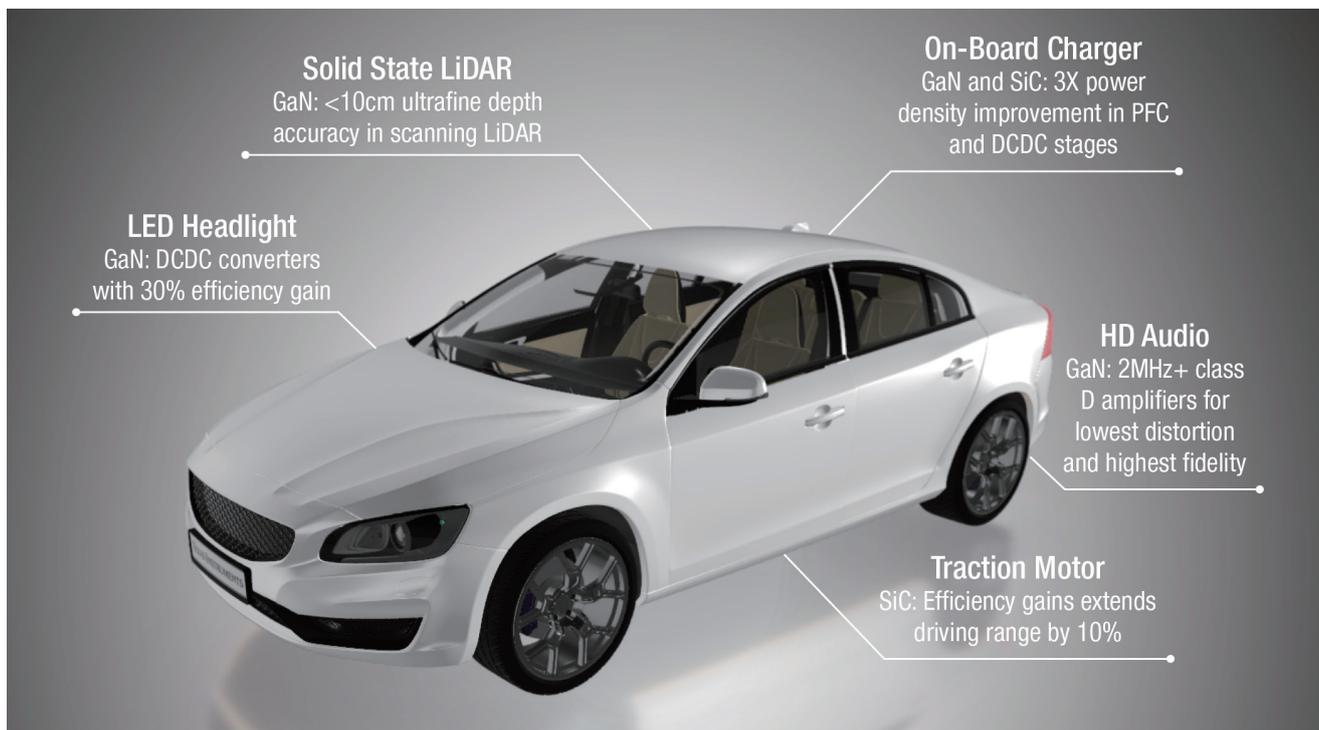


図4：広バンドギャップによる車載機器の性能向上

60MHzのローサイドGaNドライバであるLMG1020は、業界最高の駆動速度と1nsの最小パルス幅により、産業用LIDARアプリケーションで高精度のレーザーを実現します。LMG1210は、最大200VのGaN FET用に設計された50MHzハーフブリッジ・ドライバです。このデバイスの調整可能なデッドタイム制御機能は、高速DC/DCコンバータ、モーター・ドライブ、クラスDオーディオ・アンプ、その他の電力変換アプリケーションで効率を最大5%向上するよう設計されています。

高度なアプリケーション領域

電源は、最新の携帯型製品から大規模な産業用機器まで、あらゆる電子システムで極めて重要な部分であり、大量生産と高性能の両方を求める成長分野のアプリケーションによって、効率に関する新しい開発が引き続き推進されていきます。そのようなアプリケーションの例がデータセンターと車載システムであり、これらはいずれも革新的な電源テクノロジーの継続的な開発と導入を必要とする重要な領域です。

データセンターでは、多くのチャンネルをできる限り最小の容積に収めるコンパクトなソリューションが必要となり、電力効率は運用コストの最小化だけでなく熱や冷却用スペースの削減

のためにも重要です。GaNトランジスタ・ベースの電源は、より高い固有の変換効率とより小さなインダクタおよびコンデンサの使用により、これらの利点を提供します。また、GaN電源は単一段変換を容易にするため、BOMを削減し、変換損失を最小限に抑えるのにも役立ちます。単一段変換により、アプリケーション回路では、より高い入力電圧を基板上に直接印加できるようになります。

重量とスペースについて課題をもたらすもう1つの領域が、車載市場です。乗用車や軽トラックに対してコストを注意深く計算する必要があるだけでなく、内燃エンジンを持つ車両では電圧が5Vから100V以上まで大幅に変動し、電気自動車(EV)やハイブリッド自動車(HEV)ではさらに高電圧にもなります。EVやHEVの市場が成長するにつれて、効率的な電力変換がさらに重要性を増し、これまで以上に高い性能を持つシステムをより軽量で高効率の小さなスペースに、高いコスト効果で統合する要求が高まっています。GaNおよびSiCベースの電源モジュールは、EVおよびHEVシステムに対してこれらの設計目標の多くを実現するのに役立ちます。効率および電力密度の向上からメリットを得られる他の車載アプリケーションも車両全体にわたって存在し、エンジンからパワートレイン、車両のガイダンスや制御、ドライバー向けコンソールやインフォテインメントまでに及びます。

変換効率向上のための電源テクノロジー

データセンターと自動車は、新しい電源ソリューションが革新的な設計を可能にする領域のうち2つの例にすぎません。スマート・ファクトリ、スマート・オフィス、スマート・ハウス、およびスマート・グリッドはすべて、高い電力変換効率、および広バンドギャップのGaNおよびSiCテクノロジーがもたらす優れた電力密度からメリットを得られます。

同時に、シリコン・ベースのデバイスも引き続き進化を続け、製造技術の限界を押し上げることで、より効率を向上させ、成熟し、信頼性とコスト効率を高めながら、広バンドギャップ材料に対して競争力を維持していきます。

電源テクノロジーおよびエコシステムのほとんどすべての領域で力を持つTIは、システムのサイズと重量を削減しながら全体の効率を高める新しい電源ソリューションの開発において、革新の推進に重要な役割を果たしています。アプリケーション領域が多様化し、システムのトレードオフがこれまで以上に重要になる中で、TIは技術の向上を通じて、エネルギー資源をより効果的に利用し、環境保存に貢献するための革新的なソリューションを引き続き提供していきます。

詳細情報:

- [LMG1020](#)および[LMG1210](#) GaN、およびSiCドライバ
- [LMG3410](#)および[LMG5200](#)電源段製品
- ホワイトペーパー『[GaNがエネルギー効率を次のレベルへと高める](#)』



TIの設計情報およびリソースに関する重要な注意事項

Texas Instruments Incorporated ("TI")の技術、アプリケーションその他設計に関する助言、サービスまたは情報は、TI製品を組み込んだアプリケーションを開発する設計者に役立つことを目的として提供するものです。これにはリファレンス設計や、評価モジュールに関係する資料が含まれますが、これらに限られません。以下、これらを総称して「TIリソース」と呼びます。いかなる方法であっても、TIリソースのいずれかをダウンロード、アクセス、または使用した場合、お客様(個人、または会社を代表している場合にはお客様の会社)は、これらのリソースをここに記載された目的にのみ使用し、この注意事項の条項に従うことに合意したものとします。

TIによるTIリソースの提供は、TI製品に対する該当の発行済み保証事項または免責事項を拡張またはいかなる形でも変更するものではなく、これらのTIリソースを提供することによって、TIにはいかなる追加義務も責任も発生しないものとします。TIは、自社のTIリソースに訂正、拡張、改良、およびその他の変更を加える権利を留保します。

お客様は、自らのアプリケーションの設計において、ご自身が独自に分析、評価、判断を行う責任がお客様にあり、お客様のアプリケーション(および、お客様のアプリケーションに使用されるすべてのTI製品)の安全性、および該当するすべての規制、法、その他適用される要件への遵守を保証するすべての責任をお客様のみが負うことを理解し、合意するものとします。お客様は、自身のアプリケーションに関して、(1) 故障による危険な結果を予測し、(2) 障害とその結果を監視し、および、(3) 損害を引き起こす障害の可能性を減らし、適切な対策を行う目的での、安全策を開発し実装するために必要な、すべての技術を保持していることを表明するものとします。お客様は、TI製品を含むアプリケーションを使用または配布する前に、それらのアプリケーション、およびアプリケーションに使用されているTI製品の機能性を完全にテストすることに合意するものとします。TIは、特定のTIリソース用に発行されたドキュメントで明示的に記載されているもの以外のテストを実行していません。

お客様は、個別のTIリソースにつき、当該TIリソースに記載されているTI製品を含むアプリケーションの開発に関連する目的でのみ、使用、コピー、変更することが許可されています。明示的または黙示的を問わず、禁反言の法理その他どのような理由でも、他のTIの知的所有権に対するその他のライセンスは付与されません。また、TIまたは他のいかなる第三者のテクノロジーまたは知的所有権についても、いかなるライセンスも付与されるものではありません。付与されないものには、TI製品またはサービスが使用される組み合わせ、機械、プロセスに関連する特許権、著作権、回路配置利用権、その他の知的所有権が含まれますが、これらに限られません。第三者の製品やサービスに関する、またはそれらを参照する情報は、そのような製品またはサービスを利用するライセンスを構成するものではなく、それらに対する保証または推奨を意味するものでもありません。TIリソースを使用するため、第三者の特許または他の知的所有権に基づく第三者からのライセンス、もしくは、TIの特許または他の知的所有権に基づくTIからのライセンスが必要な場合があります。

TIのリソースは、それに含まれるあらゆる欠陥も含めて、「現状のまま」提供されます。TIは、TIリソースまたはその仕様に関して、明示的か暗黙的にかかわらず、他のいかなる保証または表明も行いません。これには、正確性または完全性、権原、続発性の障害に関する保証、および商品性、特定目的への適合性、第三者の知的所有権の非侵害に対する黙示の保証が含まれますが、これらに限られません。

TIは、いかなる苦情に対しても、お客様への弁済または補償を行う義務はなく、行わないものとします。これには、任意の製品の組み合わせに関連する、またはそれらに基づく侵害の請求も含まれますが、これらに限られず、またその事実についてTIリソースまたは他の場所に記載されているか否かを問わないものとします。いかなる場合も、TIリソースまたはその使用に関連して、またはそれらにより発生した、実際の、直接的、特別、付随的、間接的、懲罰的、偶発的、または、結果的な損害について、そのような損害の可能性についてTIが知らされていたかどうかにかかわらず、TIは責任を負わないものとします。

お客様は、この注意事項の条件および条項に従わなかったために発生した、いかなる損害、コスト、損失、責任からも、TIおよびその代表者を完全に免責するものとします。

この注意事項はTIリソースに適用されます。特定の種類の資料、TI製品、およびサービスの使用および購入については、追加条項が適用されます。これには、半導体製品(<http://www.ti.com/sc/docs/stdterms.htm>)、評価モジュール、およびサンプル(<http://www.ti.com/sc/docs/sampterms.htm>)についてのTIの標準条項が含まれますが、これらに限られません。