

GaNの将来性に基づく 電源ソリューションの向上



Michael Seeman
System and Applications Manager,
GaN Product Development
Texas Instruments

Dave Freeman
Chief Technology Officer, Power
Texas Instruments

より高効率の電力変換を実現することは、 人口が増大し、 エネルギーのニーズが拡大し続ける世界で、 主要な技術的目標の1つです。

この目標の達成に大きく貢献すると予想されている重要な技術革新の1つに、電源アプリケーションにおける窒化ガリウム（GaN）の使用があります。GaNは既に確立された半導体材料であり、LED照明で幅広く使用されるとともに、ワイヤレス・アプリケーションでも重要性を増してきています。GaNは現在、プロセスの進歩と故障率の改善を重ねながら、AC/DCコンバータやDC/DCコンバータ、および信頼性の高い電力供給のための各種機能を備えた電源に対して、多くの利点を提供しています。

新しい電源アプリケーションを実現するGaNベースのスイッチング・パワー・トランジスタは高電圧で動作可能で、従来から使用されているシリコン（Si）トランジスタよりもずっと高い性能と低い損失を特長とします。GaNは、高周波での動作が可能などのさまざまな特長によって、高い効率を維持しながら高い性能を発揮するのに役立ちます。GaNデバイスは、既存のSi製造フローに組み入れることができるGaN-on-Siプロセスを使用して製造されます。GaNデバイスは同じ電流能力でもサイズをずっと小さくできるため、GaNトランジスタは最終的に同等のSi製品に匹敵するコスト・パフォーマンスを達成すると予測されます。これによって、GaNデバイスは、大規模な産業用機器から小型のハンドヘルド・デバイスまで、幅広い範囲のシステムに対して魅力的な選択肢となります。GaNは、その特長によって、高性能の電源設計でまず利用されると考えられます。これらの設計は、高い動作周波数と高精度のスイッチング特性を必要とするため、条件の厳しいものとなります。しかし、より高効率な電力変換に対するGaNの将来性は、着実に高まっています。

現在、電源設計者は、無用な影響を避けながら新しいGaNトランジスタの潜在能力を最大限に活用できる電源システムを構築するために、回路の見直しを始めています。このような考慮事項を視野に入れたとき、多くの場合、解決策は回路部品それ自体の中に見つかります。GaNス

イッチ、Siスイッチ・ドライバ、高速スイッチング・コントローラ、および設計全体の一部を成すパワー・インダクタ、トランス、コンデンサなどです。電源製品を製造する集積回路（IC）メーカーは、協調設計されたデバイスによるシステム・レベルのソリューションを提供することで、顧客に対して設計の可能性を大きく広げることができます。モジュール型のパッケージに複数のチップを統合する場合もあります。

電源アプリケーション向けICソリューションで業界をリードするテキサス・インスツルメンツ（TI）は、そのような種類のソリューションを提供する能力を持っています。TIは、その革新的な製造プロセス、回路、およびパッケージング技術によって、設計者がGaNを最大限に活用するために役立つデバイスを継続的に提供します。

電源回路におけるGaNの位置付け

一般的な電子機器のほとんどは、スイッチング電源（SMPS）によって動作します。これらの電源は、交流（AC）を直流（DC）に効率的に変換し、110～120Vまたは220～240Vのライン電圧を機器システムに必要な12V、5V、3.3V、およびさらに低いレベルへと降圧します。これらの機能は民生用電子機器やデータ・センターでは一般的なものですが、SMPSはそれ以外にも、DC/DC変換や、再生可能エネルギー用インバータでの高電圧への

変換、さらには車載機器、産業用機器などの高電力システムにも使用されています。

図 1 に、一般的な SMPS のフローを示します。入力電圧（多くの場合、高電圧で低周波数の AC）が DC へと整流されます。ライン・フィルタは、電源内で生じた高周波数がソース・ラインへ逆流しないようブロックする働きをします。SMPS の中心には高周波パワー・スイッチがあり、DC 信号をパルス電圧波形に変換します。スイッチからの出力が目的の電圧へと変換され、フィルタリングされることで、低電圧システムで必要とされるレベルの安定した出力となります。コントローラでは出力からの帰還を使用して、パルス幅変調（PWM）信号をパワー・スイッチのドライバに供給し、レギュレーションを実現します。この信号のパルス幅は、負荷要件の変化に応じて増加または減少します。

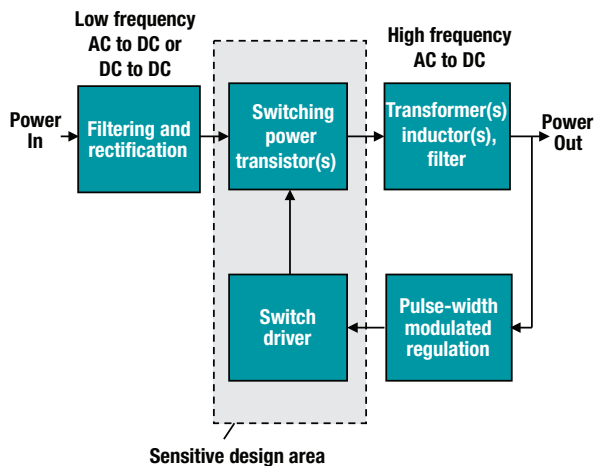


図 1. スイッチング電源の一般的な機能

従来、パワー・スイッチにはシリコン MOSFET（金属酸化膜半導体電界効果トランジスタ）が使用されてきましたが、現在は GaN FET による置き換えが進んでいます。

システム要件に応じて幅広い種類の設計トポロジーが使用でき、1 FET の昇圧コンバータから、何種類かの 2 FET トポロジーの回路、さらには 4 FET のフルブリッジ・コンバータまで、さまざまな構造のパワー・スイッチが求められます。パワー・スイッチとそのドライバは、コントローラからの要求に厳密に従って動作する必要があるため、

設計の中で極めて繊細な領域となります。要求どおりに動作しない場合、パワー・システムは不安定になります。さらに、変調された電圧の急速な立ち上がりおよび立ち下がり時間によって、帰還ループにノイズが注入され、結果としてパワー・システムが不安定となる場合もあります。

送電網への接続システムに対する要件の 1 つは、送電網と当該システムとの間を絶縁することであり、それによって当該システムの安全性を確保することです。もう 1 つの考慮事項は、電力変換の高周波動作を送電網に干渉させないこと、送電網にノイズを生じさせないことです。GaN デバイスは、この絶縁要求・必要性に対処し、より高い周波数での動作を可能とすることで、電磁干渉を低減しています。周波数が高いほど、絶縁トランスおよび入力フィルタのサイズを小さくできます。

SMPS システムに対する GaN の利点

GaN は、高電圧域でシリコンより低損失であるため、電力スイッチングに関してシリコンよりも有利な点があります。また、オン/オフの切り替えに必要なエネルギーも少なく済みます。Si スwitchは何年にもわたって大きく改良されてきましたが、同じサイズと高電圧という条件では、GaN は Si では実現できないレベルの大きな向上をもたらします。現在、Si MOSFET は GaN と比較してコストの面ではかなり優位ですが、今後は時間の経過とともに、コストの差は縮まっていくと考えられます。

GaN スイッチング・デバイスは、幅広い範囲の動作電圧に対して提供されています。これらの製品によって、電源設計者は、非常に幅広い範囲の入力および出力電圧に対して、目的の効率を維持しながら、より高いスイッチング周波数で動作することにより、ソリューションの物理的なサイズを削減することができます。GaN が最も役立つであろうアプリケーションは、可能な限り小型化する必要のある電源ソリューションです。

図 2 に、GaN トランジスタの基本的な構造を示します。前述のとおり、GaN 材料が Si 基板上に配置されています。これにより、GaN の利点とともに、数十年にわたって培われた Si プロセスの利点も活かすことができます。GaN の利点の 1 つは、バンドギャップ電圧の高さです。

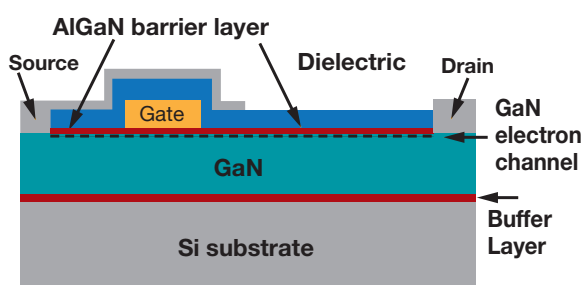


図 2. エンハンスメント・モード GaN FET の断面図

半導体という物質は、バンドギャップ・エネルギーによって存在しています。バンドギャップ・エネルギーとは、物質が絶縁体から導体へと変化する際に越える必要のあるエネルギーのことです。GaN が持つ 3.2 (eV) のバンドギャップ・エネルギーは、Si の約 3 倍です。理論的には、バンドギャップが高いほど、より高い温度で、より高性能が得られることを意味します。これは、物質が導体になる前に、より大きな熱に耐えることができるためです。将来は、この特長によって、車載用、産業用、その他の高温環境での GaN の性能が向上する可能性があります。

SMPS 設計での GaN の学習曲線

GaN が提供する多くの利点に対して、このテクノロジーはまだ電源設計での利用が始まったばかりです。これまでの LED やワイヤレス・アプリケーションにおける GaN の利用状況を見ると、電源にもすぐに適用できるような印象を受けたかもしれませんが、しかし実際には、パワー FET で GaN を使用するには多くのプロセス開発やデバイス開発が必要であり、製品開発のペースはなかなか速まりませんでした。また、この新しい FET には従来の Si と比較してさまざまな相違点があるため、IC サプライヤやシステム設計者は慎重に開発を進めながら、設計上の複雑さを 1 つ 1 つ解決していく必要があります。従来の GaN デバイスは、ノーマリー・オン、つまりディプレッション・モードで動作しますが、Si MOSFET はノーマリー・オフのエンハンスメント・デバイスです。Si MOSFET デバイスを直接置き換えられるようにするため、GaN FET スイッチのサプライヤは、エンハンスメント・モードで動作するよう製品を再設計するか、または別のスイッチを直列に接続してノーマリー・オフ機能を実現していました。

Si MOSFET を GaN FET で置き換えることは、再設計の最初の段階にすぎません。GaN トランジスタの高周波動作は、スイッチの駆動信号に対して高いタイミング精度を要求し、スイッチはパッケージ、内部接続、外部ソースなどの寄生インピーダンスに対して非常に敏感になります。GaN スイッチを高速でオン/オフする内蔵の Si ベース GaN ドライバは、GaN 対応 SMPS 設計の推進に役立ちます。成熟した Si プロセスによって、そのような非常に精度の高い、調整可能な高周波ドライバの開発が可能になります。

例えば、TI の LM5113 ゲート・ドライバは、100V 程度の中程度の電圧レベルのハイ/ローサイドのエンハンスメント・モード GaN パワー・スイッチを制御するために開発されました。このゲート・ドライバは、GaN スイッチの性能を最適化するために必要とされる各種の部品を統合しています。この統合は、基板領域の削減だけでなく、設計の単純化にも役立ちます。最小限の遅延時間で高精度の駆動タイミングを実現できるのに加えて、このデバイスは、GaN スイッチの高効率/高精度動作のために重要となる保護機能も提供します。例えば、ブートストラップ・クランプによって、安全動作領域内でゲート・ソース間電圧が保持されます。また、高電流プルダウンは、 dv/dt 耐量を向上させるとともに、ローサイドの予期しない起動を防ぎます。さらに、独立したソースピンとシンクピンを備えることで、ターンオン/ターンオフ時間を最適化して高効率と低ノイズを実現し、高速な伝播遅延マッチングによってスイッチの遷移中のデッドタイムを最適化します。

GaN ベース SMPS 設計のシステム・レベル・ソリューション

GaN ゲート・ドライバは、高速/高精度な電源管理制御との組み合わせにより、GaN ベースの SMPS 設計を大きく前進させます。ただし、ゲート・ドライバ自体は、最適化という点で制限があります。ドライバと GaN スイッチの間に可能な限り最短のパターンを使用しても、設計によって異なる遅延を生じます。

将来の IC ソリューションでは、パッシブ部品のレイアウトや設計に起因する多様な問題を制御する必要があります。これらはドライバとスイッチを統合する上で最も重要

です。この2つのデバイスは異なる材質に基づき、特性も大きく異なるため、将来も1つのチップ(ダイ)内に低コストで統合されることはないと考えられます。ただし、スイッチをサポートするパッシブ部品、FETやドライバとともに統合したシングル・パッケージ・モジュール(図3)は、SMPSの面積および部品数を大きく削減します。このコンパクト化は、システムの製造コスト削減、さらにはGaNベース設計の効率向上にもつながります。

ソリューションのサイズ削減と同じくらい重要なのが、設計の複雑さの軽減です。ドライバ・スイッチ・モジュールは、チップ間の接続を可能な限り短くすることで、遅延時間と、スイッチのパルス出力の歪みにつながる寄生インピーダンスも最小化します。適切に設計されたモジュールは、ディスクリート設計で生じる寄生要素を大きく削減し、そのいくつかは1桁以上のオーダーで削減することができます。

システム・レベルのソリューションを提供するために重要なもう1つの要素には、GaNによって可能となる高い周波数で動作するコントローラ/レギュレータの必要性があります。このデバイスは、出力電圧の変動に対してリアルタイムで応答する必要があります。また、デッドタイム中の導通損失を最小限に抑えるため、時間分解能も高精度なパルス幅要件を満足する必要があります。これらの要件をサポートするデジタル・パワー・コントローラが提供されており、その高い性能とI/O機能によってシステム内の他の箇所でも使用することができます。デジタル・パワー制御に関する深い専門知識を持つTIは、TIの電源テクノロジーと組み合わせることで、GaNをレギュレーションおよびスイッチングを制御するためのシステム・レベルのソリューションを提供できます。

また、シリコンベース周波数に合わせてスケールアップされているため、GaNベースの設計には磁気部品の適正化も必要です。TIは、電源メーカーおよびGaNの研究機関と協力して、磁気部品のサプライヤにこれらの部品の開発を継続的に働きかけていますが、多くは市場に依存します。GaNベースのパワー部品のラインナップや供給量が増えていくと、磁気部品のサプライヤはそれらの顧客から、このテクノロジーに向けて適正化された部品

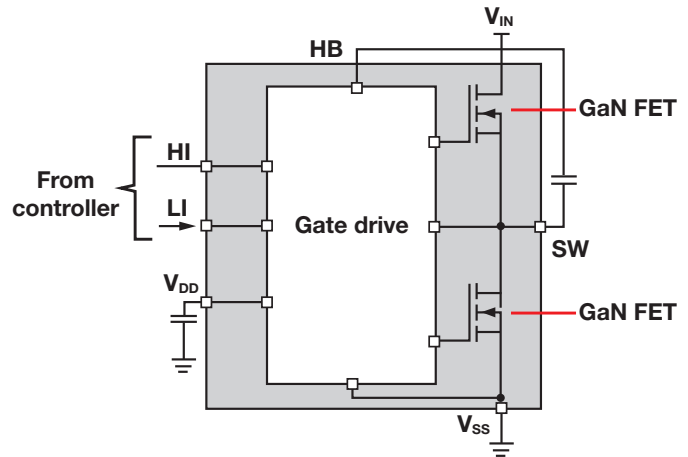


図3. 統合 GaN スイッチ・ゲート・ドライバ・モジュール

を提供するよう多数の要求を受けるでしょう。そのような各種の要素が揃えば、業界では GaN の利点を多くの電源アプリケーションで活用できるようになるでしょう。

将来のニーズに向けた GaN の革新

世界の人口が増加し、開発が進むことで、電力に対する需要が絶え間なく増え続ける一方、環境問題により、できるだけ少ないエネルギーで多くのことを成し遂げる必要性が高まっています。私たちがこのようなニーズへの対応に努め、電力をより効率的に供給、変換、消費することを可能にする革新的なテクノロジーを提供することで、世界の人々の生活を改善し豊かにすることができます。

GaN は、そのような革新の1つであり、電気的な変換における電力損失を最小限に抑え、エネルギー資源をよりよく活用するために役立つ将来性を備えています。GaN に関するさまざまな課題の解決に向けて取り組みながら、TI はパワー製品におけるリーダーシップを活かし、研究開発を積極的に進めることで、高周波電力変換に伴う複雑さを軽減するソリューションを構築していきます。これらの差別化されたソリューションは、効率的な動作を損なう信号遅延や浮遊干渉を最小限に抑えると同時に、設計の単純化、領域の節約、および部品数の削減に貢献します。

そのような利点を持った製品が提供されることで、SMPS 開発者は、より高性能なシステムを設計し、より短時間で市場に投入できるようになります。これらのシステムの成功は、高電力の産業用アプリケーションから、

低電力のマスマーケット製品まで、GaNの新しいアプリケーション領域への進出を後押しすることになります。システム・レベルでのモジュールや他の主要な部品のソリューションは、電源効率に関してGaNテクノロジーが提供する潜在能力をフルに実現するために役立つことでしょう。

詳細については、下記のページをご覧ください。

[TIのGaN Web ページ](#)

[TIの電源ソリューション](#)

販売特約店

<http://www.tij.co.jp/dist/>

株式会社 ケィティーエル

東日本営業本部 第2営業部
〒105-0004 東京都港区新橋2-6-2 新橋アイマークビル
☎ 03 (5521) 2062 FAX 03 (3502) 6301

東京エレクトロニクス株式会社

取扱子会社:パネトロン株式会社

〒221-0056 神奈川県横浜市神奈川区金港町1-4 横浜イーストスクエア
☎ 045 (443) 4001 FAX 045 (443) 4051

富士エレクトロニクス株式会社

本社
〒113-8444 東京都文京区本郷3-2-12 御茶の水センタービル
☎ 03 (3814) 1411 FAX 03 (3814) 1414

株式会社マクニカ クラビス カンパニー

本社
〒222-8561 神奈川県横浜市港北区新横浜1-6-3 マクニカ第1ビル
☎ 045 (470) 9821 FAX 045 (470) 9822

丸文株式会社

デバイス事業部 販売推進本部 推進第1部
〒103-8577 東京都中央区日本橋大伝馬町8-1
☎ 03 (3639) 9920 FAX 03 (3639) 8156

S-0107

ご注意:

本資料に記載された製品・サービスにつきましては予告なしにご提供の中止または仕様の変更をする場合がありますので、本資料に記載された情報が最新のものであることをご確認の上ご注文下さいようお願い致します。

TIは製品の使用用途に関する援助、お客様の製品もしくはその設計、ソフトウェアの性能、または特許侵害に対して責任を負うものではありません。また、他社の製品・サービスに関する情報を記載していても、TIがその他社製品を承認あるいは保証することにはなりません。

*プラットフォーム・バーは、テキサス・インスツルメンツの商標です。

*すべての商標および登録商標はそれぞれの所有者に帰属します。

日本テキサス・インスツルメンツ株式会社

お問い合わせ先

日本TIプロダクト・インフォメーション・センター (PIC)
URL: <http://www.tij.co.jp/pic/>
FAX: ☎ 0120-81-0036
※必ず会社名、お名前、eメールアドレス、ご住所をご記入ください。

本社

〒160-8366 東京都新宿区西新宿6-24-1 西新宿三井ビル
☎ 03 (4331) 2000 (番号案内)

いわき営業所

〒970-8026 福島県いわき市平字小太郎町2-6
いわきフコク生命ビル 2階

さいたま営業所

〒330-8669 埼玉県さいたま市大宮区桜木町 1-7-5
ソニックシティビル 12階

横浜営業所

〒221-0056 神奈川県横浜市神奈川区金港町1-4
横浜イーストスクエアビル 5階

松本営業所

〒390-0811 長野県松本市中央 1-4-20
日本生命松本駅前ビル 6階

金沢営業所

〒920-0031 石川県金沢市広岡 3-1-1
金沢パークビル 11階

名古屋ビジネスセンター/名古屋営業所

〒460-0003 愛知県名古屋市中区錦 2-4-3
錦パークビル 17階

西日本ビジネスセンター/大阪営業所

〒530-6026 大阪府大阪市北区天満橋 1-8-30
OAPオフィスタワー26階

京都営業所

〒600-8216 京都府京都市下京区西洞院通り塩小路上ル
東塩小路町608-9 日本生命京都三哲ビル5階

広島営業所

〒732-0052 広島県広島市東区光町 1-10-19
日本生命広島光町ビル 4階

福岡営業所

〒810-0801 福岡県福岡市博多区中洲 5-6-24
第6ガーデンビル 3階



ご注意

Texas Instruments Incorporated 及びその関連会社 (以下総称して TI といいます) は、最新の JESD46 に従いその半導体製品及びサービスを修正し、改善、改良、その他の変更をし、又は最新の JESD48 に従い製品の製造中止またはサービスの提供を中止する権利を留保します。お客様は、発注される前に、関連する最新の情報を取得して頂き、その情報が現在有効かつ完全なものであるかどうかご確認下さい。全ての半導体製品は、ご注文の受諾の際に提示される TI の標準販売契約約款に従って販売されます。

TI は、その製品が、半導体製品に関する TI の標準販売契約約款に記載された保証条件に従い、販売時の仕様に対応した性能を有していることを保証します。検査及びその他の品質管理技法は、TI が当該保証を支援するのに必要とみなす範囲で行なわれております。各デバイスの全てのパラメーターに関する固有の検査は、適用される法令によってそれ等の実行が義務づけられている場合を除き、必ずしも行なわれておりません。

TI は、製品のアプリケーションに関する支援又はお客様の製品の設計について責任を負うことはありません。TI 製部品を使用しているお客様の製品及びそのアプリケーションについての責任はお客様にあります。TI 製部品を使用したお客様の製品及びアプリケーションに関連する危険を最小のものとするため、適切な設計上及び操作上の安全対策は、お客様にてお取り下さい。

TI は、TI の製品又はサービスが使用されている組み合わせ、機械装置、又は方法に関連している TI の特許権、著作権、回路配置利用権、その他の TI の知的財産権に基づいて何らかのライセンスを許諾するということは明示的にも黙示的にも保証も表明もしておりません。TI が第三者の製品もしくはサービスについて情報を提供することは、TI が当該製品又はサービスを使用することについてライセンスを与えるとか、保証又は是認するということを含みません。そのような情報を使用するには第三者の特許その他の知的財産権に基づき当該第三者からライセンスを得なければならない、又は TI の特許その他の知的財産権に基づき TI からライセンスを得なければならない場合があります。

TI のデータ・ブック又はデータ・シートの中にある情報の重要な部分の複製は、その情報に一切の変更を加えること無く、且つその情報と関連する全ての保証、条件、制限及び通知と共になされる限りにおいてのみ許されるものとします。TI は、変更が加えられて文書化されたものについては一切責任を負いません。第三者の情報については、追加的な制約に服する可能性があります。

TI の製品又はサービスについて TI が提示したパラメーターと異なる、又は、それを超えてなされた説明で当該 TI 製品又はサービスを再販売することは、関連する TI 製品又はサービスに対する全ての明示的保証、及び何らかの黙示的保証を無効にし、且つ不公正で誤認を生じさせる行為です。TI は、そのような説明については何の義務も責任も負いません。

TI からのアプリケーションに関する情報提供又は支援の一切に拘わらず、お客様は、ご自身の製品及びご自身のアプリケーションにおける TI 製品の使用に関する法的責任、規制、及び安全に関する要求事項の全てにつき、これをご自身で遵守する責任があることを認め、且つそのことに同意します。お客様は、想定される不具合がもたらす危険な結果に対する安全対策を立案し実行し、不具合及びその帰結を監視し、害を及ぼす可能性のある不具合の可能性を低減し、及び、適切な治癒措置を講じるために必要な専門的知識の一切を自ら有することを表明し、保証します。お客様は、TI 製品を安全でないことが致命的となるアプリケーションに使用したことから生じる損害の一切につき、TI 及びその代表者にその全額の補償をするものとします。

TI 製品につき、安全に関連するアプリケーションを促進するために特に宣伝される場合があります。そのような製品については、TI が目的とするところは、適用される機能上の安全標準及び要求事項を満たしたお客様の最終製品につき、お客様が設計及び製造ができるようお手伝いすることにあります。それにも拘わらず、当該 TI 製品については、前のパラグラフ記載の条件の適用を受けるものとします。

FDA クラス III (又は同様に安全でないことが致命的となるような医療機器) への TI 製品の使用は、TI とお客様双方の権限ある役員の間で、そのような使用を行う際について規定した特殊な契約書を締結した場合を除き、一切認められていません。

TI が軍需対応グレード品又は「強化プラスチック」製品として特に指定した製品のみが軍事用又は宇宙航空用アプリケーション、若しくは、軍事的環境又は航空宇宙環境にて使用されるように設計され、かつ使用されることを意図しています。お客様は、TI がそのように指定していない製品を軍事用又は航空宇宙用に使う場合は全てご自身の危険負担において行うこと、及び、そのような使用に関して必要とされるすべての法的要求事項及び規制上の要求事項につきご自身のみの責任により満足させることを認め、且つ同意します。

TI には、主に自動車用に使われることを目的として、ISO/TS 16949 の要求事項を満たしていると特別に指定した製品があります。当該指定を受けていない製品については、自動車用に使われるようには設計されてもいませんし、使用されることを意図しておりません。従いまして、前記指定品以外の TI 製品が当該要求事項を満たしていなかったことについては、TI はいかなる責任も負いません。

Copyright © 2015, Texas Instruments Incorporated
日本語版 日本テキサス・インスツルメンツ株式会社

弊社半導体製品の取り扱い・保管について

半導体製品は、取り扱い、保管・輸送環境、基板実装条件によっては、お客様での実装前後に破壊/劣化、または故障を起こすことがあります。

弊社半導体製品のお取り扱い、ご使用にあたっては下記の点を遵守して下さい。

1. 静電気

- 素手で半導体製品単体を触らないこと。どうしても触る必要がある場合は、リストストラップ等で人体からアースをとり、導電性手袋等をして取り扱うこと。
- 弊社出荷梱包単位 (外装から取り出された内装及び個装) 又は製品単品で取り扱いを行う場合は、接地された導電性のテーブル上で (導電性マットにアースをとったもの等)、アースをした作業者が行うこと。また、コンテナ等も、導電性のものを使うこと。
- マウンタやはんだ付け設備等、半導体の実装に関わる全ての装置類は、静電気の帯電を防止する措置を施すこと。
- 前記のリストストラップ・導電性手袋・テーブル表面及び実装装置類の接地等の静電気帯電防止措置は、常に管理されその機能が確認されていること。

2. 温・湿度環境

- 温度：0~40℃、相対湿度：40~85%で保管・輸送及び取り扱いを行うこと。(但し、結露しないこと。)

- 直射日光が当たる状態で保管・輸送しないこと。

3. 防湿梱包

- 防湿梱包品は、開封後は個別推奨保管環境及び期間に従い基板実装すること。

4. 機械的衝撃

- 梱包品 (外装、内装、個装) 及び製品単品を落下させたり、衝撃を与えないこと。

5. 熱衝撃

- はんだ付け時は、最低限 260℃ 以上の高温状態に、10 秒以上さらさないこと。(個別推奨条件がある時はそれに従うこと。)

6. 汚染

- はんだ付け性を損なう、又はアルミ配線腐食の原因となるような汚染物質 (硫黄、塩素等ハロゲン) のある環境で保管・輸送しないこと。
- はんだ付け後は十分にフラックスの洗浄を行うこと。(不純物含有率が一定以下に保証された無洗浄タイプのフラックスは除く。)

以上