

## 電気的オーバストレス保護の種類

### はじめに

オン・セミコンダクターは、さまざまなシリコン・ベースの保護製品を製造しており、その中には標準的なダイオードとツェナー・ダイオード・ベースの過渡電圧サプレッサ(TVS)、サイリスタ・サージ保護デバイス(TSPD)、電子ヒューズ(eFuse)が含まれています。TVSデバイスは、オン・セミコンダクターのシングル・エンド・フィルタとコモン・モード・フィルタの製品ラインで内蔵プロテクタとしても採用されています。ただし、保護デバイスは他の様々なテクノロジで製造されています。このアプリケーション・ノートでは、電気的オーバストレスからシステムを保護するのに使用される最も一般的なコンポーネントのいくつかを説明し、一般クラスの保護製品に関する全体説明とそれらの動作方法を最初に述べます。次に、電圧制限および電流制限保護のセクション、および利用可能な各種テクノロジの説明と、それぞれの長所と短所の要約が続きます。

### 電気的システムの保護

電子システム内の敏感な電気コンポーネントは、多くの方法で電気的オーバストレスから保護されています。最初の防衛線は、物理的な保護を実現するシステムのケースです。2番目の防衛線は適切な接地で、過電圧と過電流を敏感なノードからシャントします。ただし、システムには、キーボードやビデオ出力などの入力と出力、およびUSBポートなどのデータ・インターフェースが必要です。これらの入力ポートと出力ポートは多くの場合、通常使用時に電気的オーバストレスが入り込みやすい経路を形成します。入力ラインと出力ラインで使用されている保護製品は、一般に発生するほとんどのストレスに起因する電気的ストレスを制限しますが、その中には静電気から落雷までさまざまな要因が含まれます。

保護コンポーネントは、電圧抑制と電流制限の2つのカテゴリに分類できます。Figure 1にこれらを図示します。このうち、電圧制限デバイスはダイオードで表現し、電流制限デバイスはヒューズで表現しています。電圧制限デバイスは、敏感なノードと低インピーダンスの電圧、つまり通常はグランドの間に配置します。システムの通常動作中、電圧制限コンポーネントはハイ・インピーダンスになっている必要があります。通常動作電圧の範囲外の電圧が発生した場合、電圧制限デバイスは低インピーダンスに切り替わり、ストレス電流をグランドに分岐させ、敏感なノードに印加される電圧を制限する必要があります。電流制限デバイスは、信号が通過するライン上に配置する必要があります。電流制限デバイスは、通常のシステム動作中は低抵抗であること、ただしストレス条件が発生した場合はハイ・インピーダンスに切り替わることが必要です。



ON Semiconductor®

<http://onsemi.com>

### APPLICATION NOTE

"System" with Protection

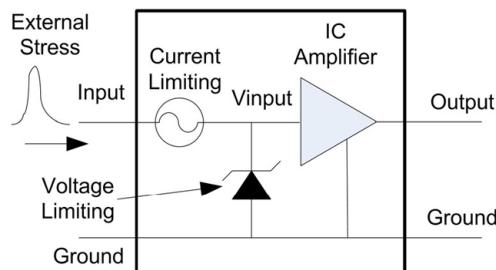


Figure 1. Illustration of How Protection Devices Limit Stress to Sensitive Components

### 電圧サプレッサ

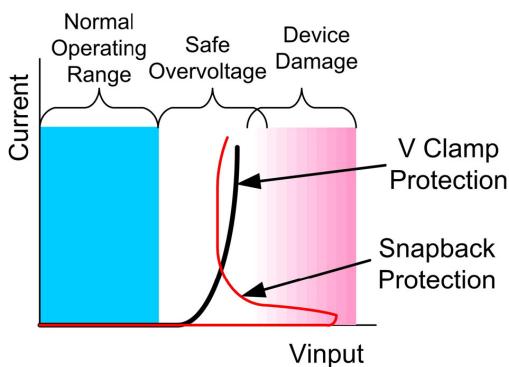
ICのすべてのピンには、ICが動作するための様々な電圧と電流が存在します。通常の動作電圧より上には、安全な過電圧領域があり、この領域が回路に損傷を与えることはありません。これより高い電圧が発生するとICが損傷します。これらの領域をFigure 2に示します。安全な過電圧とデバイスの損傷の間の境界は明確ではありません。多くの場合、電圧の印加が短時間しか持続しない場合は、より高い電圧も許容できます。電圧サプレッサは、デバイスの損傷領域への電圧印加を防止することにより、保護対象回路の安全な過電圧領域で動作する必要がありますが、通常動作範囲内でシステム性能を低下させないようにする必要があります。

電圧サプレッサは、保護動作とその方向性によって分類されます。保護動作は電圧クランプとスナップバックに分類され、方向性は単方向と双方向に分類されます。

電圧サプレッサ・デバイスは、Figure 2に図示するように、電圧クランプおよびスナップバック保護の2つの動作カテゴリに分類できます。電圧クランプ・デバイスは、ターンオン電圧に達するまでは高い抵抗を示しますが、ターンオン電圧を上回ると抵抗は急激に低下します。電圧クランプ・デバイスにとって、ターンオン電圧がシステムの通常動作電圧を上回っていること、一方でターンオン電圧が保護対象ノードの損傷電圧を十分下回っていることが重要です。電気的脅威が回路に引き起こす可能性のある

様々な条件下で、低いクランプ電圧が得られるように、オン状態抵抗が非常に低いことも必要です。

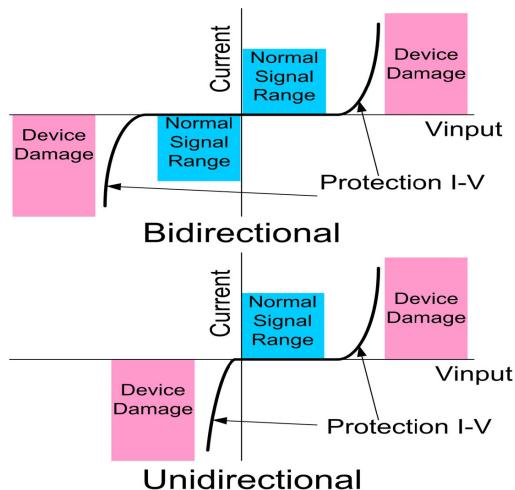
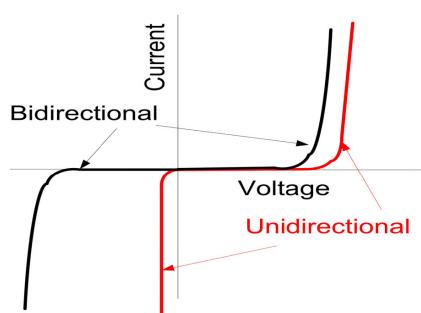
スナップバック・デバイスの動作はこれとは異なります。スナップバック・デバイスも低電圧時に高抵抗を示しますが、保護対象回路の通常動作電圧を上回る電圧が印加されるとターンオンします。ただし、スナップバック・デバイスでは、ターンオン電圧が印加されると、新しい導通メカニズムが開始されて抵抗が小さくなり、電圧はターンオン電圧より十分に低い値まで低下します。状況によっては、電圧が実際に通常動作範囲にまで低下する可能性があります。Figure 2に示すように、スナップバック・デバイスが、安全電圧範囲に復帰する前に、短時間デバイス損傷領域への遷移を許す場合があります。損傷の発生は時間への依存が高い場合がよくあるため、多くの回路にとってこのような短時間の過渡状態は受け入れ可能です。



**Figure 2. I-V Curves for Voltage Clamping and Snapback Voltage Limiting Devices and How They Relate to the Properties of the Circuits They are Protecting**

スナップバック・タイプのデバイスの一部はクローバー・デバイスと呼ばれています。クローバー・デバイスはスナップバック・タイプのI-Vの曲線を示しますが、オン状態抵抗が非常に小さく、大電流を流すことができるので、落雷や電力ラインの妨害に起因するサージに対して適しています。サイリスタ・サージ保護デバイス(TSPD)とガス放電管(GDT)はしばしば、クローバー・デバイスと呼ばれます。ポリマ・サージ保護デバイスでは、オン状態抵抗が非常に小さいという特性はなく、クローバー・デバイスに分類することはできません。

電圧制限デバイスは、双方向と单方向にも分類できます。双方向と单方向の電圧クランプ保護コンポーネントに対応するサンプルのI-V曲線を、Figure 3の左側に示します。双方向の保護デバイスには、0 Vを中心とする対称形保護特性があります。Figure 3の右上に図示するように、双方向の保護構造は、オーディオ・ライン・アプリケーションのように、電圧が通常、0 Vの上と下の両方に対称的に伸びるノードを保護するのに最適です。单方向デバイスは0 V周辺で非対称的な動作を示します。従来型の单方向保護デバイスはツェナー・ダイオードです。順方向では、ツェナーは約0.7 Vで強い導通を開始します。逆方向バイアスの場合、ツェナーは自らの逆バイアス・ブレーキダウン電圧で導通を開始します。Figure 3の右上に図示するとおり、单方向保護デバイスは、データ・ライン・アプリケーションのように、電圧が常に正または常に負のいずれかである電圧ノードを保護する場合に最適です。一般的な誤りは、双方向保護コンポーネントが正と負の両方のストレスから保護するのに対し、单方向素子は1極性のストレスからのみ保護すると想定することです。この想定は正しくありません。单方向および双方向保護製品のいずれも、両方の極性に対して保護します。

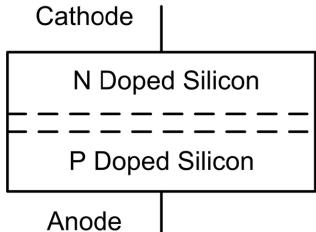


**Figure 3. Bidirectional and Unidirectional Voltage Clamping Protection Devices with the Range of Safe and Unsafe Conditions for the Circuit Being Protected**

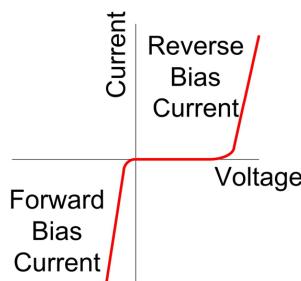
### ダイオード過渡電圧サプレッサ

ダイオードは、2端子の回路素子であり、一方の極性では簡単に導通し、反対の極性では特定のブレー

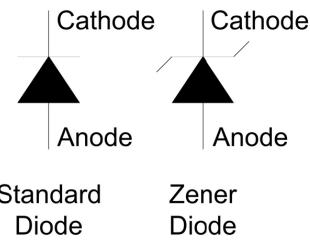
ク電圧に達するまでは高い抵抗を持ちます。現在、ほとんどのダイオードはシリコン製の半導体デバイスです。



Diode Construction



Diode I-V



Solid State Diode Symbols

Figure 4. Diode Protection

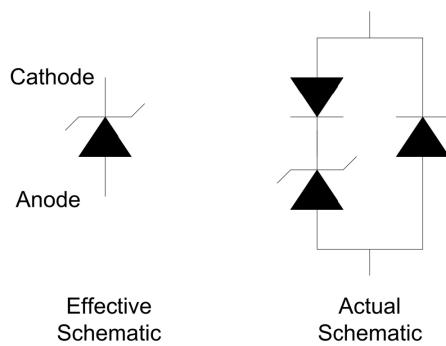
Figure 4に示すように、シリコン・ダイオードは、n型ドープつまり添加を行ったシリコン領域と、p型ドープ・シリコン領域を接合する形で形成されています。この接合部で、n型ドープ領域とp型ドープ領域の間にある電界により、外部から電圧が印加されていないとき、n型キャリアとp型キャリアのどちらも存在しない空乏層が発生します。カソードからアノードに対して負の電圧が印加された場合は、n型キャリアとp型キャリアの両方が接合部に向かって(互いに反対の方向で)押し出され、約0.7 Vで電流が流れ始めます。カソードからアノードに負の電圧が印加された場合は、n型キャリアとp型キャリアの両方が接合部から引き離され、電流はほとんど流れません。十分高い電圧が印加された時点で、アバランシェ・ブレークダウンまたはツェナー・トンネル効果が発生して、大電流が流れます。基本的なダイオードのI-V曲線をFigure 4に示します。ダイオードは性質上、単方向デバイスであり、電圧クランプによる保護を行います。ダイオードの特性は、接合部付近と接合部から離れた部分の両方におけるn型領域とp型領域のドーピング・レベルに依存します。基本的なダイオード構造の性質は簡潔ですが、ドーピング・プロファイルの差異により、非常に多様なダイオード特性を実現できます。保護の目的で設計されたダイオードは、最先端のシリコン・テクノロジ開発を最大限に活用して長所を実現しています。

最も重要なダイオード特性の1つは、ブレークダウン電圧です。ダイオードの逆バイアス・ブレークダウン電圧は、わずか数ボルトから数百ボルトまで大きく異なります。ブレークダウン電圧が適切に定義されたシリコン・ベースのダイオードのほとんどは、ツェナー・ダイオードと呼ばれます。標準的なダイオードとツェナー・ダイオードの回路記号をFigure 4に示します。(ツェナー・トンネル効果による逆バイアス導通は、ブレークダウン電圧が6 V以下のダイオードにのみ意味があります。ブレークダウン電圧が6 Vを上回るダイオードは通常、アバランシェ・ブレークダウンにより、逆バイアス電圧で導通

を開始します。ただし、このようにブレークダウン電圧が高いデバイスに対しても、ツェナー・ダイオードという用語を使用することが半導体業界の標準となっています)。

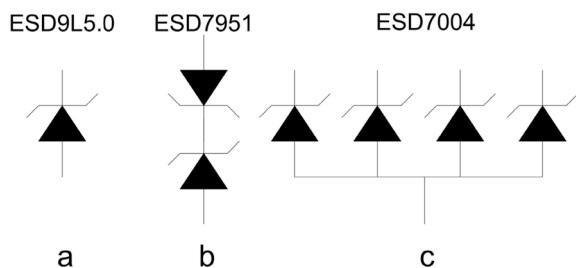
これまで、シリコン・ベースのTVSデバイスでは、高速信号ラインで低電圧から保護する際に短所が存在していました。保護ダイオードのターンオン電圧を低くするには、シリコン内でドーピング・レベルを高める必要があり、結果として静電容量が増えることになります。このためダイオードは高速アプリケーションには不適当になります。最近のテクノロジの向上に伴って、この短所は解消されました。

ESD9L5.0のような新しい製品は、シリコン・ベースの保護による長所と、高速アプリケーションで要求される低静電容量を組み合わせています。ESD9L5.0は、あたかもシンプルなツェナー・ダイオードであるかのように動作します。実際、Figure 5に示すようにESD9L5.0にはブレークダウン電圧の低いツェナー・ダイオードと、ブレークダウン電圧の高い2個のダイオードが内蔵されており、そのため低静電容量の標準的なダイオードとして動作します。ESD9L5.0のDC I-V特性は、低電圧ツェナー・ダイオードと同じです。カソードからアノードに負電圧が印加されている場合、右側の分岐にある單一ダイオードが順方向バイアスのダイオード導通を実現します。カソードからアノードに正電圧が印加されている場合、ESD9Lの右側の分岐では電流がほとんど流れませんが、左側の分岐ではブレークダウン電圧が、ツェナー・ダイオードのブレークダウン電圧とダイオードの順方向バイアス電圧降下を加えた値に等しくなります。ESD9L5.0は、2個の標準的なダイオードの低静電容量から、デバイス自体の低静電容量を実現しています。回路の右側の分岐は、ブレーク電圧の高いダイオードの低静電容量特性を備えているのに対し、左側の分岐では、直列接続された2個のダイオードの静電容量が、ブレークダウン電圧が高く静電容量の小さいダイオードよりも高くなることはありません。



**Figure 5. Effective and Actual Schematic of ON Semiconductor's ESD9L5.0, Ultra Low Capacitance Diode Based TVS Device**

ツェナー・ダイオード・ベースの過渡電圧サプレッサーは、保護するのに非常に効果的な製品です。オン状態では高い電導率を持ち、ターンオン電圧を高い精度で制御できます。また、最大電流制限以下では、ストレスが繰り返されても性能は低下しません。また、Figure 6に示すように、ICプロセス手法を使用して、同じシリコン・サブストレート上に多様な構成で製造することもできます。オン・セミコンダクターのESD9L3.3などの製品は単方向信号に対する保護を提供するのに対し、両極性信号ラインはオン・セミコンダクターのESD7951などの製品で保護できます。複数の信号ラインを保護する单一パッケージ・ソリューションも可能であり、オン・セミコンダクターのESD7004などの製品がUSB 3.0やHDMIのアプリケーションに最適です。

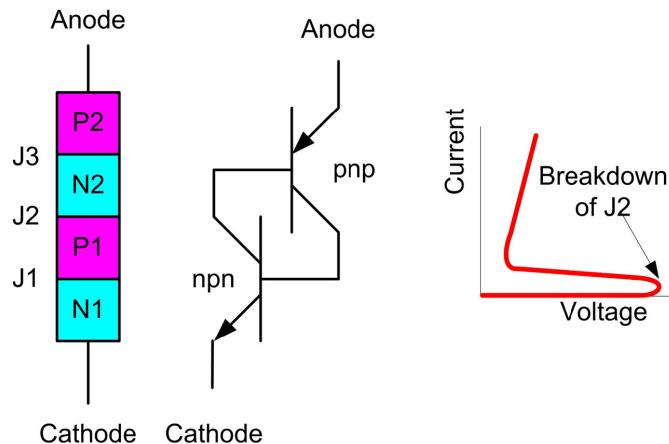


**Figure 6. Variety of Diode Based Protection Products Combining Multiple Diodes**

### サイリスタ

サイリスタ・サージ保護デバイスは、相互接続されたペアのバイポーラ・トランジスタに基づいており、Figure 7に示すように、n型ドープおよびp型ドープされたシリコン領域を合計4層スタッカード構造で作成されています。n型ドープされた領域であるN1、p型ドープされた領域であるP1、n型ドープされた領域であるN2は、NPNトランジスタのそれぞれエミッタ、ベース、コレクタを形成します。一方、p型ドープされた領域であるP2、n型ドープされた領域であるN2、p型ドープされた領域であるP1は、PNPトランジスタのそれぞれエミッタ、ベース、コレクタを形成します。この配置により、Figure 7の中心部で示すように、各トランジスタのコレクタはもう一方のトランジスタのベースを兼ねています。この方法で、一方のトランジスタでエミッタからコレクタに流れる電流は、もう一方のトランジスタにベース電流を供給し、それによって各トランジスタに電力を供給して導通状態になります。アノードからカソードに正電圧が印加されている場合は、両方のトランジスタのエミッターベース接合部J1とJ3が順方向にバイアスされます。逆バイアスされた接合部J2のみが電流の流れを阻止します。アノード-カソード電圧が上昇してJ2接合部のブレークダウン電圧に達した場合は、2個のバイポーラ・トランジスタのベースに電流が直接流れ始めます。これにより、両方のトランジスタがオンになります。両方のトランジスタがオンのとき、サイリスタ全体の抵抗が減少し、サイリスタ両端の電圧の低下します。サイリスタのアノード-カソードに正の電流を強制的に流した結果得られるI-V曲線を、Figure 7に示します。この形状のI-V曲線を持つ保護素子は優れた保護を提供し、電圧降下がトリガ条件を十分下回ったときにトリガされ、保護素子においてわずかな消費電力で十分な大きさの電流を流すことができます。保護特性は正電圧に対してスナップバック動作を行います。サイリスタはオン状態抵抗のため、クローバ・デバイスと呼ぶのが適切です。

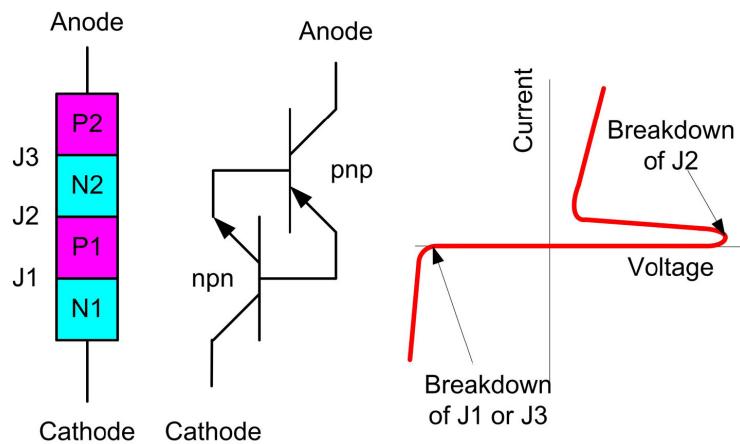
## AND9009/D



**Figure 7. Basic Thyristor Structure and Behavior**

アノード-カソードに負電圧が印加されている場合、状況は大きく異なります。接合部J2のみが順方向バイアスされます。この順方向バイアスされた接合部は、Figure 8に示す、一般的な表記とは異なるバイポーラ・トランジスタ・ペアのエミッタ・ベース接合部とみなすことができます。同じ接合部が両方

のトランジスタのエミッタとして機能しているので、再生動作は不可能です。アノード-カソードに負のバイアス電圧が印加されている場合、サイリスタのブレークダウンは、Figure 8のI-V曲線に示すように、逆バイアスされたダイオードに似た特性になります。



**Figure 8. Thyristor Under Negative Voltage**

対称的なスナップバック動作を実現するには、2つの逆並列サイリスタを使用する必要があります。これは、Figure 9aに示すように個別サイリスタのペアを使用するか、Figure 9bに示すように5つのドーピング・レベルを持つ單一片のシリコン上での統合構

造で実現できます。統合デバイスを通常、サイリスタ・サージ保護デバイス(TSPD)と呼びますが、会社によってはSIDACTORなどの名前を使用しています。TSPDのI-V特性をFigure 9cに示します。

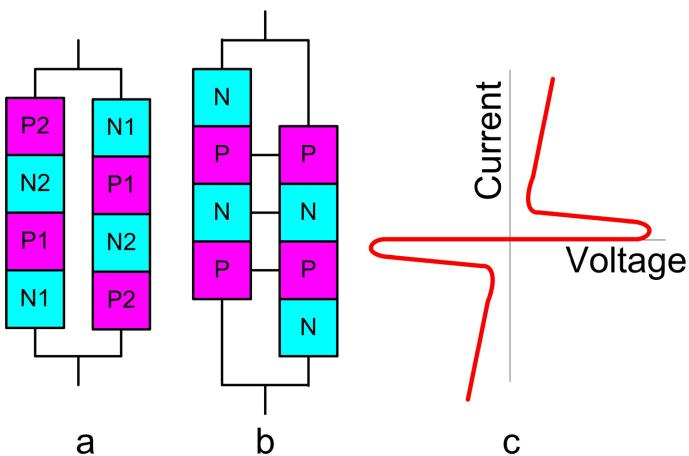


Figure 9. Creation of a Bidirectional Thyristor Protection Device

TSPDを使用する際に検討すべき設計の制限があります。Figure 10に、TSPDのホールド電圧と電流を定義します。回路が保護されている間、ホールド電圧が動作電圧より低いことがよくあります。保護対象ノードの電源がホールド電流を供給できる場合は、ストレスが発生した後にシステムがラッチアップ状態に移行する可能性があります。このような状況は、システムの電源が供給可能な値より大きなホールド電流を持つTSPDを選択するか、回路に小さな抵抗を追加して、ストレス・イベント後にTSPDに供給できる電流を低減することによって回避できます。

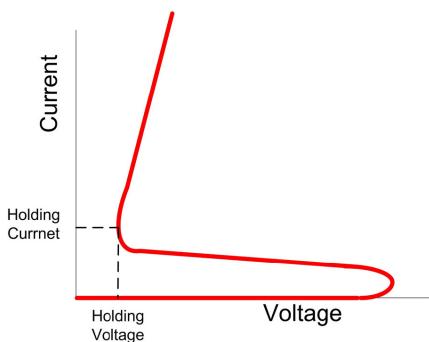


Figure 10. Holding Voltage and Current of a TSPD

TSPDは、損傷を受けずに大電流を流せるので、電気的サージ条件が発生する場合は優れた保護素子として機能し、電気通信系の保護に幅広く採用されています。これらの製品はリークが小さく、多様なターンオン電圧が利用できるため、さまざまなアプ

リケーションに適しています。最近のテクノロジの進歩によって、高速なxDSLデータを伝送する電気通信回路の保護に使用できる低静電容量のTSPDが製造されるようになりました。

#### 金属酸化物バリスタ(MOV)

金属酸化物バリスタは、この資料で最初に紹介する、シリコン・ベースではない電圧制限デバイスです。バリスタ(varistor)という用語は、バリアブル(variable、可変)とレジスタ(resistor、抵抗)を組み合わせた呼び名です。電流と電圧が低い場合は、バリスタは高い抵抗を示しますが、電流と電圧が高くなつた場合は、Figure 11aに示すように抵抗は大幅に小さくなります。バリスタは通常、Figure 11bに示すように、酸化亜鉛磁器組成物を、他の添加酸化物と結合する方法で製造されています。これらの組成物が、周囲の酸化物との組み合わせでダイオードを形成し、並列および逆並列に配置された複数のダイオードからなる複合的な配列を形成します。低電圧時には、各小型ダイオードの両端に印加される電圧が非常に低く、電流はほとんど流れません。高電圧が印加された場合は、個々のダイオードが導通を開始し、バリスタの抵抗は大幅に低下します。組成物のサイズ、組成物間での添加材質の性質、磁器の厚さ、磁器へのリード端子の接続などの要因によって、バリスタの特性が決まります。低電圧でのターンオンを実現し、伝導性を向上させるために、ほとんどのMOVバリスタはFigure 11cに示すように多層構造で構築されています。

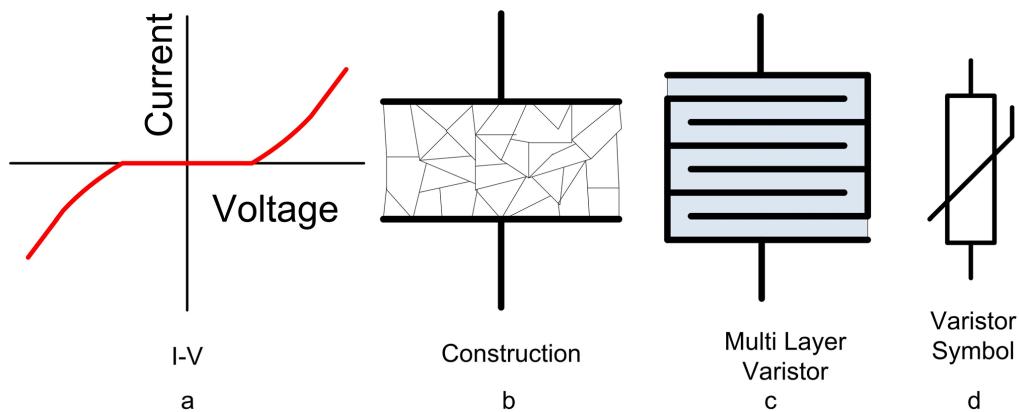


Figure 11. Metal Oxide Varistor and a Symbol Often Used for a Varistor

バリスタは常に双方向デバイスですが、非常に多様な特性の電流と電圧を達成するように製造されており、高電圧の伝送ラインに対する落雷の保護から、小型表面実装デバイス(SMD)に対するESD(静電気)の保護まで、多くのアプリケーションで使用されています。ただし、バリスタは伝導性に比べて静電容量が比較的大きいという特性があります。これらのバリスタの制限により、シリコン・デバイスに比べるとオン状態抵抗がかなり大きくなるため、クランプ電圧も大幅に高くなります。したがって、バリスタの用途は高速信号ラインをESDの脅威から保護することに限定されます。定格値をはるかに下回るストレスでも、バリスタの性能が低下する可能性があります。また、バリスタの性能は製品の材質組成に依存し、パーツごとに個体差があり、またストレスが加えられるたびに変化する可能性があるため、クランプ電圧の性能に一貫性がなく、電気的ストレスを受けている間は信頼性が低下します。一般的に使用されるバリスタの回路記号をFigure 11の右側に示します。

#### ポリマ・サージ・サプレッサ

ポリマ保護はFigure 12に示すように、一連の導体粒子を大量のポリマで取り囲んで形成されています。低電圧時にはポリマは非常に大きい抵抗を持ちます。導体粒子間で高電圧アーケが発生した場合は、抵抗の小さいパスが形成され、デバイス両端の電圧が低下します。ブレーカダウン電圧はポリマの性質、導体粒子のサイズ、およびポリマと導体粒子の分離度に依存します。ポリマ・サージ・サプレッサ・デバイスは、スナップバック・デバイスであり、Figure 12のI-V曲線に示すように常に双方向です。

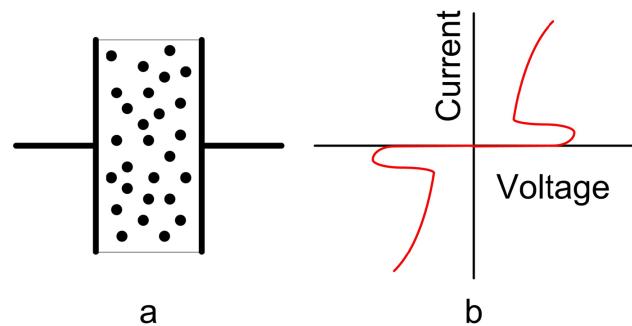


Figure 12. Polymer Surge Suppressor

ポリマ・デバイスは静電容量が非常に小さく、高速アプリケーションのシグナル・インテグリティを維持するのに魅力的な選択肢になる可能性があります。ただし、いくつか短所もあります。トリガ電圧が高く、1000 Vを上回る可能性もあり、低電圧のストレス・イベントに対して敏感なコンポーネントが保護されない可能性があります。オン状態抵抗は不十分であり、保護デバイスがトリガした後でもESDイベント中は、敏感な回路に数百ボルトの印加を許容できます。ポリマ・サージ・サプレッサは、複数回のストレスを受けても性能が低下する場合があります。

#### ガス放電管(GDT)

ガス放電管は通常、セラミック本体にネオンやアルゴンを含むガス混合物を封入して製造され、Figure 13の左側に示すように2個以上の電極が取り付けられています。電極間の電圧が規定値を上回るとグロー放電が開始され、その後、十分な電流が利用

可能になると放電が発生し、小電流を流すパスが提供されます。これをFigure 13のI-V曲線に示します。GDTはスナップバック・デバイスであり常に双方向です。GDTのオン状態抵抗は非常に小さく、GDTは従来型のクローバ・デバイスとして使用されます。

内側の電極に穴を開けることにより、単一容積のガスに対して、3個以上の電極を持つガス放電管を構築できます。結果は、隣接する任意の2個の電極間でトリガ電圧が生じたときにアーカーが発生し、

イオン化されたガスがガス空間全体に充満するとすべての電極間で低抵抗パスが実現します。ガス放電管のこの特性は、ライン間の大きな電圧不均衡に敏感な複数ラインの信号ポートで重要な場合があります。ガス放電管は双方向サイリスタに似た、双方向スナップバックI-V特性を備えています。初期ブレークダウンと完全アーカー状態の間にグロー領域が形成されるため、I-V曲線はいくらか複雑です。

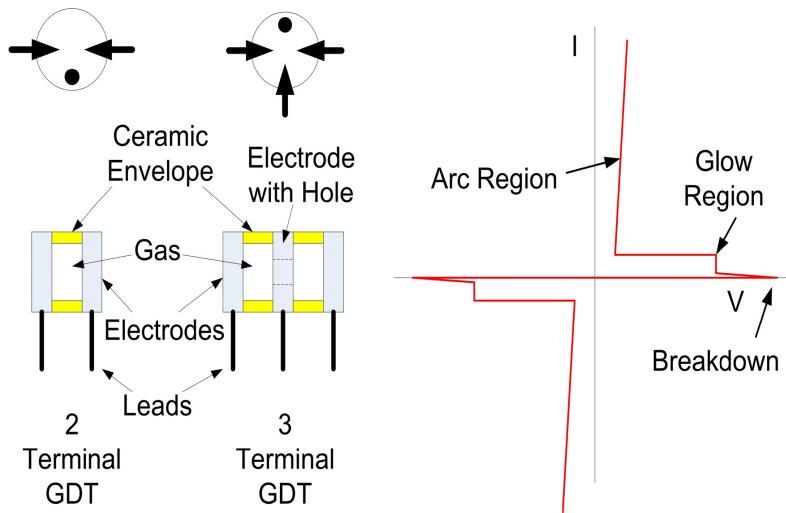


Figure 13. Gas Discharge Tube Construction, Electrical Symbols and I-V Curves

ガス放電管は、非常に大きな電流を流すことができ、かつ静電容量が非常に小さいので、信号負荷を小さく抑制することができます。短所として、GDTの最小ターンオン電圧は約75 Vで、ターンオン時間が比較的長いことが挙げられます。また、GDTは比較的大型で、他のサージ保護デバイスよりも高価です。GDTは高速ターンオンで低電圧の二次保護素子

と組み合わせると、優れた一時保護デバイスとして機能します。

#### 電圧サプレッサのまとめ

Table 1に電圧制限保護デバイスとその特性を要約し、Table 2に各デバイスの長所と短所の概要を示します。

Table 1. SUMMARY OF VOLTAGE SUPPRESSION DEVICES

Type	Protection Mechanism	Application	Directionality	Strategy
Transient Voltage Suppressors (TVS)	Mix of Forward Bias, and Avalanche and Zener Breakdown Silicon Diodes	Surge and ESD	Unidirectional or Bidirectional	V Clamp
Thyristor (TSPD)	Turn On of Coupled Bipolar Transistors (SCR)	Lightning & Surge	Usually Bidirectional	Snapback (Crowbar)
Metal Oxide Varistor (MOV)	Metal Oxide Non-linear Resistance	Lightning, Surge & ESD	Bidirectional	V Clamp
Polymer	Arcs in Polymer w. Conductive Particles	ESD	Bidirectional	Snapback
Gas Discharge Tube (GDT)	Arc in Gas	Lightning & Surge	Bidirectional	Snapback (Crowbar)

Table 2. ADVANTAGES AND DISADVANTAGES OF VARIOUS VOLTAGE LIMITING DEVICES

Type	Advantage	Disadvantage
Transient Voltage Suppressors (TVS)	Well Controlled Turn On Voltage Low Resistance in On State Unidirectional and Bidirectional Versions Low Capacitance Versions Available Low Leakage Fast Response	Limited Power Ratings
Thyristor (TSPD)	High Current Carrying Capability Low Capacitance Versions Available	Care Needed in Selection & Design to Avoid Latch-up; Otherwise Power Reset Needed after Surge Event. Slower Turn On than TVS – Not Fast enough for ESD Protection
Metal Oxide Varistor (MOV)	Low Cost Fast Response	High Capacitance High Resistance in On State; Poor Power Dissipation Capability
Polymer	Very Low Capacitance Low Cost	High Turn On Voltage High Resistance in On State
Gas Discharge Tube (GDT)	Very High Current Carrying Capability Low Capacitance High Off State Impedance	Large Size Slow Response Expensive

### 電流制限デバイス

電流制限デバイスには、ヒューズ、回路ブレーカ、正温度係数(PTC)デバイス、電子ヒューズ(eFuse)の4種類の主要タイプがあります。各デバイスの目標は、電流が過度に大きくなった場合に、電流の流れを停止することです。各デバイスには長所と短所があります。

### 電子ヒューズ(eFuse)

電子ヒューズは、アクティブ動作の電子コンポーネントであり、負荷に供給される電流を制限すること、および負荷から完全に電力を取り除くことができます。オン・セミコンダクターのeFuse製品の追加機能には、過渡現象に対する電圧クランプが含まれます。Figure 14に、基本的な電子ヒューズのブロック図を示します。中央にある要素は、電源を負荷に接続する大電力FETです。ゲートにチャージ・ポンプを使用することにより、通常動作時にFETは電源と負荷の間に非常に小さい直列抵抗を持ちます。制御回路は、通常動作、過電圧、過電流の各状態、およびターンオン状態時に、FETに供給されるチャージ・ポンプ電圧を調整します。

3つの回路が、チャージ・ポンプの電圧、電流制限、電圧制限(クランプ)、およびサーマル・シャットダウン回路を制御します。電流制限回路は、Figure 14にある電流センス抵抗 $R_S$ の両端の電圧を監視します。電流センス抵抗は、大型FETの小規模セクションに接続されています。センス抵抗は全電流のうち一部しか監視しないので、ボード上に配置された小電力の表面実装抵抗を使用することもできます。センス抵抗の値によって「過負荷電流」レベルを設定し、この電流を上回った場合は電流がクランプされ、クランプされるレベルは「短絡電流」と呼ばれます。与えられたセンス抵抗値に基づき、短絡電流制限は一般に対応する過負荷電流レベルよりも低く設定されます。その結果、クランプ・イベントが発生すると電流が減少する過渡現象につながります。

通常動作時は、出力電圧は入力電圧(V<sub>CC</sub>)に追従しますが、FETの低いオン抵抗R<sub>DSON</sub>に起因する電圧降下分だけ電圧が低下します。V<sub>CC</sub>の電圧が高くなりすぎて、プリセットされた値を上回る場合は、電圧制限回路がFETのソース電圧をセンスし、FETのゲート電圧を調整して、出力電圧を規定最大値に維持します。

最後に、サーマル・シャットダウン回路はFETの温度を監視します。FETの温度が、プリセット値を上回ると、FETがターンオフし、負荷から電力を取り除きます。オン・セミコンダクターのeFuseは、冷却後に自動的に負荷への電力供給を再開するように設定できますが、そうしない場合は、電源を入れ直すか、イネーブル・ピンをトグルして電流の流れを元に戻す必要があります。

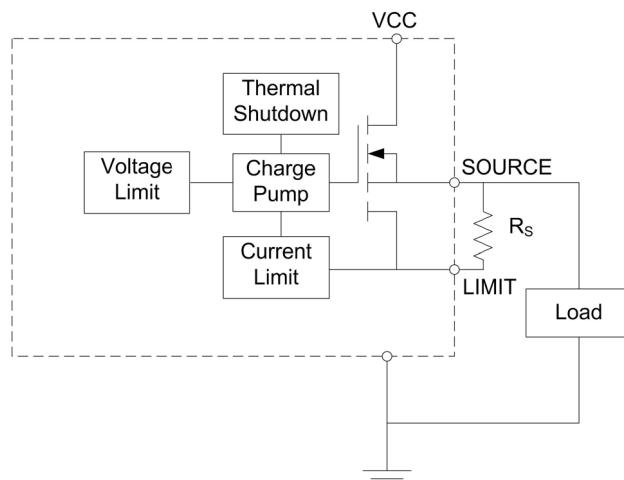


Figure 14. Basic Block Diagram of Primary Electronic Fuse Functions

他の電流制限オプションに比べて、電子ヒューズには多くの長所があります。負荷から完全に電力を取り除くことなく、電流をプリセット値に制限することができます。オン・セミコンダクターの電子ヒューズを使用して、大電流状態が存在しない場合でも過電圧を制限することができ、システムをシャットダウンしないでそれを行ふことも可能です。電圧制限機能と電流制限機能の両方が電子回路速度で動作し、溶断可能な導体ヒューズや正温度係数(PTC)デバイスの低速な熱時間特性、または回路ブレーカの機械的サイクル時間に比べて高速です。最後に、サーマル機能により、長時間(サブミリ秒範囲)にわたって過電流状態が発生した場合、負荷から電力を取り除きます。オン・セミコンダクターのeFuseには、低電圧ロックアウト、電源投入時のdV/dt制御、ロジック制御のイネーブル機能、障害状態を通知する出力などの付加機能もあります。イネーブル機能は、複数のeFuseを並列に組み合わせて調整する目的で使用することがあり、それによって、複数の電圧バスを制御し、より大きなDC電流を流す(したがって、トリップ電流をより大きくする)ことができます。これらの長所により、過電圧や過電流状態が発生した場合でもシステムのダウン時間を最小限に抑え、高い精度を維持することが要求される高信頼性システムに最適です。

#### リセット不能なヒューズ

従来型のリセット不能なヒューズとして最初に挙げられる素子は、Figure 15に示すように円筒型ヒューズ内に封入し、過剰な電流が流れると溶断する溶断可能導体です。リセット不能なヒューズの性質上、ヒューズは1回のみ作動し、作動後は交換する必要があります。ヒューズの機能を定義するいくつかのパラメータがあります。最初のパラメータはヒューズが開回路にならざるに流せる電流の量です。次はヒューズの定格電圧です。溶断可能な素子が溶断した後、ヒューズはアークつまり空中放電や過剰なリークを引き起こすことなく、電源からの最大電圧に耐える必要があります。リセット不能なヒューズをよく知らない人は、最大遮断電流の概念を十分理解していません。溶断可能な素子が溶断すると、通常ヒューズの2つの端子間にアークが発生します。電流が十分大きい場合、ヒューズの2つの端子間に導体が存在しない場合でも、このアークが継続して電流を流します。DC回路の場合は、アークの消滅に役立つゼロ電圧クロスが存在しないので、特にこの点が問題になります。ヒューズにとってもう1つの重要なパラメータは開回路になるまでの時間です。ヒューズが開回路になるまでの時間は、障害電流の大きさによって異なります。障害電流が非常に大きい場合は、非常に迅速な動作が生じますが、障害電流が小さい場合は、ヒューズ素子が溶断するまでにかなり長い時間を要する場合があります。

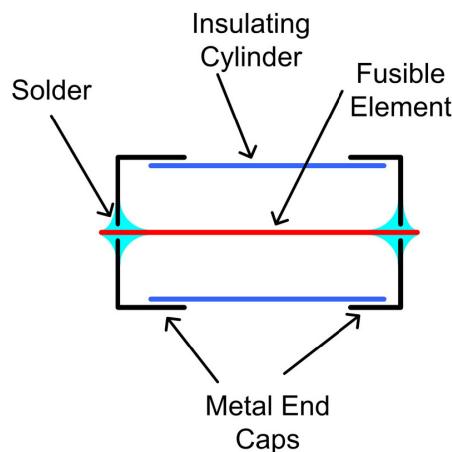


Figure 15. Construction of a Cylindrical Fuse

#### 回路ブレーカ

回路ブレーカは電流制限機能の次の分類です。回路ブレーカは、電流が大きすぎるときに自動的に開回路になる機械式スイッチを採用しています。機械式スイッチは、Figure 16に概念例を示すように、電磁石デバイスで作動でき、バイメタル薄片と2種類以上の複合的な大電流センス回路の組み合わせを使用しています。通常、回路ブレーカは一度アクティブになると、回路に電力を供給するために手動リセットが必要です。回路ブレーカは一般に、過負荷電流が存在しない場合に電源スイッチとして使用することもできます。回路ブレーカにとって重要なパラメータは、ヒューズに似ていますが動作は大きく異なります。最初のパラメータは、回路ブレーカをアクティブにしないで動作可能な最大電流、ブレーカが阻止することを意図している最大電圧、最大遮断電流、およびアクティブ化の速度に関連するパラメータです。

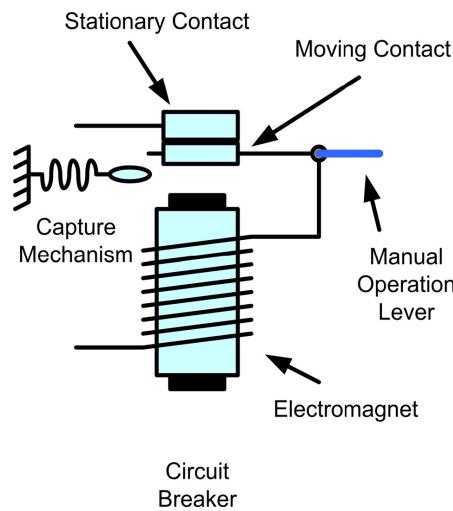
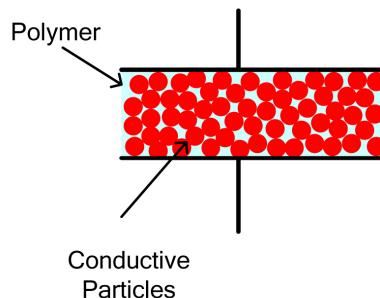


Figure 16. Conceptual Drawing of a Circuit Breaker

### 正温度係数(PTC)デバイス

最後の一般的な電流制限デバイスは、PTCつまり正温度係数デバイスです。PTCは温度が低い場合は小さな抵抗を持ちますが、特定の電流値以上では抵抗の自己加熱により抵抗値が急増します。温度が低下すると、PTCは低抵抗状態に戻ります。ほとんどのPTCデバイスは、Figure 17に示すように、高密度の導体粒子(多くの場合はカーボン・ブラック)を含有するポリマで作られています。粒子の密度は十分高く、複数の導体粒子が互いに接触または十分近接している場合はトンネル効果により導通が発生します。過電流イベント時は、PTCを流れる電流は抵抗による発熱につながり、ポリマの相が変化し、体積が膨張します。体積が膨張すると、導体粒子が互いに遠ざかり抵抗が増大します。ヒューズや回路ブレーカとは異なり、PTCは高抵抗状態を維持するために、ある程度の電流を流し続ける必要があります。電流がなくなると、PTCは冷えて低抵抗状態に戻ります。PTCは自己リセット機能を備えた電流制限デバイスとして機能します。PTCは、通常動作時の電流値、阻止可能な最大電圧、および遮断可能な最大

電流によって特性が規定されます。PTCは、リセット不能なヒューズや回路ブレーカよりも周囲温度の影響を強く受けます。



**Figure 17. PTC Construction**

### 電流制限デバイスのまとめ

Table 3に、4種類の電流制限デバイスと、それぞれの長所および短所をまとめます。

**Table 3. SUMMARY OF CURRENT LIMITING DEVICES**

Type	Advantages	Disadvantages
eFuse	Precision Automatically or Manually Re-settable Fast Acting Limits Current without Removing Power for Short Duration Over-current Limits Over-voltage	Requires External Resistor Moderate Cost
Fuse	Wide Range of Parameters Slow Response	Single Use Device
Circuit Breaker	Can be Reset Can Double as Switch	Large Size Expensive Slow
PTC	Self Resetting Inexpensive	Slow Acting Sensitive to Ambient Temperature Slow to Regain Low Resistive State

### まとめ

このアプリケーション・ノートでは、現在最も幅広く使用されているいくつかの回路保護素子の基本的な特性について要約しました。オン・セミコンダクターのシリコン・ベース・ソリューションは、電圧抑制および電流制限保護の両方で重要な役割を果たしています。ダイオード・ベースのTVSデバイスは、静電気(ESD)のように低から中程度のエネルギー・ストレスに適したソリューションであり、オン・セミコンダクターのTVSデバイスは低静電容量、優れたクランプ能力、高い信頼性を実現した比類のない能力を備えており、これらすべては今日最も要求の厳しい高速インターフェースにとって理想的

であり必要な要素です。サイリスタ・サージ保護デバイス(TSPD)は、電気通信保護分野における優れた製品であり、オン・セミコンダクターの新しい低静電容量の製品は、イーサネットの高速バージョンに最適です。電流制限保護に関して、オン・セミコンダクターのeFuseラインは電流制限機能に加えて、過電流持続時間が短い場合はシャットダウンしないで電流を制限する機能や、過電流の持続時間が長い場合はシャットダウンする機能、電圧制限機能、低電圧シャットダウン機能、自動リセット・オプション、および自動リセットなしオプションなど、多様な機能も備えています。

**ON Semiconductor**及び**ON**のロゴはSemiconductor Components Industries, LLC (SCILLC) の登録商標です。SCILLCは特許、商標、著作権、トレードシークレット(営業秘密)と他の知的所有権に対する権利を保有します。SCILLCの製品/特許の適用対象リストについては、以下のリンクからご覧いただけます。[www.onsemi.com/site/pdf/Patent-Marking.pdf](http://www.onsemi.com/site/pdf/Patent-Marking.pdf) SCILLCは通告なしで、本書記載の製品の変更を行うことがあります。SCILLCは、いかなる特定の目的での製品の適合性について保証しておらず、また、お客様の製品において回路の応用や使用から生じた責任、特に、直接的、間接的、偶発的な損害に対して、いかなる責任も負うことはできません。SCILLCデータシートや仕様書に示される可能性のある「標準的」パラメータは、アプリケーションによっては異なることもあります、実際の性能も時間の経過により変化する可能性があります。「標準的」パラメータを含むすべての動作パラメータは、ご使用になるアプリケーションに応じて、お客様の専門技術者において十分検証されるようお願い致します。SCILLCは、その特許権やその他の権利の下、いかなるライセンスも許諾しません。SCILLC製品は、人体への外科的移植を目的とするシステムへの使用、生命維持を目的としたアプリケーション、また、SCILLC製品の不具合による死傷等の事故が起こり得るようなアプリケーションなどへの使用を意図した設計はされておらず、また、これらを使用対象としておりません。お客様が、このような意図されたものではない、許可されていないアプリケーション用にSCILLC製品を購入または使用した場合、たとえ、SCILLCがその部品の設計または製造に関して過失があったと主張されたとしても、そのような意図せぬ使用、また未許可の使用に関連した死傷等から、直接、又は間接的に生じるすべてのクレーム、費用、損害、および弁護士料などを、お客様の責任において補償をお願いいたします。また、SCILLCとその役員、従業員、子会社、関連会社、代理店に対して、いかなる損害も与えないものとします。SCILLCは雇用機会均等/差別撤廃雇用主です。この資料は適用されるあらゆる著作権法の対象となっており、いかなる方法によっても再版することはできません。

#### PUBLICATION ORDERING INFORMATION

##### LITERATURE FULFILLMENT:

Literature Distribution Center for ON Semiconductor  
P.O. Box 5163, Denver, Colorado 80217 USA  
Phone: 303-675-2175 or 800-344-3860 Toll Free USA/Canada  
Fax: 303-675-2176 or 800-344-3867 Toll Free USA/Canada  
Email: [orderlit@onsemi.com](mailto:orderlit@onsemi.com)

##### N. American Technical Support: 800-282-9855 Toll Free

USA/Canada

##### Europe, Middle East and Africa Technical Support:

Phone: 421 33 790 2910

##### Japan Customer Focus Center

Phone: 81-3-5817-1050

##### ON Semiconductor Website: [www.onsemi.com](http://www.onsemi.com)

##### Order Literature: <http://www.onsemi.com/orderlit>

For additional information, please contact your local Sales Representative