

## 薄膜抵抗器の技術で実現する過電流からの保護

By Ove Hach, Vishay BCcomponents Beyschlag GmbH

### チップヒューズの設計原理

市販されている様々なタイプのチップヒューズの電気的特性について分析する前に、まずはそれぞれの技術の基礎となっている設計原理を理解することが大切です。

標準的な溶断ヒューズは、空気や砂が充填されて密閉されたセラミックまたはガラス製のチューブの中にある金属製ワイヤをベースにしています。一方、チップヒューズは、これとは全く異なる原理を採用して作られています。多くのチップヒューズは標準的なチップ部品と同様の外観を持ち、単層または多層のセラミック製基板を採用しています。以前は、プリント基板に類似したエポキシ繊維ガラスをベースにした設計も行われていました。

単層基板の上、または多層基板の中に存在する基本溶断エレメントは、銅、金、または銅錫や銀パラジウムといった合金という導電性の高い材料をベースにしています。これらの複合材料は、突入電流に対するヒューズの耐性を高めますが、熱応力に対する反応の安定性に欠ける傾向があり、複数の突入サイクルの後に予期せぬ断線が生じる可能性が高くなります。

基板のタイプに応じて、溶断エレメントはレーザトリム加工した厚膜デポジット、または化学的にエッチング加工した金属層を採用して、求められる特性を実現することができます。ボンディングした金ワイヤを採用することもあります。電流が一定のレベルに到達し、過負荷の条件下で一定時間が経過するとエレメントが溶融するように形状と厚さが決められます。

チップ部品の機能的な層としての役割を果たすため、溶断エレメントは様々な環境条件からも守られなければなりません。単層チップヒューズの場合、通常、エレメントはラッカーまたはエポキシで覆われています。多層チップヒューズの溶断エレメントは、基板層が本来持つ保護性能により守られる傾向があります。チップヒューズは最大7Aから8Aまでの電流を定格とするため、抵抗値が低い面実装構造が求められます。

### チップヒューズの機能性

チップヒューズは、電子製品において2つの役割を果たします。すなわち、使用者を巻き込む人身事故と電子回路の損傷を防止するという役割です。これらの特性は、機器の所有者のみならず、ベンダにも恩恵をもたらします。過去10年間で、情報技術 (IT)、携帯電話、および民生用途に使用される電子機器の需要は飛躍的に伸びました。こうした需要の急速な高まりに伴い、電子機器に予期しない状況が

発生するリスクも大きくなりました。こうした場合、電気的な過負荷などの危険な条件を守る為、チップヒューズが必要となります。

図1に示すように、溶断特性はチップヒューズにとって最も重要な特性です。この図は、特定のレベルの電気的な過電流が発生した場合の溶断時間を示しています。電流が事前に指定された特定のレベルに到達すると、ヒューズエレメントにもたらされる電力により、プレアーク時間という一定の時間内にエレメントが溶融して蒸発します。

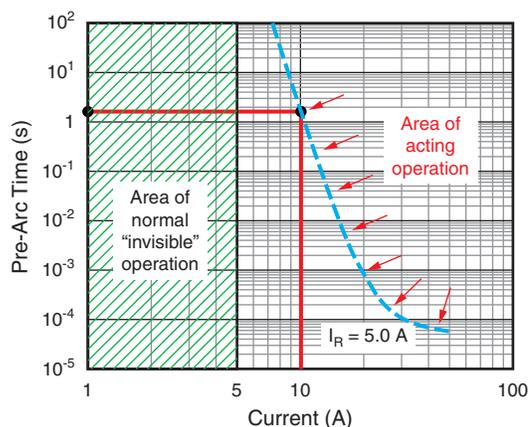


図1 - 溶断特性

### 主要性能パラメータ

溶断特性を示す図1には、2つの主な領域が描かれています。点線による曲線の左側にある領域には、斜線が敷かれた正常な「透過的」動作を示す部分と、ヒューズの定格電流の2倍にまで達する短い過電流の状態を示す部分が存在します。この領域はチップヒューズのパルス負荷能力を示し、ヒューズエレメントの特性に応じて異なります。例えば、高いパルス負荷能力は断面を大きくすることで達成することができます。

点線は、ヒューズ ( $I_R$ ) の定格電流、すなわちこの場合には5Aを超える過負荷電流と短絡電流の溶断時間を示しています。ヒューズを溶断するために必要なエネルギーは  $I^2t$  によって左右されます。したがって、過電流の値が高くなると、ヒューズが断線するまでの時間が短くなります。一般的には、ヒューズが定格の2倍に相当する電流が流れた場

### 薄膜抵抗器の技術で実現する過電流からの保護

合、1.0 秒から 3.0 秒以内に断線します。定格の 10 倍に相当する電流が流されると、ヒューズは 0.1 ミリ秒で断線します。逆の見方をすれば、通常の入電流が流れたときに起きるヒューズの断線を防止するには、最大  $I^2t$  の突入パルスがヒューズの最大定格  $I^2t$  のおよそ 50% 未満である必要があります。

ヒューズが熔断するまでの時間は、ヒューズエレメントと環境の間の熱抵抗に関係しています。熱抵抗はヒューズのエレメント、基板、シーリング、および端子の性質、ならびにプリント基板のレイアウトによって異なります。このため、断線するまでの時間、およびそれによってもたらされる保護の効果は、製品の製造技術と設計内容に応じて異なります。ヒューズエレメントと環境の間の熱抵抗が低すぎると、ヒューズエレメントを熔断するためのエネルギーが十分に生み出されません。この場合、ヒューズは定格電流の 2 倍に相当する過負荷電流を 120 秒以内に遮断することができなくなります。図 2 と図 3 は、多層チップヒューズとレーザートリム加工厚膜チップヒューズにこの状況が起きた場合を示しています。

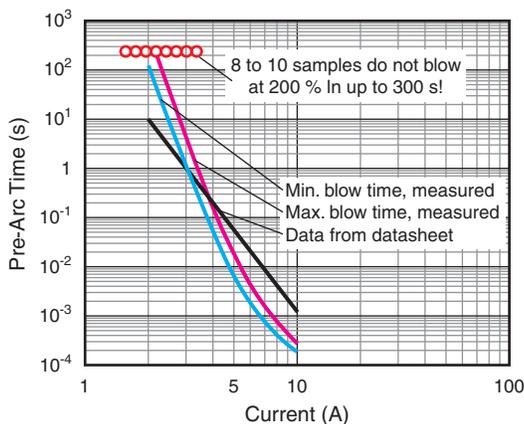


図 2 - 多層チップヒューズ

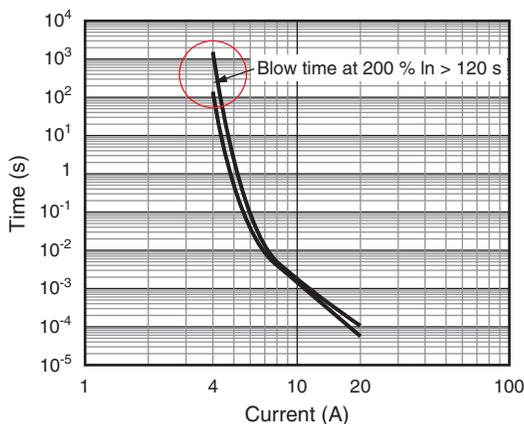


図 3 - 厚膜チップヒューズ (トリム加工)

#### 安定性と再現性

しかし実際には、熔断特性の精度、再現性、および安定性はヒューズエレメントの設計内容と採用される製造技術に大きく依存しています。これら 2 つの要因の影響について理解することで、特定の用途に最も適したチップヒューズを選ぶことができます。

熔断特性の安定性は構成部品の設計内容と深く関わっている一方で、その再現性はチップヒューズの製造技術の安定性と精度により大きく左右されます。

#### 安定性

まずは、熔断特性の安定性という言葉の意味について理解することが必要です。チップヒューズの電気抵抗は、熔断特性を決定付ける要因です。過負荷の状況下で適用されるエネルギーは抵抗値に比例するため、抵抗が高ければそれに応じてヒューズはより速く熔断します。逆に、抵抗が低ければ熔断するまでの時間が長くなります。

厚膜抵抗器を使った実例によれば、短時間の過負荷、はんだ熱、パルス応力などの熱応力が電気抵抗に明らかな変化を生じさせる傾向があります。したがって、チップヒューズに起きるこれらの現象はその特性を変化させ、結果的に熔断するまでの時間がより短くなります。銅錫合金など、様々な素材を採用したヒューズエレメントは高い値 ( $I^2t$ ) を達成するように設計されていますが、連続的な熱応力の後に起きる熔断時間の短縮に特に敏感になります。これは図 1 に示すように、応力によって構成材料の移行が誘発されるためです。図 1 には、パルス負荷応力が起きた後の Cu-Sn の移行プロセスを示しています。電力負荷の大きさと継続時間に応じて、これらのタイプのヒューズは熔断特性を変化させて熔断するまでの時間を短縮します。チップヒューズの抵抗値の安定性を確保する技術を採用することで、こうした熔断特性の変化を防止することができます。

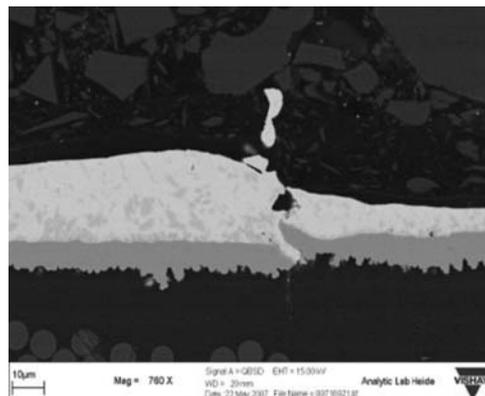


図 1 - パルス応力が生じた後の Sn-Dot 技術

### 薄膜抵抗器の技術で実現する過電流からの保護

#### 再現性

デザインインの過程で、電子工学の技術者は溶断特性の大きな変化という問題に直面します。一般的に、チップヒューズは抵抗値が低い抵抗器で、その値はミリオームの水準にまで達します。上に説明したように、溶断特性は抵抗値に関係しています。抵抗値が大きく変化する場合、それに応じた大きな変化が溶断特性に生じます。こうした特性の変化が起きることで、正常な突入電流が流れる間でもチップヒューズが断線する場合や、それとは反対に過負荷がかかっても断線しなくなる場合があります。言うまでもなく、こうした現象を技術者が発生を食い止めなければならない最悪の事態です。図 4 には、プリント厚膜ヒューズの溶断特性に見られる一般的な開きを示します。

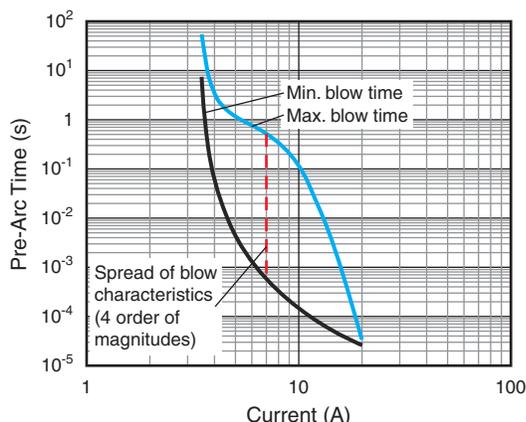


図 4 - 厚膜チップヒューズ (プリント加工)

#### 安定性と再現性の問題の解消

薄膜技術は、溶断特性の高度な安定性と高い精度の再現性に関連したすべての必要条件を満たすことができます。1960年代の末から、薄膜スパッタリング技術を使って高い安定性と精度を誇る薄膜抵抗器が作られるようになりました。以来、製造された数十億台にも及ぶこれらのデバイスは、電子工学のあらゆる分野に導入され、過酷な環境下でその優れた性能を発揮しています。

現在のスパッタリング技術は、デポジットの厚さの厳格な管理といった主要な長所の恩恵を受け、金属の層に同質の結晶構造を実現することが可能です。薄膜技術を使用してチップヒューズを開発する場合、こうした属性が溶断特性の安定性と再現性に直接影響を与えます。

しかし、チップヒューズの定格電流を制御するには、フューズエレメントの形状を厳格に管理することも欠かせません。フォトリソグラフィプロセスを用いてヒューズエレメントを構築することで、正確な形状を生み出し、端子間で使用されない導電体を溶解するための性能が実現します。フォトリソグラフィ技術を使えば、溶断エレメントの長さと同幅を、スパッタリング加工した薄膜層の厚さと同様の精度でコントロールすることが可能です。

図 2 は、ビシエイ社の MFU シリーズ薄膜チップヒューズを製造するために採用されるフォトリソグラフィ技術が、見事な精度の形状を持つヒューズエレメントが生み出される様子を示しています。

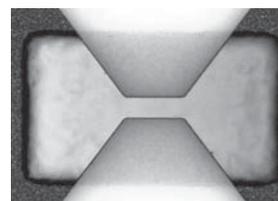


図 2 - MFU ヒューズエレメントの形状

薄膜スパッタリング技術をフォトリソグラフィ技術と併せて用いることで、構成部品の製造元は同質の結晶構造を持ち、形状の許容誤差を厳格にクリアしたヒューズエレメントを実現することができます。これにより、応力で誘発される抵抗値の変位を最小限に抑えると同時に、製造過程における再現性を向上させることができます。図 5 は、こうした技術を組み合わせて製作される MFU シリーズのチップヒューズの最短および最長の溶断時間の間に見られる密接な相関関係を示しています。

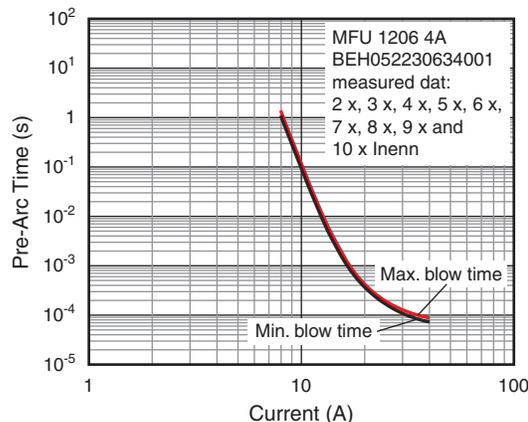


図 5 - MFU 溶断特性 (最短時間と最長時間)

#### 仕上げ加工

薄膜抵抗器を作る際と同様の製造過程を採用することのもう一つの長所として、低抵抗端子の密封、マーキング、およびメッキ加工などの最終製造工程後に、製造されたすべてのチップヒューズについて自動光学検査と抵抗測定が行われるという点を挙げることができます。薄膜抵抗器のためにビシエイ社が定めた品質に関する高い要件と抵抗許容誤差を厳格に満たすチップヒューズのみが、テーピングされます。これらの薄膜チップヒューズが使用現場で期待される性能を必要ときに確実に発揮し、危険な過負荷による影響から使用者と機器を守ることを可能にするプロセスが採用されています。

## 薄膜抵抗器の技術で実現する過電流からの保護

### まとめ

薄膜技術はハイグレードの受動部品のために確立された技術で、長年にわたってその有効性が実証され、改良が行われてきました。精度、再現性、および安定性に関する利点は、毎年数十億個も大量に生産される薄膜抵抗器の分野で発揮されています。最新の薄膜技術を使用して製作されたチップヒューズは、常に一貫した水準の安定性と再現性を誇る溶断特性を実現しています。過電流からの保護を目的とした次世代の安全デバイスに高い有効性を誇るこの技術が組み込まれることで、パワーエレクトロニクス分野の設計者はより高い安全性と性能を特長とする新しい製品を開発することができます。

### ビシェイ社について

Fortune 1000 の企業にも選ばれ、ニューヨーク証券取引所に上場しているビシェイ社 (VSH) は、個別半導体 (ダイオード、整流器、トランジスタ、およびオプトエレクトロニクスと厳選された IC) と受動電子部品 (抵抗器、コンデンサ、誘導子、センサ、およびトランスデューサ) の製造を手掛ける世界最大手の企業の一つです。これらの部品は、産業用、コンピュータ用、自動車用、民生用、電気通信用、軍用、航空宇宙産業用、および医療用の実質的にあらゆる種類の電子機器製品に組み込まれ、使用されています。常に新しい発想を持って製品開発に取り組み、順調に企業買収を行い、「ワンストップサービス」を提供し続けてきたことで、ビシェイ社は産業界を代表するグローバル企業へと成長することに成功しました。詳しくは、ビシェイ社のウェブサイト [www.vishay.com](http://www.vishay.com) をご覧ください。

本資料の内容に関するご質問は、以下にお問い合わせください。

Ove Hach  
Vishay BCcomponents Beyschlag GmbH  
Rungholtstrase 8-10, D-25746 Heide  
電話: +49 481 95-338  
ファックス: +49 481 95-204  
電子メール: [ove.hach@vishay.com](mailto:ove.hach@vishay.com)

販売に関するご質問は、以下にお問い合わせください。

Vishay Electronic GmbH  
Geheimrat-Rosenthal-Str.100  
95100 Selb  
Germany  
電話: +49 9287 71 0  
ファックス: +49 9287 70435

### 発行者:

Nicky Wheaton, Pinnacle Marketing Communications Ltd  
Prosperity House, Dawlish Drive, Pinner, Middlesex, HA5 5LN, UK  
電話: +44 (0)20 8869 9449  
ファックス: +44 (0)20 8868 4373  
電子メール: [nicky@pinnaclemarcom.com](mailto:nicky@pinnaclemarcom.com)