

## Chapter 18 Vias and 3-D Structures

---

### Introduction

*Em* は完全な 3 次元の電流と 2.5 次元の構造体を扱えます。電流の 3 つめの次元 (Z) は、via と呼ばれる特殊なセクションによって扱われています。

“Via” という言葉は通常、基板表面の金属から基板の下のグラウンド板への接続のことを意味します。しかし、Sonnet で使用されているように via は金属をグラウンドだけではなく、どの基板間やどの誘電体層間にも接続できます。このように、*em* の via はエブリッジやスライディング、ワイヤボンド、プローブとして標準のグラウンド via と同様に用いられます。

## Restrictions on Vias

*Em* の via では長さ方向に均一の電流分布を用いているので垂直方向に共振するモデルを意図するものではありません。Via の高さは波長に比べて小さくなくてはなりません。Via の高さは via 自身が貫く基板（もしくは誘電体）の厚さと同じです。

もしマイクロストリップの基板の厚さと波長の比が非常に大きくなると、オーバーモードも大きな問題となってしまいます。例えば via を隔壁や内部の壁に用いる場合は、それを複数の層でモデルリングし、正確な解析を行う必要があるでしょう。

## Creating the Vias

Via を追加する方法はたくさんあります。Via の方向と種類は、ともに Tools ⇒ Add Via メニューから選択します。必要があればデフォルトで、1 レベル上へあがる、1 レベル下がる、またはグラウンド方向に向けるに設定することができます。Via にはリッジ via、矩形 via、via の図形、円形 via があります。

### Via Direction

1 レベル上へ行く via は、via の置かれている金属導体のレベルから上の誘電体層を通して、その層の金属導体のレベルまでのびます。例えば、レベル 2 上の via を Up One Level 方向に設定して (Tools ⇒ Add Via ⇒ Up One Level で設定) 描く場合は、この via は回路のレベル 2 から誘電体層を通り、レベル 1 までのびます。

1 レベル下へ行く via は、via の置かれている金属導体のレベルから下の誘電体層を通して、金属導体の次のレベルまでのびます。例えば、レベル 0 上の via を Down One Level 方向に設定して (Tools ⇒ Add Vias ⇒ Down One Level で設定) 描く場合は、この via はレベル 0 から誘電体層を通り、金属導体のレベル 1 までのびます。

グラウンドへ向かう via は、via の置かれている金属導体のレベルから、間にあるすべてのレベルを通り抜けて、閉じたボックスのグラウンド（底部）までのびます。例えば、5 つの誘電体層を持つ回路は 4 つの金属導体のレベル (3

から 0) を持っています。金属導体のレベル 1 上の via を、Down to Ground 方向に設定して (Tools ⇒ Add Vias ⇒ Down to Ground で設定) 描く場合は、この via はレベル 1 から下に向かって、間にある誘電体層と金属導体のレベルを通り抜けて、グランドに接する閉じたボックスの底までのびます。この via はレベル 1、2、3 及びグランド上に描かれます。グランドレベルは完全に金属に設定されていますが、ここに描かれる via は上のレベルからつながっているものとして表されます。

### Via Types

基本的には、2 種類の via があります。Izz と via の図形です。Via の図形は、矩形や円、任意の形をとることができます。

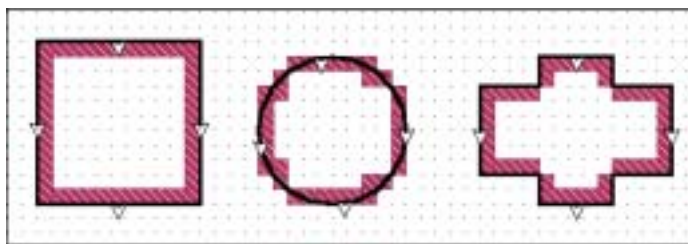
Via の図形は、金属導体の図形とは別のオブジェクトである via です。Via の図形は、簡単に修正できる属性を持った形状の via を追加することができます。Via の図形はまた、隣接する金属導体の図形とは異なる種類の金属に指定することができます。

Izz の図形は金属の図形の縁につけられた via です。この via は図形の縁の長さの分だけ拡がり、それは 1 回の幅です。Izz via に使用される金属タイプは常にその Izz via がつけられている図形と同じです。図形の金属タイプが修正されると、via の金属タイプも変わります。

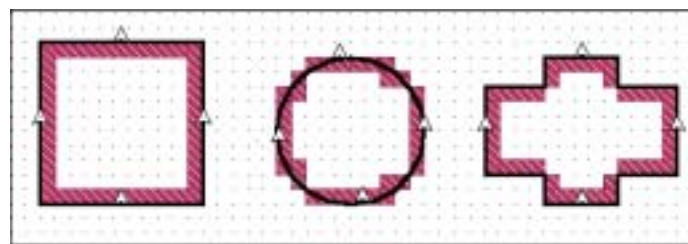
Via の図形は金属の図形を回路に追加するのとはほとんど同じ方法で、回路に追加されます。予め用意された矩形や円形の via を追加したり、希望する位置に各々の頂点を置くことによって、任意の図形を描くことができます。形が完成すると、via の図形が回路に描かれます。Via は 1 回の幅の via のサブセクションから構成され、まん中は空洞になっています。すべての電流は via の表面を流れるので、via の図形のまん中が空洞になっています。また使用されない金属をリソングすると、処理リソースを無駄に使ってしまいます。金属のレベル上の via の図形の中央に金属を指定した場合は、そのレベルに金属の図形を追加することができます。

Via の図形の例を以下に示します。1-ザ の描いた形は黒色で表示されます。実際の via の金属は、金属パターンを反転表示した充填パターンで示されます。電流は via の表面を流れるので、via のまん中は空洞になっており、その via が通る誘電体層の誘電体材質で充填されています。

Tops of Vias



Bottoms of Vias

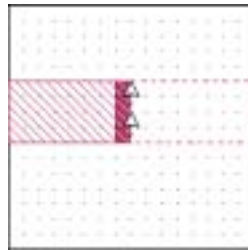


Rectangle Via

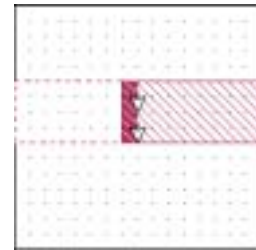
Circle Via

Polygon Via

以下の例では、隣接するレベルにある2つの図形を接続するのに1ツの via を使用しています。“up” via のシボルは via がこのレベルとこの上のレベルをつなげていることを示しています。上のレベルにある via は“下向き”三角形である“down” via のシボルで示されています。この via のシボルは、via がもとのレベルに追加されると行き先のレベル上に自動的につくられます。



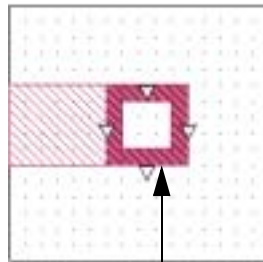
Lower level - up triangles



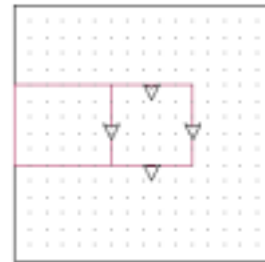
Upper level - down triangles

### Via Posts

View ⇒ Cell Fill を“on”にして金属表示をすると(デフォルトで設定されています)、“via ポスト”と呼ばれる via を含んだセクション(反対の色で表示されます)も以下のように表示されるようになります。



セルの充填が on の時に反転表示される via ポスト



via はセルの充填が off の時には三角形と外枠だけで示される

Em が回路を分割する際には、図形の縁で指定した1ツの via や via の図形はいずれも“via ポスト”と呼ばれる via のセクションに分割します。Via ポストは柱状で電流を現在のレベルから (via の方向により) 1 つ上または下の

レベルまで広げます。Via ホストは水平断面が 1 レベルに等しい面積で、誘電体層の厚みに等しい高さを持っています。レベルのサイズを変えると、via は新しいレベルのサイズの via ホストに再度分割されます。Project editor は 1 つの via の図形の縁の全体の長さと、via の図形の全境界線を加算するのに十分な via ホストを設定します。Via ホストのついていない via については 307 ページで詳しく図解します。



取り扱っている via を見るには project editor 上でレベルをすぐに変えられる方が便利です。そこでショートカットとして Ctrl-U (コントロール U) で (上部の加算に向けて) 1 レベル上に、Ctrl-D (コントロール D) で 1 レベル下に移動できます。または project editor のツールバーの Up One Level ボタンか、Down One Level ボタンをクリックしても移動できます。ほとんどのキーボードには上向きと下向きの矢印のキーが実装されています。

あるレベルを、そのレベルにいない時に“ゴースト (ghost)”として外周を表現したい時は、View ⇒ Metalization Levels を選択して、Levels ダイアログボックスをオープンし、その中でレベルを“visible (可視)”にすると、他のレベルの導体のパターンが見えるようになります。また、Levels ダイアログボックスで指定したいレベルを“off”にすればそのレベルは表示されません。デフォルトでは、project editor はすべてのレベルが visible (可視) になっています。

### Adding a Via to Ground

どの金属導体のレベルからもグラウンドへ向かう via を追加することができます。グラウンドへ向かう via を追加するには、下へ向かう via の設定されるレベルに移動し、次のことを行います。

- 1 **Project editor のメニューから Tools ⇒ Add Via ⇒ Down to Ground を選択します。**

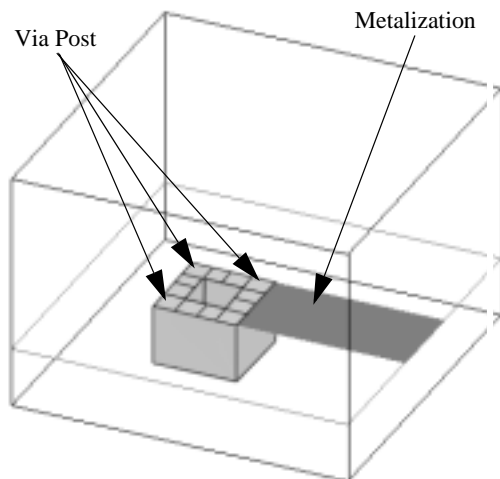
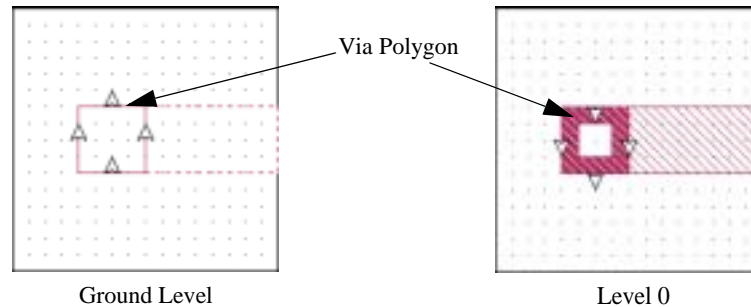
続けて追加される via は、その via が追加されたレベルから間にあるレベルを通り抜けてグラウンドまでのびます。

- 2 **Tools ⇒ Add Via ⇒ <Via Type> を選択して、所望の種類の via を追加します。**

このコマンドで add via モードになります。Via の種類はユーザの選択したコマンドによって異なります。所望の via を描きます。入力した via が現在いるレベル上に描かれ、via は各レベルに達し、ボックスの底部のグラウンド面までか

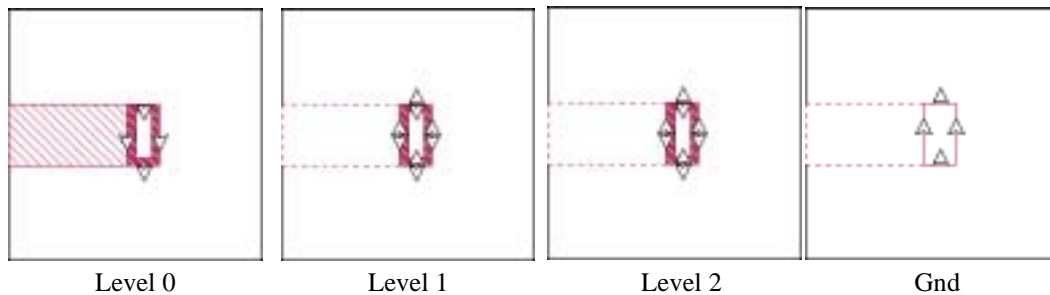
れます。1つの via を追加したいのであれば、まず1つの via を置く金属の図形を描かなくてはなりません。2つのレベルのある回路でレベル0からグランドへ向かう via の図形の例を次に示します。

Via の図形の金属導体がレベル0に示されています。矢印が下を向いていることにご注目ください。これは via の向かう方向を示しています。Via の中心には金属導体が含まれていませんが、誘電体層の誘電体で充填されています。グランドレベルはすべて金属です。Via の図形の外枠がグランドレベルに描かれていますが、これは上向き矢印で via の図形が上のレベルにあるということを示しているだけです。



下の図は単層の金属導体のレベルからグランドに向けた via を示しています。Project editor に表示されたものと同じ via が上の図形に示されています。矩形の via はレベル0とグランド面の間にのび、電流の流れる直方体の via ポストの横断面になります。Via ポストは水平断面が1セルに等しい面積で、誘電体層の厚みに等しい高さを持っています。Via の図形は図形の境界を形成する1セル分の“フェンス”で構成されています。Via の図形の中央に金属は含みません。これは誘電体層で使用する誘電体の材質で充填されています。セルのサイズを変えると、via は新しいセルのサイズの via ポストに再度分割されます。

現在いるレベルとグラウンドの間に複数の金属のレベルがある時に、グラウンドに向けた via を追加すると、via の図形は各レベル上で見ることができます。間にあるレベルでは via の矢印が両方向に向いていて、その via が上と下の両方にのびていることを示しています。下図は3つのレベルのある回路で矩形の via の図形が金属レベル0からグラウンドにのびていることを示しています。



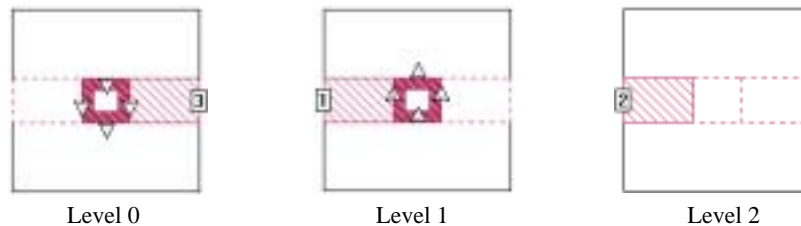
上図の via は回路の最も高い金属レベルであるレベル0からグラウンドレベルにのびています。レベル0上の矩形の via についている via の矢印は下だけを向いています。Via の図形は同じ位置でレベル1とレベル2に表示されていますが、上向きと下向きの via の矢印がつけられています。これは、この via がこれらのレベルから両方向にのびていることを示しています。グラウンド面には via の図形の外側だけが描かれています。これはこの via が上を向いていることを示す上向き via でその位置が示されています。完全なグラウンド面は金属導体なので、via の図形は1-ザにわかりやすいように描かれているだけです。Via の図形の中央は金属導体ではなく、誘電体の材質の直方体になっていることにご注意ください。

### Multi-layer Vias

1つ以上の誘電体層を通り抜ける via を置くことができます。Via は回路内のどのレベルから開始しても、またどのレベルで終わってもかまいません。Via は通り抜ける各レベルの上に自動的に描かれます。複数層の via つ



くるには、まず回路に via をつくり、次に via の属性を修正します。例えば、以下のようなレベル 1 からレベル 0 にのびる既にある via の図形を含んだ 4 つのレベルを持つ回路を作成してみましょう。



この via をレベル 0 からレベル 2 までのびるように修正したい場合は、次のように行います。

- 1 Via の図形が表示されるレベル上で via の図形をマウスの右ボタンでクリックします。

ポップアップメニューが画面に表示されます。

- 2 ポップアップメニューから Properties を選択します。

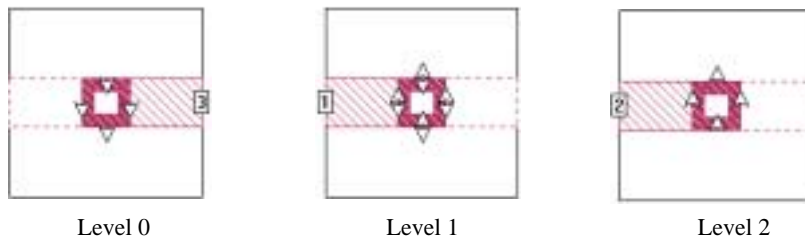
Via Properties ダイアログボックスが画面に表示されます。



- 3 To: Level ドロップリストから “2” を選択します。

この via はレベル 0 から始まりますが、これは変えません。ドロップリストから 2 を選択すると、via はレベル 1 ではなく、レベル 2 に向かうように指定されます。レベルの数が 1 から 2 に更新されることにご注目ください。

- 4 OK ボタンをクリックして変更事項を適用し、ダイアログボックスを閉じます。  
回路は以下のように描き直されます。



レベル 1 に表示されている via の図形には今、via が両方向にのびていることを示す上向きと下向きの矢印がついています。Via の図形は、修正された via の新たな終端点であるレベル 2 の上に描かれています。

### Deleting Vias

Via は表示されているどの金属導体のレベルにあっても削除することができます。両終端点のレベルの間にある via でも、そこで削除できます。

#### Via Polygons

Via の図形を削除するには、pointer モードで削除したい via の図形の上をクリックしてこれを指定します。そしてメニューバーから Edit ⇒ Cut を選択するか、または Delete キーを使ってそれを削除します。

#### Edge Vias

Edge via を削除するには、pointer モードで削除したい via の三角形の上をクリックしてこれを指定します。そして、メニューバーから Edit ⇒ Cut を選択するか、または Delete キーを使ってそれを削除します。Via を削除すると、それに関わる via ホストも削除されます。

Edge via が始まる図形を移動したり、削除する場合は via も回路から移動したり、削除されることにもご注意ください。

### Via Loss

Via ホールの損失は、via の図形の金属タイプやエッジ via と一体の via の図形の金属導体によって決まります。金属の図形の金属導体の損失を設定する方法については、74 ページの “Metalization Loss” をご覧ください。

Via の図形が作成されると、その金属タイプは新しい金属導体に使用されるデフォルトの金属に設計されます。これは、project editor のメニューから Circuit ⇒ Metal Types を選択してオープンされる Metal Types ダイアログボックスの中でコントロールされます。これが回路に追加された後で、via の図形の金属タイプを変えることもできます。回路の中の via の図形に定義されたどの金属タイプも使用することができます。

Via の図形の金属タイプを変更するには、次のように行います。

- 1 Via の図形の上をマウスの右ボタンでクリックし、画面に表示されたポップアップメニューから Properties を選択します。

Via Properties ダイアログボックスが画面に表示されます。

- 2 Via Metal ドロップリストから所望の金属タイプを選択します。

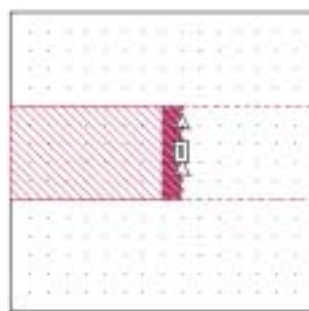


### Via Ports

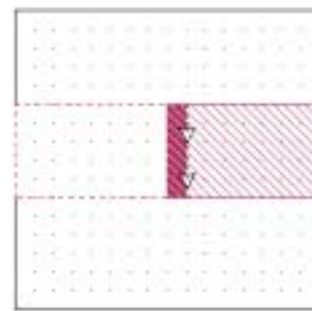
Via はポートの代わりにもなります。これは 110 ページの “Ungrounded-Internal Ports” で述べる internal ポートという特殊な場合となります。このポートは 2 つのレベルの間に挿入されます。Via の図形と 1 つの via には 1 つのポートしか追加できません。このポートは常に via の底部のレベルに追加され、via の底部のレベルにしか表示されません。回路の中の他のレベル上にある via を見る時には、このポートは表示されません。従って、via の図形の底部でないレベル上にある via の図形にポートを追加しようとしても、何も起こりません。Via の底部に移動して、追加されたポートが project editor の中に描かれているかを見る必要があります。

Via ポートは、あるレベル上の金属をグラウンドとして使用し、より高いレベル上の金属をソースとして使用することができるので便利です。

この章では via 上の via ポートの例を以下に示します。例題ファイルに含まれている例題 [Dual patch](#) には via ポートを使用した例があります。Sonnet の例題の入手方法については、いずれかの Sonnet のプログラムメニューから Help ⇒ Examples を選択し、続いて Instructions ボタンをクリックします。次の図の下段に via の図形上の via ポートを示します。

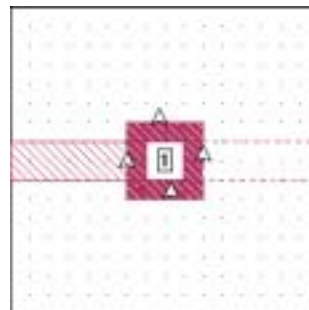


Lower level

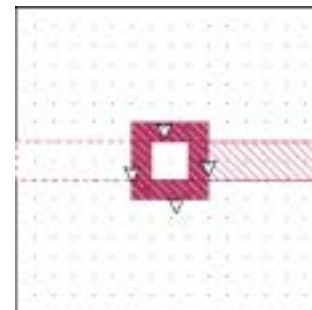


Upper level

この章では via 上の via ポートと両方のレベル



Lower level



Upper level

via の図形上の via ポートと両方のレベル



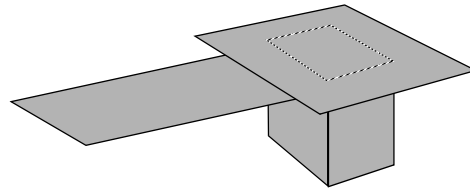
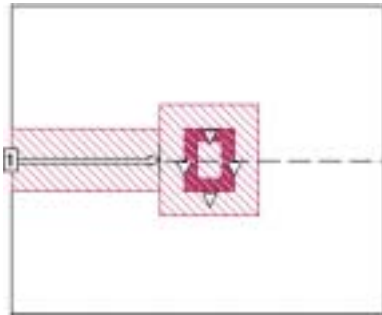
### TIP

図形をグラウンドへつなげるポートをつくりたい場合は、autogrounded ポートを使うことを考えに入れてください。Autogrounded ポートについての詳細は 112 ページの “Automatic-Grounded Ports” をご覧ください。

## Simple Via Example

シンプルな via は例題 [Via](#) の中に含まれており、314 ページの図に示されています。Sonnet の例題の入手方法については、いずれかの Sonnet プログラムメニューから Help ⇒ Examples を選択し、続いて Instructions ボタンをクリックします。

Via の最上部 (下図参照) は、via そのものより大きい“pad”です。Via の最上部の図形には何も制限がありません。Em のサブセクショナルゴリスムは、正確に分割します。



ゲラウンドへのシンプルな via です。左図は project editor での画面です。右図は遠近法による図示です。

## A Conical Via

階段状の近似で、円錐型のゲラウンドの via をシミュレートできます。例えば単に 100  $\mu\text{M}$  の GaAs の基板を 4 つの 25  $\mu\text{M}$  の基板に分けるとします。それから円錐状の via の端をステップ状の近似にするために、適切な場所に via を当てはめます。例えば、Sonnet の例題の [Cvia](#) をご覧ください。この回路は中心線にある、ゲラウンドに向いた円錐状の via で、via のインダクタンスを測るためにあります。Sonnet の例題の入手方法については、いずれかの Sonnet のプログラムメニューから Help ⇒ Examples を選択し、続いて Instructions ボタンをクリックします。

“cvia.son” というファイルは円錐型の via の大変詳細なモデルです。もし多数の via がある大きい回路 (“inter-stage” マッチング ネットワークとしましょう) をモデル化したい場合、解析を速くするためにもっとシンプルなモデルを使いたいでしょう。もう 1 つの方法は via が別々にシミュレートされるように回路をサブdivide する場所で回路のサブdiviジョンを使用する方法です。これは、正確な via のシミュレーションが実行できます。回路のサブdiviジョンについての情報は、201 ページの第 13 章 “Circuit Subdivision” をご覧ください。