

8. Kapitel / Arnold Wiemers

Das AspektRatio für Leiterbilder

Elementare Vorgaben für die Konstruktion von Leiterbildstrukturen

Ohne Systematik ist Alles Nichts

In der Leiterplattentechnik wird der Begriff "Aspekt-Ratio" - ohne daß weitere Namenszusätze ergänzt werden - als "Aspekt-Ratio für Bohrungen" verstanden. Ursprünglich ist mit der Formulierung des "AspektRatio" ganz allgemein das mathematische Verhältnis zweier Größen gemeint, die in einer berechenbaren Relation zueinander stehen.

Es gibt im Bereich der Leiterplattentechnik unzählige Relationen. Das Verhältnis des „Bohrwerkzeugdurchmessers zur kontaktierbaren Bohrtiefe“ ist wohl das bekannteste. Der Grund dafür ist offensichtlich. Das AspektRatio beschreibt die möglichen Werte für die *eine* Größe in Abhängigkeit von der *anderen* Größe. Damit ergeben sich situationsabhängig Maximal- oder Minimalbedingungen, also Grenzbedingungen.

Entscheidend für den Nutzen eines AspektRatios ist die Vorabberechnung einer solchen Grenzbedingung, weil damit die Machbarkeit einer späteren Produktqualität zuverlässig vorhergesagt werden kann.

Für Bohrungen gibt es eine solche Vorhersage. Die Formulierung und Beschreibung eines "AspektRatio für Leiterbildstrukturen" fehlt jedoch bisher.

Anforderung an Leiterbildstrukturen

Das Leiterbild hat in seiner Gesamtheit mehrere Aufgaben. Die Leiterbahnen sorgen für die elektrische Verbindung zwischen den Bauteilen. Der minimale Restring der Vias beschreibt den Toleranzraum der Bohrungen. Der Restring der THT-Bauteile entscheidet mit über die Qualität des Lötmeniskus. Die Ausprägung der SMD-Lötflächen hat einen großen Einfluß auf das Lötresultat.

Leiterplatten übernehmen in modernen elektronischen Baugruppen längst immer auch eine physikalische Funktion. Bei einer High-Speed-Baugruppe mit differentieller Signalübertragung ist zum Beispiel die Leiterbahngeometrie ausschlaggebend. Im Prinzip gilt das Gleiche für Netzteile mit Blick auf die Stromtragfähigkeit.

Durch die Anwendung von hochintegrierten Komponenten in BGA-Gehäusen mit Pitchabständen bis 400µm ist die minimale Leiterbahnbreite die maßgebliche Größe für das Routing am CAD-System. Die Auswahl eines BGAs legt deshalb auf Grund der der Routinggeometrien auch die Lagenanzahl des Multilayers fest und daraus wiederum ergeben sich die wirtschaftlichen Rahmenbedingungen.

Die Micro-BGAs stellen hohe Anforderungen an die Leiterplattentechnologie. Diese Anforderungen werden nochmals dramatisch zunehmen, wenn sich die nächste Bauteilgeneration durchsetzt, die sogenannten BTCs (= **B**ottom **T**ermination **C**omponents).



Geometrien von Leiterbildstrukturen

Während der Fertigung der Leiterplatte erfolgt die Strukturierung des Leiterbildes vornehmlich subtraktiv. Jede Lage einer Leiterplatte liegt zu Beginn der Strukturierung als durchgehende Kupferschicht vor. Das nicht benötigte Kupfer wird durch einen Ätzprozeß in einer Ätzanlage entfernt. Beim Transport durch diese Anlage wird das Ätzmedium von oben und unten auf den Produktionszuschnitt gesprüht. Das Kupfer wird aufgelöst und weggespült. Das zu erzeugende Leiterbild wird durch einen Resist (~ Schutz) vor dem Angriff des Ätzmediums geschützt. Als Resist kommt ein fotosensitives Folienmaterial zum Einsatz.

Drei Faktoren beeinflussen den Feinheitsgrad des Leiterbildes:

Die mögliche minimale Strukturbreite im Resist, der mögliche minimale Abstand zwischen benachbarten Resiststrukturen und die Haftung des Resists auf der Kupferoberfläche.

Bedingt durch die Vorgehensweise des Aufsprühens des Ätzmediums werden die Flanken der Bildstrukturen direkt unterhalb des Resists einem stärkeren Angriff des Ätzmediums ausgesetzt, als an der Kupferbasis auf Höhe des Dielektrikums.

An der Unterseite des Leiterbildes - im Bereich des Ätzfußes - ist eine Leiterbahn am breitesten.

An der Oberseite des Leiterbildes - im Bereich der Unterätzung - ist eine Leiterbahn am schmalsten. Im Ergebnis ist deshalb der Querschnitt einer Leiterbahn kein Rechteck sondern ein Trapez oder zu mindestens trapezförmig (Bild 8-1).

Die vom einhüllenden Rechteck abweichende Geometrie wird in ihrer Gesamtheit als *Rückätzung* bezeichnet.

Die Definition des Tangens Alpha

Die trapezförmige Geometrie hat zur Folge, daß Fallunterscheidungen getroffen werden müssen. Der Mindestabstand zwischen benachbarten Bildstrukturen muß an der *Basis der Leiterbahn* gemessen werden.

Dort entscheidet sich, in welchem Maß Übersprechen (i.e. crosstalk) oder Kriechströme zu erwarten sind und welche Durchschlagsfestigkeit beachtet werden muß. Dieser Abstand ist ebenfalls maßgeblich für den Ex-geschützten Gerätebau. Die Flankenneigung verändert die Gesamtfläche der Oberfläche und den Abstand zusammengehörender Leiterbahnpaare bei differentieller Signalübertragung. Damit ändert sich auch die kapazitive Einkopplung und in Folge dessen der Impedanzwert.

Die Unterätzung des Resists an der Oberseite eines Leiterbildes bestimmt die Breite der Leiterbahn. Weil ein SMD-Pad letztlich nichts anderes ist, als ein Leiterbahnsegment, wird damit aber gleichzeitig



Bild 8-1

Geometrien geätzter Leiterbildstrukturen

auch auf die Lötfläche und die Grundfläche eines Bondpads und sogar auf den Restring für ein THT-Bauteil Einfluß genommen.

Die Auswirkungen der Rückätzung auf die Weiterverarbeitung der Leiterplatte während der Baugruppenbestückung und auf die elektrophysikalische Funktion des Gerätes sind massiv. Die Vorhersage der effektiven Breite der Leiterbildstruktur an der Oberseite ist deshalb dringend erforderlich.

Weil das geometrische Ätzergebnis individuell von der Anlagentechnologie des Leiterplattenherstellers abhängt und weil das Ätzmedium unterschiedlich (...sauer oder alkalisch) sein kann, gilt es, eine Beschreibung zu finden, die diese Individualität zutreffend mit berücksichtigt.

Aus Sicht des Autors ergibt sich die Lösung, wenn dem trapezförmigen Querschnitt einer Leiterbildstruktur ein Rechteck eingeschrieben wird. Links und rechts des Rechtecks bleibt dann jeweils ein Dreieck übrig.

Die *Gegenkathete* parallel zur Basismaterialoberfläche beschreibt die Breite des Ätzfußes. Die senkrecht auf der Basismaterialoberfläche stehende *Ankathete* ist identisch mit der Dicke des Kupfers. Die damit festgelegte *Hypotenuse* beschreibt die (...geometrisch idealisierte) Flanke des Leiterbildes.

Die *Hypotenuse* beschreibt die (...geometrisch idealisierte) Flanke des Leiterbildes.

Der Winkel der Flanke, der Ätzfuß und die Kupferdicke können über die trigonometrische Definition des Tangens in Beziehung gebracht werden (Bild 8-2).

Es gilt :

$$\tan \alpha = \frac{\text{Gegenkathete}}{\text{Ankathete}}$$

Das AspektRatio für Leiterbilder

Mit der Beschreibung der Geometrie durch den Tangens des Flankenwinkels Alpha ist die Aufgabenstellung gelöst. Es wird eine Relation zwischen der Kupferdicke und dem Ätzfuß hergestellt, so daß der Tangens-Alpha-Wert als "AspektRatio für Leiterbilder" definiert werden kann.

Genau wie das "AspektRatio für Bohrungen" ist auch das "AspektRatio für Leiterbahnen" eine herstellerabhängige Kenngröße, die Auskunft über die individuelle Produktionsfähigkeit eines Leiterplattenfabrikanten gibt.

Die Folgerungen, die sich aus dem "AspektRatio für Leiterbilder" ergeben, sind von erheblichem Einfluß. Auf der Basis des AspektRatio läßt sich nicht nur die Herstellbarkeit einer Leiterbildstruktur vorhersagbar belegen sondern auch die Zuverlässigkeit der Baugruppenproduktion.

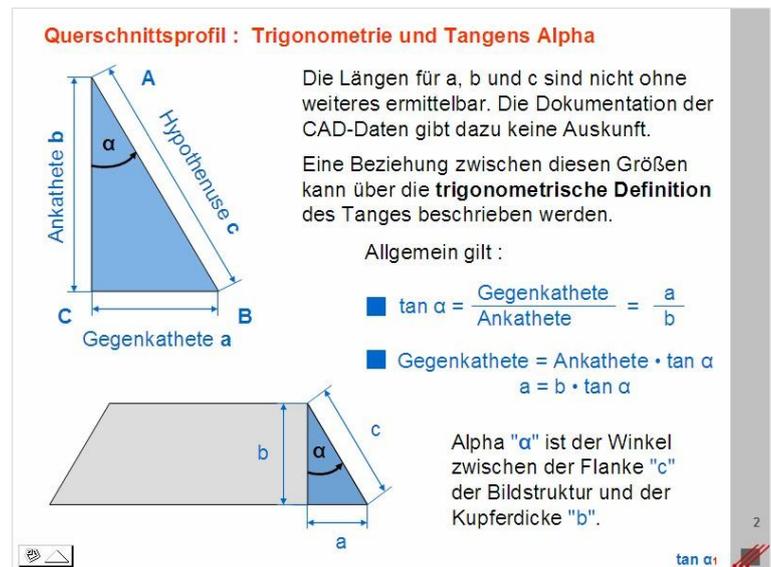


Bild 8-2

Definition des Tangens Alpha für die Beschreibung der Rückätzung

Weil die Berechnung noch im Vorfeld der CAD-Layout-Erstellung stattfinden kann, ist die sichere Voraussage von hohem Wert für die technisch und wirtschaftlich effektive Planung von Baugruppen aus allen Anwendungsbereichen.

Anwendungen des AspektRatio für Leiterbilder

Für die Berechnung des minimalen Abstandes und der größten Weite zwischen den Leiterbildstrukturen ist die tatsächliche Geometrie der Flanke unerheblich. Es genügt, wenn mit Hilfe des Tangens die pauschale Steigung der Flanke errechnet werden kann.

Mit einfachen geometrischen Verfahren läßt sich weiterhin beweisen, daß der Wert für die Breite des Ätzfußes identisch auch für die Breite der Unterätzung gilt.

Ist die Kenngröße "Tangens Alpha" eines Herstellers bekannt, dann läßt sich daraus die Rückätzung errechnen. Zwei Beispiele erläutern die Anwendung dieser Kenngröße.

1. Beispiel: Flächen für Bondpads

Bei zu bondenden Bauteilen müssen die Bondflächen oft sehr dicht gepackt werden. Bondflächen von 70µm oder 80µm Breite sind keine Seltenheit. Wird das Bauteil in der CAD-Bibliothek aber mit 70µm angelegt, dann führt die Rückätzung des Leiterbildes zu einer definitiv unbrauchbaren Bondfläche.

Für einen (...durchaus üblichen) Flankenwinkel von 25° ergibt sich ein Tangens von 0.47. Bei einer Kupferdicke von 35µm ergibt sich daraus eine Reduzierung der Bondfläche auf der Oberseite der Leiterbildstruktur von 16.3µm umlaufend oder von 32.6µm im Durchmesser.

Von den 70µm laut CAD-Bibliothek bleiben demnach nach dem Ätzen nur noch 37.4µm übrig. Das ist offensichtlich unbrauchbar.

Wird dagegen die Rückätzung bereits in der Bibliothek kompensiert, dann ergibt sich ein akzeptables Ergebnis. In diesem Fall müßte die Bondfläche also mit einer Breite von 70µm + 32.6µm = 102.6µm im Padstack angelegt werden (Bild 8-3).



Bild 8-3 Berechnung von Bondflächen für die Bauteilanlage in der CAD-Bibliothek

2. Beispiel : Restring für THT-Bauteile

Für die Ausprägung des Lötmeniskus ist bei THT-Bauteilen die Lötfläche in Form des umlaufenden Restringes von Bedeutung. Laut CAD-Bibliothek ist der Restring die Differenz zwischen dem Pad-durchmesser und dem Enddurchmesser der Bohrung.

THT-Bauteile werden auf der Leiterbildoberfläche gelötet. Üblicherweise ist der Enddurchmesser bekannt und ebenfalls ist der optimale (...oder minimale) planare Restring bekannt (Bild 8-4).

Dann berechnet sich der Paddurchmesser wie folgt :

$$PAD_{(THT)} = \text{Enddurchmesser} + 2 \cdot \text{Planarer Anteil} + 2 \cdot (\text{Kupferdicke} \cdot \tan \alpha)$$

Bei einem vorgesehenen Enddurchmesser der Bohrung von 1100µm, einem planaren Restring von 300µm Breite, einer Kupferdicke von 70µm und einer Ätzflanke von 30° (...tan = 0.5774) ergibt sich daraus eine minimale Padbreite von :

$$PAD_{(THT)} = 1100 \mu\text{m} + 2 \cdot 300 + 2 \cdot (70 \mu\text{m} \cdot 0.5774) \approx 1.78 \text{ mm}$$

In diesem Fall vermittelt das AspektRatio für Leiterbilder somit eine Relation zwischen den Disziplinen "CAD-Layout", "Leiterplattenproduktion" und "Baugruppenfertigung".

Für die Bauteilmontage ist immer die Geometrie der oberen Leiterbildstruktur ausschlaggebend.

Für den elektrischen Sicherheitsabstand ist jedoch immer die untere Leiterbildstruktur ausschlaggebend. Wenn die Lötflächegeometrie und der Sicherheitsabstand konstant sind, dann müssen Leiterbahnen, SMD-Pads und THT-Pads breiter werden, wenn die Kupferdicke auf einer Lage zunimmt.

Der Schluß in Gegenrichtung ist, daß die Kupferdicke abnehmen muß, wenn die Leiterbahnbreite abnehmen muß und/oder, wenn der Mittenabstand von Leiterbildstrukturen abnehmen muß.

Hinweis

Die Konstruktion der Leiterplatte für den Betrieb einer Baugruppe darf nicht dem Zufall überlassen werden. Die mathematische Formulierung von Einflußgrößen macht die Zusammenhänge transparent und schafft die Voraussetzung für die Berechenbarkeit physikalischer Eigenschaften.

Die Anforderungen an zukünftige Baugruppen sind ohne mathematische Berechnungsmodelle technisch und wirtschaftlich nicht mehr umsetzbar.

Wenn Sie Micro-BGAs und BTCs einsetzen wollen und/oder wenn Sie Bauteile bonden wollen, dann erkundigen Sie sich vorher über die Ätztechnologie Ihres Leiterplattenherstellers.

THT-Paddurchmesser

Regel

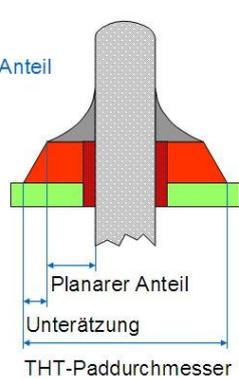
■ $PAD_{(THT)} = \text{Enddurchmesser} + 2 \cdot \text{Planarer Anteil} + 2 \cdot (\text{Kupferdicke} \cdot \tan \alpha)$

Nebenbedingung :
Planarer Anteil $\geq |\text{Toleranz}|$

Beispiel

1100 µm ist der Enddurchmesser
 300 µm ist der geforderte Planare Anteil
 70 µm ist die Kupferdicke
 30° ist der Winkel der Ätzflanke (tan 30° ≈ 0.5774)

$PAD_{(THT)} = 1100 \mu\text{m} + 2 \cdot 300 + 2 \cdot (70 \mu\text{m} \cdot 0.5774)$
 $= 1780.8 \mu\text{m}$
 $\approx 1.78 \text{ mm}$



4

Bild 8-4

Berechnung von THT-Pads für die Padstacks in der CAD-Bibliothek