

Wärmemanagement mit Aluminium- Leiterplatten

Die Hitzeableitung mit Hilfe von Aluminiumkernen in Leiterplatten ermöglicht in der LED-Technik und bei Hochleistungstransistoren höhere Packungsdichte, längere Laufzeiten und größere Ausfallsicherheiten. Viele Fragen auf dem bisher neuen, kaum erforschten Feld ranken sich um das Design, die Berechnung sowie um die Bestückung der Platinen mit Aluminiumträger oder Kern. Zur Zeit sind Leiterplatten mit Aluminiumkern von 1 bis 4 Lagen möglich, je nach gewünschter Dicke des Kernes. Im Folgenden geben wir Anhaltspunkte für die Entwicklung, das CAD und die Bestückung von aluminiumverpressten Leiterplatten.

Die Berechnung der Wärmeableitung

Betrachtet man den Wärmepfad, so kann man diesen in drei wesentliche Sektionen unterteilen:

1. Wärmeübergang vom Halbleitermaterial auf das Gehäuse
2. Wärmetransport vom Gehäuse an den Kühlkörper
3. Wärmeableitung vom Kühlkörper an die Umgebung

Hat man als Entwickler auf den ersten Teil des Wärmepfades wenig Einfluss (Angabe des Herstellers), so kann man den weiteren Wärmepfad durch geeignete Maßnahmen positiv beeinflussen.

1.

In Analogie zur Elektrizität lässt sich auch in der Wärmelehre ein Ohmsches Gesetz definieren:

$$R_w = \frac{\Delta T}{I_w} \quad \text{Wärmewiderstd.} = \frac{\text{Temperaturdifferenz}}{\text{Wärmestrom}}$$

Wobei:

$$I_w = \frac{Q}{t} [W] \quad \text{Wärmestrom} = \frac{\text{Ladungen}}{\text{Zeit}} [Watt]$$

die transportierte Wärmemenge je Zeiteinheit ist.

2.

Die Datenblätter der verschiedenen Materialien beinhalten meist die spezifische Wärmeleitfähigkeit:

$$k = \frac{W}{m \times K} \quad \text{spez. Wärmeleitfähigkeit} = \frac{\text{Leistung}}{\text{Meter} \times \text{Kelvin}}$$

Je größer k, desto besser ist die Wärmeleitfähigkeit.

3.

Mit dieser Angabe kann man den Wärmewiderstand bei gegebener Materialdicke und Fläche der Wärmeleitung wie folgt berechnen.

$$R_w = \frac{d}{k \times A} \quad \text{Wärmewiderstd.} = \frac{\text{Materialstärke}}{\text{spez. Wärmeleitfähigkeit} \times \text{Fläche}}$$

Ein Beispiel mit gängigen Größen soll dies veranschaulichen:

Die Folienstärke entspricht der Isolationsdicke. Zu beachten ist neben der spezifischen Wärmeleitfähigkeit der Prepregs also auch die Anzahl, bzw. Gesamtdicke, da bei Mehrlagenschaltungen oft 2 Prepregs benutzt werden.

Laut Herstellerangaben liegt die spezifische Wärmeleitfähigkeit für FR4 Lamine und Prepregs zwischen 0,26 und 0,38. Bei $W/mK = 0,38$ und dem Einsatz von einem Prepreg mit 0,063 mm ($63\mu = 1080$ Prepreg) Dicke ergibt sich also für eine Fläche von 100 mm²

$$R_w = \frac{63}{0,38 \times 100}$$

Der Widerstand beträgt dann 1.66 °K/W. In Formel (1) eingesetzt ergibt sich bei 10W Wärmestrom eine Temperaturdifferenz von 16,6 °K.

Aus den weiterführenden Formeln (2) und (3) kann man erkennen, dass die spez. Wärmeleitfähigkeit eine dicken- und flächenunabhängige materialspezifische Größe ist. Dagegen ist der Wärmewiderstand ein die reelle Situation am Einbauort wiedergebender Wert. Bei dieser Berechnung des Wärmewiderstandes geht man stets von homogenen Stoffen aus.

4.

Anders sieht die Situation an den Grenzflächen zweier massiver Körper aus. Der Wärmeübergangswiderstand ergibt sich aus :

$$RT\ddot{U} = \frac{\Delta T \times A}{P}$$

$$RT\ddot{U} = \frac{\text{Temperaturdifferenz } [^\circ K] \times \text{Fläche}}{\text{Leistung } [W]}$$

Bei einer Temperaturdifferenz von 40K und einer Fläche von 300mm² sowie einer Leistung von 10W wäre der Wärmeübergangswiderstand 1200 K*mm²/W

Bei der normierten Fläche von 100mm² folgt die Angabe in K/W.

$$RT\ddot{U} = \frac{\text{Temperaturdifferenz } [^\circ K] \times \text{Fläche} [cm^2]}{\text{Leistung } [W]}$$

Also hier 12K/W

Das ist die Bezeichnungsgröße die z.B. für Kühlkörper angegeben wird.

Designregeln für Leiterplatten mit Aluminiumkern

Durch das Aufpressen der Kupferfolie und der nahezu gleich bleibenden chemischen Prozesse zur Erstellung des Leiterbildes ergibt sich bei Leiterbahnbreiten und Abständen keinerlei Einschränkung.

Zu beachten ist allerdings folgendes:

Lochlage zueinander:

Um einwandfreie Bohrungen ohne Kontakt zum Aluminiumkern gewährleisten zu können ist es notwendig, den Aluminiumträger mit größeren Löchern vorzubohren. Somit ist es möglich, mit Hilfe von Epoxidharz oder Pluggingpaste die spätere Bohrung vom Aluminiumträger getrennt zu halten. Durch dieses Prinzip werden Durchkontaktierungen ebenfalls möglich.

Eine durchkontaktierte Bohrung durch den Aluminiumträger mit dem Enddurchmesser von 1,0mm wird in der Leiterplattenfertigung allgemein mit einer Zugabe von 0,15mm gebohrt, also 1,15mm. Dadurch wird nach dem Aufbau des Kupfers in der Bohrung der gewünschte Enddurchmesser von 1,00 mm erreicht. Ist die zusätzliche Verpressung mit Aluminium erwünscht, sollte die Bohrung um weitere 0,45mm größer gebohrt werden ($1,00+0,15+0,45[\text{mm}]=1,6\text{mm}$).

Die Schwierigkeit entsteht, wenn in diesem Beispiel die Lochlage zueinander vom Mittelpunkt im Bereich um 1,6mm ist. Äußerlich betrachtet ergibt sich genug Platz für Restring und Abstand. Im Aluminiumträger werden die Freistellungen allerdings überlappen, so dass die zwischen den Bohrungen kein Aluminium, sondern lediglich Epoxydharz oder Pluggingpaste vorhanden ist. Für die Wärmeableitung, die hauptsächlich über den Träger an den Seiten erfolgt spielt das bei wenigen Überschneidungen eine untergeordnete Rolle. Hat man jedoch sehr viele solcher Überschneidungen sind gegebenenfalls ganze Teile des Aluminiumträgers hauptsächlich mit weniger gut Wärme leitenden Harzen gefüllt. Im Extremfall kann auch die Stabilität des Aluminiumträgers zu gering werden und in der Fertigung ergibt sich durch überlappende Bohrungen generell das Problem von Bohrerbrüchen.

Als Faustformel für die Anordnung von Bohrungen zueinander kann man zur Sicherheit folgendes berücksichtigen:

Abstand zweier Bohrmittelpunkte = $r1 + r2 + 0,7$ [mm]

Kupferfreistellungen von der Kontur:

Für die mechanische Bearbeitung der Kontur sollte der Abstand von Kupferflächen zur Fräskante in Außenlagen generell ca. 0,25mm betragen. In den Innenlagen erhöht sich dies bei Standardtechnologien auf 0,5mm Konturabstand.

Löten von Leiterplatten mit Aluminiumträger

Lötwellen

Das Löten von Aluminiumleiterplatten auf einer Lötwellen bedarf keinerlei Änderungen oder Abweichungen von den herkömmlichen Lötprozessen. Das heiße Lot wird hier direkt von der Unterseite in die Bauteillöcher eingeflossen und stellt sofort mit der darin vorhandenen Oberfläche (bspw. SnPb, chem. Sn, etc.) eine Verbindung her.

Reflow-Löten

Beim Reflow- Lötprozess können sich die Parameter je nach Aluminiumträger ändern. Der größte Vorteil von Leiterplatten mit Aluminiumkern wird hier zur Schwierigkeit: die Fähigkeit, Hitze von Hot-Spots effektiv abzuleiten.

Inwiefern sich das Lötprofil von herkömmlichen Profilen unterscheidet hängt insbesondere von 2 Faktoren ab:

1. Dicke des Aluminiumträgers/Kerns
2. Größe der Leiterplatte

Da die Peaktemperatur durch die Belastbarkeit der Bauteile begrenzt ist, bleibt als einzige Regelgröße die Haltezeit zwischen Aufwärmen und Schmelzpunktüberschreitung. In dieser Phase wird durch längeres halten der Temperatur eine vollständige Durchwärmung des Aluminiumträgers gewährleistet, so dass im Peak die Spitztemperatur nicht von den zu lötenden Stellen abfließt. Diese Haltetemperaturlänge sollte länger sein, je:

1. dicker der Aluminiumträgers/Kerns und
2. größer die Leiterplatte ist.

Im Allgemeinen reicht oft schon die Verlängerung um einige Sekunden. Zu empfehlen sind Löttests im Vorfeld. Die Praxis hat aber gezeigt, dass auch mit herkömmlich bewehrten Lötprofilen eine gute Schmelzung erzielt werden kann.