

Auf die Verpackung kommt es an

Die Hauptaufgabe von Gehäusen liegt darin, empfindlichen Inhalten Schutz vor mechanischen Beschädigungen und Umwelteinflüssen wie Dämpfen oder elektromagnetischer Strahlung zu schützen.

Daß dabei die Qualität der Gehäuse eine entscheidende Rolle spielt, zeigt das einleitende Beispiel der 1845 bei einer Polarexpedition verwendeten Konservendosen. Auch bei Hybridmodulen in der Elektronik kommt der Verpackung eine entscheidende Bedeutung zu.

Der folgende Artikel gibt einen kurzen Überblick über Verschlußverfahren der Hybridtechnik.

Die Bedeutung der geeigneten Verpackung zeigt folgendes Beispiel: Im Jahre 1845 startete Sir John Franklin eine Expedition in die nördlichen Polarregionen, um die Nord-Ost-Passage zu erforschen. Von den Teilnehmern der Expedition kehrte aber niemand zurück. Heute weiß man auch warum: Nachdem ihre Schiffe vom Eis eingeschlossen wurden, ernährten sich die Seeleute über längere Zeit hinweg aus den mitgenommenen Konservendosen. Diese damals noch junge Konservierungsmethode wurde der Mannschaft schließlich zum Verhängnis. Die Proviantdosen waren nicht sachgemäß verschlossen. Die bleihaltigen Schweißnähte hätten nicht mit dem Inhalt der Dosen in Berührung kommen dürfen. So aber wurde eine große Menge Blei von den Seeleuten mit der täglichen Nahrung aufgenommen. Dies führte zu lebensbedrohlichen Vergiftungen, deren Folgen die Mannschaft aus eigener Kraft nicht mehr bewältigen konnte.

Zugegeben, Hybridgehäuse von heute unterscheiden sich durchaus von den Konservendosen des Jahres 1845, obwohl die Idee des Haltbarmachens eines empfindlichen Inhalts dieselbe geblieben ist. Nur wie man es macht, weiß man heute besser.

Modernes Packaging

Betrachten wir das Packaging von Hybridschaltungen, also elektronischer Module, die in größere Schaltungen bzw. Leiterplatten eingebaut werden und spezielle, meist kritische Funktionen der Gesamtbaugruppe übernehmen. Je nach Funktion und Anwendung werden dabei Hybride in unterschiedlichen Technologien, Ausführungen und Qualitätsstufen hergestellt. An Hybridschaltungen wie präzise Steuerungen oder hochstabile Oszillatoren werden i.a. höhere Anforderungen als an Komponenten der Konsumerelektronik gestellt.

Moderne Elektronik erfordert ein hohes Maß an Miniaturisierung. Um die sich daraus ergebenden Forderungen nach hoher Packungs-, Leistungs- und Funktionsdichte erfüllen zu können, verwendet man in der Hybridfertigung überwiegend ungehäuste Bauelemente (Dice), die direkt auf das Trägersubstrat – meist Al_2O_3 -Keramik – aufgebracht werden. Die Halbleiter werden durch Drahtbonden mit den Leiterbahnen des Substrats verbunden (Chip-on-Board-Technik). Die empfindlichen Halbleiterbauelemente werden durch das Hybridgehäuse geschützt.

Glob Top Verfahren

Eine einfache Methode, den Hybriden zu schützen, besteht im Aufbringen einer zähflüssigen Abdeckmasse, die unter Temperatur ausgehärtet wird. Dieses Verfahren heißt Glob-Top-Verfahren. Es besteht auch die Möglichkeit, die ganze Schaltung durch Eintauchen in die Abdeckmasse mit einer Schutzhaut zu überziehen.

Die Abdeckmasse besteht aus Epoxydharzen oder Silikongelen. Diese kommen direkt mit der Oberfläche der Halbleiter in Berührung und müssen deshalb frei von korrosiven Substanzen sein. Die Abdeckmasse umschließt die unterschiedlichsten Materialien wie Silizium, Keramik, Metalle und Kunststoffe. Auf allen diesen Materialien muß nicht nur Haftfestigkeit ge-

währleistet sein, auch dürfen unter thermischer Belastung sowie beim Aushärten des Abdeckmaterials keine zusätzlichen mechanischen Spannungen auftreten.

Diese Anforderungen können natürlich nur bedingt erfüllt werden. Desweiteren kann eine Abdeckmasse alleine keinen dauerhaften Schutz gegen chemische Umwelteinflüsse bieten, da bestimmte Moleküle in die Abdeckung hineindiffundieren oder durch feinste Poren oder entstandene Risse auf die Schaltung gelangen können.

Das Glob-Top-Verfahren ist damit zwar preiswert, aber nicht geeignet für qualitativ hochwertige Produkte von denen eine lange Lebensdauer – auch unter erschwerten Einsatzbedingungen – erwartet wird.

Gehäusearten

Weitaus sicherer ist die Unterbringung der Schaltung in einem kleinen Gehäuse, vorzugsweise aus Metall. Diese Art des Packagings wird schon seit langem bei vielen Gehäusen der TO Reihe realisiert, z.B. TO-19 für Kleinsignaltransistoren oder TO-3 für Leistungshalbleiter.

Der Verschluß in einem Metallgehäuse hat viele Vorzüge:

- **Hohe thermische Leitfähigkeit:**
Metallgehäuse bieten eine optimale thermische Schnittstelle der Schaltung zur Umgebung. Gerade beim Einsatz von Leistungshalbleitern auf dem Hybriden sind sie ideal.
- **Abschirmung:**
Nur Metallgehäuse bieten einen passiven Schutz vor elektromagnetischer Strahlung. Das Gehäuse kann zu diesem Zweck natürlich niederohmig mit einem Anschlußpin verbunden werden. So kann das Gehäusepotential festgelegt werden.
Im Hinblick auf hochfrequente Strahlung ist dabei anzumerken, daß die einzige „elektromagnetische Undichtigkeit“ der Gehäuse an den Pins besteht, die durch eingeschmolzene Glasperlen aus dem Gehäuse geführt werden.
- **Dichtheit:**
Metallgehäuse werden verschweißt und sind daher bei korrekter Montage extrem gasdicht. Im Gegensatz etwa zur Glob-Top Abdeckung kann die Dichtheit bei Metallgehäusen auch überprüft werden (siehe unten). Metallgehäuse verhindern zuverlässig das Entweichen des Schutzgases bzw. das Eindringen schädlicher Substanzen (Wasserdampf, Chloride etc.) in das Innere des Hybriden.
- **Metallgehäuse sind in einer großen Formenvielfalt verfügbar.** Sollte eine Standardform nicht verfügbar sein, können kundenspezifische Gehäuse angefertigt werden. Durch die hohe mechanische Stabilität der Metallgehäuse sind auch sehr große Formen zur Unterbringung von Leistungshalbleitern oder HF-Schaltungen realisierbar.

Insbesondere für Hochspannungsanwendungen kommen neben Metallgehäusen auch Keramikgehäuse zum Einsatz. Auch Kombinationen von Keramik und Metall sind möglich. Für Anwendungen in der Medizin oder Tierzucht werden Hybride auch in gewebe-neutralen Glaskapseln verschlossen.

Verschluß – Widerstandsschweißen

Metallgehäuse werden vorzugsweise verschweißt, wobei hier hauptsächlich Widerstandsschweißverfahren zum Einsatz kommen.

Diesem Verfahren liegt folgendes Funktionsprinzip zugrunde: Die zu verschweißenden Werkstücke werden kurzzeitig zusammengedrückt, wobei der Druck auf eine kleine Fläche konzentriert ist. Ein elektrischer Strom wird nun von einem Werkstück zum anderen durch die so zustandegewordene Kontaktstelle geschickt. Der starke elektrische Strom erhitzt die Metalle in einer eng begrenzten Zone um die Kontaktstelle und verflüssigt zusammen mit dem

mechanischen Druck die beteiligten Metalle – eine stoffschlüssige Verbindung entsteht. Die in den Schweiß-/Schmelzvorgang eingegangene Energie ist

$$E_w = \int_0^{\Delta T} I^2(t) \cdot R(t) dt + \Delta E_{mech}$$

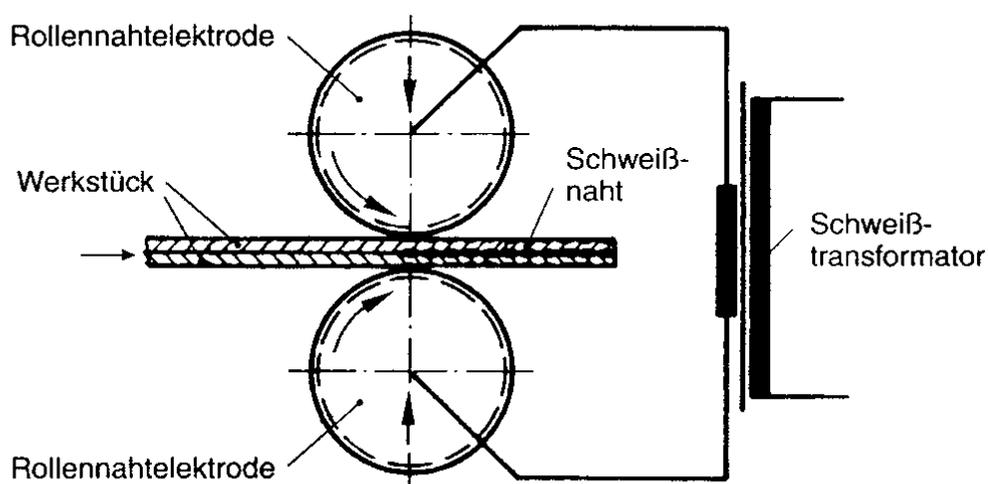
Wobei $I(t)$ der Schweißstrom, $R(t)$ der momentan wirksame Widerstand der Kontaktstelle und ΔE_{mech} die auf mechanischem Wege zugeführte Energiemenge ist. Offenbar ist der Ablauf des Schweißvorganges also abhängig von Anpressdruck ($R, \Delta E_{mech}$), Schweißstrom $I(t)$, den Eigenschaften der verwendeten Materialien wie elektrische und thermische Leitfähigkeit, Schmelzpunkte, Verformungsverhalten etc. und der Geometrie der Kontaktstelle.

Die Widerstandsschweißverfahren benötigen weder Flamme noch abschmelzende Zusatzstoffe, es entstehen weder Schweißbad noch Schweißraupe noch werden die Gehäuse abseits der Schweißstelle durch die sehr genau lokalisierte Schweißenergie merklich erwärmt – der Schweißvorgang belastet also die zu gehäusende Schaltung in keiner Weise. Während des gesamten Schweißvorganges befindet sich das Gehäuse unter Schutzgas (oder Vakuum), wodurch zum einen gewährleistet ist, daß sich auch im Inneren des Gehäuses nur Schutzgas befindet und zum anderen keine Oxidation an der Schweißstelle auftreten kann. Als Schutzgas wird trockener Stickstoff, dem einige Prozent Helium beigemischt sind, verwendet.

Im wesentlichen werden zwei technische Realisierungen des Widerstandsschweißens angewandt: Das Ringbuckelschweißen und das Rollnahtschweißen.

Beim Ringbuckelschweißen wird die gesamte Schweißung durch einen einzigen Stromimpuls mittels einer Kondensatorentladung ausgeführt. Die Werkstücke werden dabei mit einer Kraft von etwa 5-15kN von den Elektroden aufeinandergepresst. Eines der Werkstücke, z.B. die Gehäusekappe, besitzt zur genauen Definition des Schweißvorgangs einen „Buckel“ auf der zu verschweißenden Fläche. Da der Buckel entlang des gesamten Umfangs verläuft leitet sich der Name Ringbuckelschweißverfahren her.

Bild: Rollnahtschweißverfahren



Beim Rollnahtschweißen sind die Elektroden als Rollen ausgeführt, zwischen denen die Werkstücke bewegt werden (Bild). Nur der kleine Bereich zwischen den Rollen, auf den auch die Andruckkraft beidseitig wirkt, wird verschweißt. Der Schweißstrom wird durch Impulsweiten gesteuert. Je nach Impulsdauer und Vorschubgeschwindigkeit können Punktnähte und Dichtnähte erzeugt werden. Der Vorschub kann über die Bewegung des Werkstückes oder des Maschinenkopfes erzeugt werden.

Das Rollnahtverfahren ist auch für größere Gehäuse geeignet, bei denen aufgrund ihres Umfangs der Strom im Buckelschweißverfahren extrem hoch sein müßte.

Schweißungen nach beiden Verfahren werden von der Fa. Quintenz im Haus durchgeführt. Ringbuckelschweißung unter Vakuum steht ebenfalls als Dienstleistung zur Verfügung.

Verschuß – andere Verfahren

Für spezielle Anwendungen können Metallgehäuse auch gelötet oder kaltgeschweißt werden. Beim Kaltschweißen ist in obiger Formel nur noch $E_w = \Delta E_{mech}$, d.h. die Metalle werden nur durch den angewandten mechanischen Druck zum Fließen gebracht, wodurch eine Stoffverbindung entsteht. Eine Kaltschweißung kann nur mit bestimmten Materialkombinationen und Gehäusetypen durchgeführt werden.

Gehäuse nur aus Keramik werden mit hochfestem Klebstoff geklebt.

Die Fa. Quintenz bietet auch den Verschuß von Keramikgehäusen und Keramik / Metallgehäusen an.

Qualitätssicherung

Um eine besonders reine, d.h. chemisch neutrale Atmosphäre im Inneren des Hybriden zu erreichen, werden die Gehäuseteile vor dem Verschuß gereinigt und 24 Stunden in einer auf $<2 \times 10^{-3}$ mbar evakuierten Vorkammer bei ca. 100°C ausgeheizt. Dadurch können Wasserdampf und andere auf der Metalloberfläche adsorbierte Gase in einem für die spätere Betriebstemperatur des Gehäuses relevanten Maß weitgehend entfernt werden.

Nach Abkühlung der Teile wird die Vorkammer mit Stickstoff belüftet und zur Klimakammer hin geöffnet. Die Gehäuse werden in die Klimakammer eingebracht und dort verschlossen ohne zwischendurch normaler Atmosphäre ausgesetzt gewesen zu sein. Dem Stickstoff sind zur Ermöglichung eines Lecktests 2% Helium beigemischt: Nach dem Verschuß werden die Gehäuse in eine evakuierte Messkammer gegeben und die Menge des pro Zeiteinheit entweichenden Heliums mit einem Massenspektrometer gemessen. Aus dieser Menge kann die Leckrate als Volumenstrom

$$q_{pv} = \frac{\partial(p \cdot V)}{\partial t} = \dot{p} \cdot V$$

(p = Gesamtdruck, V=Gehäusevolumen) aus

$$\dot{p} \cdot V = \dot{N} \cdot kT$$

bestimmt werden (N=Anz. d. Gasmoleküle). Die Fa. Quintenz Hybridtechnik testet routinemäßig jeden auszuliefernden Hybriden im Metallgehäuse auf eine Leckrate von weniger als $10^{-8} \text{ mbar} \cdot \text{l} \cdot \text{s}^{-1}$, ab dieser Leckrate kann das Gehäuse als (gas)dicht gelten. Im allgemeinen aber wird diese Leckrate noch weit unterschritten.

Neben der Messung der Leckrate werden noch regelmäßige optische Kontrollen der Schweißverbindung und ein Test der Zugfestigkeit durchgeführt.