

**Zeitschrift:** Technische Mitteilungen / Schweizerische Post-, Telefon- und Telegrafienbetriebe = Bulletin technique / Entreprise des postes, téléphones et télégraphes suisses = Bollettino tecnico / Azienda delle poste, dei telefoni e dei telegrafi svizzeri

**Herausgeber:** Schweizerische Post-, Telefon- und Telegrafienbetriebe

**Band:** 51 (1973)

**Heft:** 2

**Artikel:** Hbridschaltungen in Dickfilmtechnik

**Autor:** Winiger, Franz

**DOI:** <https://doi.org/10.5169/seals-875277>

### **Nutzungsbedingungen**

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. [Siehe Rechtliche Hinweise.](#)

### **Conditions d'utilisation**

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. [Voir Informations légales.](#)

### **Terms of use**

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. [See Legal notice.](#)

**Download PDF:** 27.05.2025

**ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>**

*Zusammenfassung. Es werden zunächst die Vorteile der Hybridschaltungen im Vergleich zu gedruckten und monolithischen Schaltungen sowie deren Hauptanwendungsgebiete aufgeführt. Nach den Entwurfskriterien wird die Dickfilm-Technologie unter besonderer Berücksichtigung ihrer Möglichkeiten und ihrer Grenzen beschrieben. Zum Schluss werden einige Anwendungsbeispiele erwähnt.*

## **Circuits hybrides en technique des couches épaisses**

*Résumé. L'auteur présente d'abord les avantages des circuits hybrides comparés aux circuits imprimés et monolithiques ainsi que leurs principaux domaines d'utilisation. Après les critères de développement, il décrit la technologie des couches épaisses en considérant particulièrement ses possibilités et ses limites. Quelques exemples d'application terminent cet article.*

## **La tecnica a film spessi per circuiti ibridi**

*Riassunto. In quest'articolo si illustrano d'apprima i vantaggi dei circuiti ibridi rispetto a quelli stampati e monolitici e i loro principali campi d'impiego. Dopo la descrizione dei criteri di progettazione, si spiega la tecnologia a film spessi e si tien conto in modo particolare delle sue possibilità e dei suoi limiti d'impiego. Da ultimo vengono elencate alcune possibilità d'applicazione pratica.*

## **1. Anwendung und Entwurf**

Bei den Hybridschaltungen werden einzelne Komponenten auf ein Substrat montiert, das bereits Leiterbahnen, Widerstände und allenfalls auch Kondensatoren enthält, die mit dem Substrat fest verbunden und gemeinsam aufgebracht wurden. Das Substrat ist ein Isolator und nimmt, im Gegensatz zu den monolithischen integrierten Schaltungen, keinen aktiven Anteil an der Schaltung. Die Hybridschaltungen sind in dieser Hinsicht den gedruckten Schaltungen verwandt und nehmen eine Zwischenstellung zwischen diesen und den monolithischen Schaltungen ein. Die verwendeten Komponenten sind oft besonderer Art, ohne endgültige Kapselung, da sie diese gemeinsam bei der Verpackung der Hybridschaltung erhalten. Technische und wirtschaftliche Vorteile gegenüber monolithischen oder gedruckten Schaltungen sind:

### *Vergleich mit gedruckten Schaltungen*

- Kleinere Abmessungen
- Höhere Zuverlässigkeit (weniger Verbindungspunkte)
- Vorgetestete, leicht auswechselbare Module
- Billiger, besonders wenn der Anteil der Montagekosten im Verhältnis zu den Materialkosten hoch ist
- Bessere Wirtschaftlichkeit, wenn grössere Serien der gleichen Schaltungen oder der gleichen Packungsart in Frage kommen
- Bessere Hochfrequenzeigenschaften (kleine Dimensionen, strip-line-Technik).

### *Vergleich mit monolithischen integrierten Schaltungen*

- Höhere Leistung, Ströme und/oder Spannungen
- Höhere Frequenzen
- Grössere Flexibilität bei aktiven Komponenten. Es ist möglich, auf der gleichen Schaltung IC's<sup>1</sup> in Bipolar- und

<sup>1</sup> IC = integrated circuit (integrierte Schaltung)

MOS-Technologie zusammen mit allen Arten von bipolaren und Feldeffekt-Transistoren sowie Thyristoren zu kombinieren

- Bestehende Schaltungsentwürfe können weitgehend übernommen werden
- Schaltungsänderungen können ohne prohibitive Kosten auch nach Serienanlauf eingeführt werden
- Passive Komponenten (Widerstände, Kondensatoren und teilweise auch Induktivitäten) können in praktisch beliebiger Genauigkeit und sehr weitem Bereich mitintegriert werden.
- Kleine bis mittlere Produktionsserien sind kostendeckend zu verwirklichen.
- Die Entwicklungs- und Anlaufkosten sind verhältnismässig klein, kaum höher als bei gedruckten Schaltungen.
- Kürzere Zeiten für Entwicklung und Serienbeginn.

Hybridschaltungen basieren in den meisten Fällen auf Kundenspezifikationen. Dies verlangt eine sehr enge technische Zusammenarbeit zwischen Kunde und Hersteller, um optimale technische und wirtschaftliche Lösungen zu erhalten. Folgende Grundsätze mögen als Gedächtnisstütze bei der Hybridisierung dienen:

- Der Schaltungsentwurf soll sorgfältig erprobt, die Spezifikationen, Toleranzen und Temperaturabhängigkeit der verwendeten Komponenten auch unter worst case-Bedingungen<sup>1</sup> genau ermittelt werden.
- Der endgültige Schaltungsentwurf soll gemeinsam auf seine Hybridfreundlichkeit geprüft werden. Hohe Kapazitätswerte sind zu vermeiden (Volumen, Preis), beispielsweise durch Ausnutzung des Miller-Effekts, direkte Kopplung, komplementäre Stufen, hohe Impedanzen usw.,

<sup>1</sup> Bedingung des ungünstigen Falls infolge Streuungen, Alterung, Temperaturabhängigkeit der Komponentenwerte, Schwankung der Speisespannung usw.

auch wenn zusätzliche aktive Elemente benötigt werden. Durch eine günstige Systemaufteilung soll auf eine möglichst kleine Zahl der äusseren Anschlüsse und auf eine individuelle Testbarkeit der Module geachtet werden. Bei den Widerständen und Kapazitäten sind wenn immer möglich enge Toleranzen zu vermeiden (Trimmkosten). Es ist einfacher und billiger ein Widerstandsverhältnis als die Absolutbeträge mit kleiner Streuung zu erreichen. Ein Funktionsabgleich ist in Hybridschaltungen verhältnismässig einfach durchführbar und billiger als engtolerante Einzelkomponenten.

- Bei den Halbleiterbauelementen ist es zweckmässig, anstelle von handelsüblichen Typenbezeichnungen die für das Funktionieren der Schaltung erforderlichen Daten genau anzugeben.
- Die endgültigen Testspezifikationen sind zwischen Abnehmer und Hersteller in Einzelheiten zu vereinbaren, unter Berücksichtigung der zu verwendenden Messgeräte.
- Dasselbe gilt von den mechanisch-klimatischen Spezifikationen. Die Verwendung von standardisierten Kapselungsmethoden und Gehäusedimensionen haben einen entscheidenden Einfluss auf den Preis.
- Auf spezielle Schwierigkeiten, die sich während der Schaltungserprobung zeigten, sollte aufmerksam gemacht werden.
- Die in den einzelnen Komponenten auftretende und die totale Verlustleistung sollen unter Berücksichtigung des Temperaturbereiches ermittelt und bei der mechanischen Dimensionierung berücksichtigt werden.
- Bevor die endgültige geometrische Anordnung (Layout) auf die Maske (Schablone) übertragen wird, ist eine Besprechung zwischen Kunde und Hersteller empfehlenswert.

Diese Überlegungen gelten für Hybridschaltungen allgemein, sind jedoch besonders auf die Dickfilmtechnologie abgestimmt, bei der die Leiterbahnen, Widerstände und allfällige Kondensatoren in Form von metall- oder glashaltigen Pasten auf das Substrat aufgebracht werden.

## 2. Dickfilmtechnologie

### 2.1 Materialien

Die Materialien und Prozesse für die Produktion von Dickfilmschaltungen sind in der *Figur 1* gezeigt. Am häufigsten dient als Substratmaterial Aluminiumoxydkeramik mit 96%  $\text{Al}_2\text{O}_3$ , das unpoliert verwendet werden kann, seltener sind Berylliumoxyd (seiner guten Wärmeleitung wegen für hohe Verlustleistung geeignet) und Bariumtitanat (gekennzeichnet durch seine hohe Dielektrizitätskonstante). Normalerweise werden rechteckige Substrate angewendet.

Standarddimensionen sind  $25,4 \times 25,4 \times 0,25$  mm und  $50,8 \times 50,8 \times 0,635$  mm. Durch Ritzen mit einem Diamanten und Brechen lassen sich diese in kleinere Rechtecke trennen. Substrate mit Löchern oder beliebigen Formen sind möglich. Da sich Keramik nur mit Diamantwerkzeugen oder Laserstrahlen bearbeiten lässt, ist es zweckmässig, die Formgebung bereits im ungebrannten Zustand vorzunehmen, was sich allerdings nur bei grossen Serien lohnt. Das Substrat muss auch die in der Schaltung erzeugte Wärme wegführen. Mit 96%igem  $\text{Al}_2\text{O}_3$  ist eine Belastung von  $0,5 \text{ W/cm}^2$  zulässig. Mit zusätzlichen Kühlkörpern, Substrat auf Metallplatte, kann dieser Wert erhöht werden.

Die Pasten sind die wichtigsten Grundstoffe. Sie sind ein Gemisch von Edelmetall (oder Metalloxyden) und einer Glasfritte, suspendiert in einer organischen Flüssigkeit als Träger. Die Metalle oder die Metalloxyde bestimmen die elektrischen Eigenschaften und die Lötbarkeit. Die Glasfritte, bestehend aus niedrigschmelzenden Gläsern mit hohem Gehalt an Schwermetalloxyden, ist für die Haftung verantwortlich, der Träger für die rheologischen Eigenschaften und damit für das Druckverhalten. Die Pastenherstellung wird im allgemeinen von Spezialfirmen besorgt.

Die Leiterbahnpasten enthalten Edelmetallpulver und müssen nach folgenden Eigenschaften beurteilt werden:

- Auflösungsvermögen
- Elektrische Leitfähigkeit
- Lötbarkeit
- Lotauflösung (solder leaching)
- Kristall- und Drahtbondeigenschaften
- Verträglichkeit mit Widerständen und Dielektrika
- Kosten

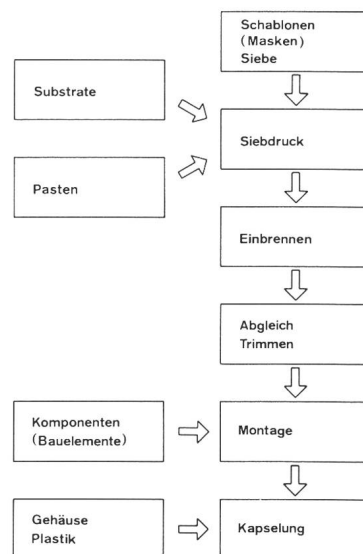


Fig. 1  
Materialien und Grundprozesse

Die wichtigsten Kompositionen sind in der *Tabelle I* zusammengestellt. Am gebräuchlichsten ist die Kombination von Palladium-Silber (Pd Ag). Diese Pasten können bereits bei 760° eingebrannt werden und gestatten das gleichzeitige Einbrennen von Leitern und Widerständen. Reines Gold ist nicht lötbar, jedoch bestens geeignet zum Bonden<sup>1</sup> von ungekapselten Halbleiterkristallen. Beim Entwurf soll auf möglichst breite Leiterbahnen geachtet werden. Feine Linien von 100...125 µm sollen nur für Spezialanwendungen benutzt werden.

Bei Widerstandspasten ist auf folgende Eigenschaften zu achten:

- Widerstandsbereich
- Temperaturkoeffizient des Widerstandes
- Verlustleistung je cm<sup>2</sup>
- Elektrisches Rauschen
- Temperaturdrift
- Drift unter Belastung
- Empfindlichkeit auf Umgebungseinflüsse
- Empfindlichkeit auf Längen-Breiten-Verhältnis
- Empfindlichkeit auf Einbrennprofil

Das elektrische Verhalten einer Paste ist im wesentlichen durch den Oberflächenwiderstand  $R_s$ , den Temperaturkoeffizienten (TCR) und das Rauschen bestimmt. Der Oberflächenwiderstand ist der Widerstand eines Quadrates konstanter Dicke (meist 20 µm für die eingebrannte Paste). Damit ist bei einer Länge L und einer Breite B der Widerstand

$$R = R_s \cdot \frac{L}{B} = R_s \cdot N$$

N ist die Zahl der Quadrate und soll zwischen 1/3...10 liegen. Gebräuchliche Pastenserien haben  $R_s$ -Werte von 1 Ω...10 MΩ. Gedruckt und gebrannt kann man eine Streuung von besser als 20% erwarten. Durch Trimmen ist es jedoch möglich, beliebig engere Toleranzen zu erhalten. Die Grenze liegt bei etwa 0,2%, bedingt durch die Stabilität der Widerstände.

Gegeben durch den halbleitenden Charakter der Dickfilmwiderstände hat das Rauschen einen 1/f-Verlauf (f-Frequenz) und ist proportional der angelegten Spannung V.

<sup>1</sup> Bonden bedeutet die Verbindung zweier Metalle, vorwiegend Aluminium und Gold, durch Anwendung von Wärme und Druck oder Ultraschall.

Charakterisiert wird es durch die Rauschspannung v in µV/V je Frequenzdekade, ausgedrückt in dB. Pasten mit höherem  $R_s$  zeigen innerhalb einer Serie ein stärkeres Rauschen. Es sind drei grundsätzliche Pastensysteme gebräuchlich. Neben dem ursprünglichen Palladium-Palladiumoxyd-Silber-System, das bei hohen Temperaturen auf Umgebungseinflüsse empfindlich ist, gewinnt das Rutheniumoxyd- oder Rutheniumbismutat-System immer mehr an Bedeutung. Die grundsätzlichen Eigenschaften der Systeme sind in der *Tabelle II* zusammengestellt. Widerstandsbahnen sollten in keiner Richtung kleiner als 0,4 mm ausgelegt werden. Die höchstzulässige Belastung beträgt etwa 5 W/cm<sup>2</sup>, wobei der Materialabtrag durch Trimmen zu berücksichtigen ist.

Dielektrische Pasten werden für Kreuzungen (Mehrschichtverbindungen), Kondensatoren und als Schutzabdeckungen verwendet. Bei der Mehrschichttechnik ist darauf zu achten, dass durch das wiederholte Brennen ein mehrmaliges Fließen der Isolationsschichten vermieden wird. Es wurden deshalb Pasten entwickelt, die nach dem ersten Brand kristallisieren und in diesem Zustand bedeutend höhere Fliesstemperaturen annehmen. Titanatgefüllte Dielektrika sind bis zu sehr hohen Dielektrizitätskonstanten erhältlich, so dass Kondensatoren bis zu 20 000 pF/cm<sup>2</sup> mit einer Durchbruchspannung von 50...100 V möglich sind. Glaspasten, die der Passivation dienen, haben tiefe Einbrenntemperaturen (etwa 500° C), um auch über Widerständen verwendet werden zu können.

## 2.2 Prozesse

Aufgrund des bereinigten und erprobten Schaltschemas kann eine Zeichnung der geometrischen Anordnung (layout) erstellt werden (*Fig. 2*). Anschliessend werden, meist im Massstab 10:1, für jeden Druck die Mutterschablonen geklebt oder geschnitten. Durch photographische Verkleinerung gewinnt man die Arbeitsschablonen.

Als Siebe verwendet man in einen Rahmen eingespannte Stahlgewebe mit einer Maschenzahl von 165 oder 200, für sehr feine Leiterbahnen in Ausnahmefällen 325. Zur Übertragung des Schablonenbildes auf das Sieb bedient man sich wiederum der Phototechnik. Man unterscheidet Emulsionssiebe und Metallsiebe. Im ersten Fall handelt es sich um eine photosensitive Emulsion, auf die das Bild direkt

*Tabelle I.* Eigenschaften von Leiterbahnpasten

| Material         | Flächenwiderstand (Ω/□) | Linienauflösung (µm) | Lötbarkeit nach Nachbrennen | Bondeigenschaften Kristall | Draht (Au) |
|------------------|-------------------------|----------------------|-----------------------------|----------------------------|------------|
| Gold             | 0,005...0,10            | 125...375            | nicht lötbar                | vorzüglich                 | vorzüglich |
| Platin-Gold      | 0,08...0,10             | 125...375            | vorzüglich                  | gut                        | gut        |
| Palladium-Gold   | 0,04...0,10             | 250...375            | vorzüglich                  | gut                        | gut        |
| Palladium-Silber | 0,02...0,10             | 250...375            | befriedigend                | nicht                      | gut        |

(bereits auf dem Sieb) oder indirekt (vor dem Aufbringen auf das Sieb) übertragen wird. Direkte Emulsionssiebe haben eine längere Standzeit, indirekte jedoch eine bessere Liniengenauigkeit. Metallsiebe bestehen im indirekten Fall aus einer geätzten Metallfolie, die auf das Sieb gebracht wird, im direkten Fall aus einer Folie, in die von einer Seite das Schablonenbild und von der andern Seite die Siebstruktur geätzt ist, die eingespannt direkt als Sieb verwendet wird. Solche doppelt geätzten Metallsiebe gestatten die höchste Genauigkeit, sie sind jedoch teuer.

Der Siebdruckprozess, wie er in der Dickfilmtechnik verwendet wird, verlangt sehr hohe Genauigkeit. Voraussetzung dazu ist eine gute Siebdruckmaschine. Die wesentlichen Bestandteile einer solchen sind die Substratauflage mit Vakuumhalterung, der Rahmen zum Einspannen der Siebe und der Rakel. Dieser schiebt die Paste vor sich her und drückt sie unter gleichzeitigem Andrücken des Siebes durch dessen offene Maschen auf das Substrat. Die Paste erfährt dadurch eine Scherbeanspruchung, was wegen des thixotropischen Verhaltens<sup>1</sup> deren Viskosität stark herabsetzt. Hinter dem Rakel schnappt das Sieb dann zurück, und mit dem Aufhören der Schubkraft nimmt die Paste wieder eine hohe Viskosität an, wodurch ein weiteres Fließen verhindert wird.

Nach dem Druck lässt man die Substrate bei leicht erhöhter Temperatur trocknen, so dass ein weiterer Druck ohne vorheriges Einbrennen möglich ist. Davon macht man Gebrauch, wenn mehr als eine Leiterbahn- oder Widerstandspaste aufgetragen werden muss.

Normalerweise werden Leiterbahnen und Widerstandsbahnen voneinander unabhängig eingebrannt, obwohl ein gemeinsames Einbrennen möglich ist. Dazu werden Durchlauföfen benützt, die in mehreren Zonen geregelt sind, um nicht nur die Höchsttemperatur, sondern auch das Temperatur-Zeitprofil innerhalb weniger °C konstant und reproduzierbar zu halten. Ein Strom gereinigter und getrockneter Luft fließt durch den Ofen, um die gasförmigen Abfallprodukte wegzuführen. Während des Brennvorganges werden der organische Träger abgedampft, die Metalle oder Metalloxyde oxydiert oder reduziert und die Glasfritte zum Schmelzen gebracht, damit sie mit dem Substrat eine Sin-

<sup>1</sup> Verflüssigung und nachträgliche Wiederverfestigung von Gelees, Pasten und dergleichen bei mechanischer Beanspruchung bzw. nach deren Aufhören.

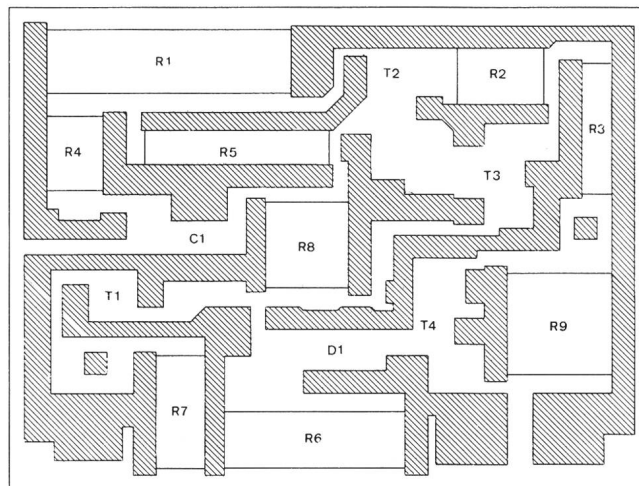


Fig. 2  
Layoutzeichnung

terbindung hoher Adhäsion eingeht. Nach Erreichen der Höchsttemperatur von 750...1000° C wird langsam abgekühlt, um etwaige Spannungen zu vermeiden. Ein Brennzzyklus dauert etwa 30...60 min. Es ist darauf zu achten, dass jeder nachfolgende Brand bei einer tieferen Temperatur als der vorhergehende ausgeführt wird.

Da die Toleranzen der Dickfilmwiderstände nach dem Brennen häufig den Anforderungen nicht genügen, muss abgeglichen (trimmen) werden. Dazu werden die Widerstände unternominal ausgelegt und können durch Materialabtrag erhöht werden. Das Widerstandsmaterial lässt sich mit einem feinen Sandstrahl wegscheuern oder mit einem Laserstrahl wegbrennen. In beiden Fällen wird mit einer Präzisionsbrücke der Widerstandswert laufend überwacht und beim Erreichen des Nominalwertes der Prozess unterbrochen. Es ist auch möglich, Widerstände auf ein vorgegebenes Verhältnis oder die ganze Schaltung funktionell auf bestimmte Transfer- oder Ausgangsparameter abzugleichen. Der Funktionsabgleich ist oft eine sehr zweckmässige und kostensparende Methode. Die Lasermethode ist dazu besonders geeignet, da sie sehr sauber ist. Besonders das Lasersystem ist einer Computersteuerung leicht zugänglich, die dafür sorgt, dass alle Widerstände auf dem Substrat zunächst geprüft und anschliessend der

Tabelle II. Eigenschaften von Widerstandspasten

| System           | TCR (ppm)   | Rauschen (dB)<br>100 $\Omega/\square$ | 100 k $\Omega/\square$ | Stabilität<br>$\Delta R/R$ (‰/oo) | Einbrenntemperatur (°C) | Kosten  |
|------------------|-------------|---------------------------------------|------------------------|-----------------------------------|-------------------------|---------|
| Pd-PdO-Ag        | < $\pm 500$ | -15                                   | +15                    | 5-10                              | 750...800               | niedrig |
| RuO <sub>2</sub> | < $\pm 200$ | -30                                   | 0                      | 2                                 | 750...800               | mittel  |
| Edelmetall       | < $\pm 100$ | -30                                   | 0                      | < 2                               | 900...1000              | hoch    |

Reihe nach abgeglichen werden. Ein solches System vermag in 5 s bis 10 Widerstände abzugleichen, Einlegen inbegriffen.

### 3. Bauelemente und ihre Montage

Grundsätzlich sind in Dickfilmschaltungen alle gängigen Komponenten verwendbar, sofern sie klein genug sind. Am wichtigsten sind Halbleiterbauelemente und Kondensatoren.

Es ist möglich, die Halbleiterbauelemente in unverpackter Form als Kristalle anzuwenden. Die entsprechenden Montagetechniken sind dann grundsätzlich die gleichen wie in der Halbleiterfertigung, indem der Kristall zunächst auf die goldhaltige Leiterbahnfläche eutektisch gelötet und die weiteren Anschlüsse mit feinem Gold- oder Aluminiumdraht nach der konventionellen Thermokompressions- oder Ultraschallmethode verbunden werden. Anschliessend werden die Kristalle, einschliesslich der Bonddrähte, mit einem geeigneten Kunststoff (vorzugsweise Silikone) abgedeckt, um sie mechanisch und elektrisch zu schützen. Diese Methode hat den Vorteil einer guten Wärmeübertragung zwischen Kristall und Substrat, und es ist möglich, alle gängigen Halbleitertypen ohne Spezialbehandlung anzuwenden. Da diese Montage nie mit 100%iger Ausbeute durchführbar ist, kann sie der hohen Ausfallquote wegen bei vielen Kristallen je Substrat sehr teuer werden. Eine Reparatur einzelner Bondstellen ist schwierig oder überhaupt nicht durchführbar. Auch können ungekapselte Kristalle kaum auf alle elektrischen Werte vorgemessen oder gar sortiert werden. Günstiger sind diesbezüglich flip chips oder beam lead-Komponenten. Bei den flip chips werden halbleiterprozessseitig auf die Kristalle Höcker (bumps) aus Weichlot aufgebracht, so dass es möglich ist, einen Kristall kopfüber auf das Substrat zu legen und alle Verbindungen gleichzeitig auf die entsprechenden Leiterbahnen zu löten. Bei den beam leads hat der Kristall streifenförmige, über die Kanten herausragende Anschlüsse. Auch hier ist es möglich, alle Anschlüsse mit Hilfe von Spezialmaschinen in einem Arbeitsgang herzustellen. Flip chips oder beam leads sind weniger leicht erhältlich als nackte Kristalle. Spezialanfertigung ist nur lohnend, sofern die in Frage kommenden Mengen sehr gross sind.

In vermehrtem Masse sind heute gekapselte, vorgemessene und selektionierte Spezialelemente in Miniaturbauform erhältlich, die ihre verzinnten Anschlüsse in einer Ebene angeordnet haben und sich auf das Substrat gelegt im reflow-Verfahren leicht löten lassen (Fig. 3). Neben Transistoren sind auch vereinzelt IC's, Keramik- und Tantalkondensatoren sowie HF-Drosseln in dieser Bauform üblich. Obwohl diese Art von Komponenten etwas teurer als solche mit Drahtenden ist, können sie sich im Zusammenhang mit der für Hybridschaltungen bevorzugten Montagetechnik, dem reflow-Lötverfahren, trotzdem lohnen. Bei dieser Technik

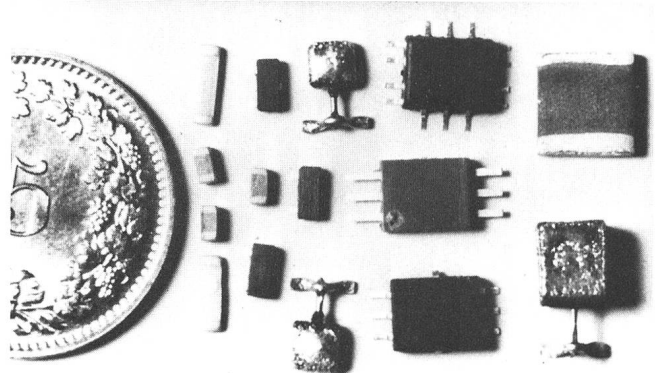


Fig. 3  
Chip-Komponenten

wird das Substrat zunächst selektiv verzinnt und mit Flussmitteln versehen. Dann werden die ebenfalls verzinnten chip-Komponenten positioniert. Das ganze bestückte Substrat wird nun in einem Durchlaufofen oder auf einer Heizplatte kurzzeitig über die Schmelztemperatur des Lotes erwärmt, so dass dieses zum Fliessen (reflow) kommt. Auf diese Weise ist es möglich, in kürzester Zeit eine grosse Zahl sehr zuverlässiger Lötunkte zu erhalten, wobei durch die Oberflächenspannung des flüssigen Lotes zusätzlich eine Selbstzentrierung eintritt. Anstelle des eigentlichen Verzinnens des Substrates ist es auch möglich, die gewünschten Lötunkte mit einer Lotpaste zu bedrucken, was die Haftung der Komponenten vor dem Löten begünstigt. Nachdem die Anschlussdrähte noch reflow oder konventionell angelötet wurden, ist die Schaltung im Prinzip fertig.

### 4. Kapselung

Um die Schaltungen gegen mechanische Beschädigungen und extreme Umwelteinflüsse zu schützen, werden sie gekapselt. Zur Erreichung einer sehr hohen Zuverlässigkeit, zum Beispiel für die Raumfahrt, verwendet man hermetisch verschlossene Metallgehäuse. Beliebte sind das 1 x 1-Zoll-flat pack und das transistorähnliche TO-8-Gehäuse, die beide eine Verlustleistung von 1 W zulassen.

In allen übrigen Fällen genügt eine Kunststoffumhüllung. Der verwendete Kunststoff muss folgenden Bedingungen genügen:

- Hohe Isolationsfestigkeit
- Kleine Dielektrizitätskonstante (HF-Schaltungen)
- Härtetemperatur unter etwa 125° C (Komponenten)
- Gute Verträglichkeit mit Dickfilmwiderständen
- Hohe Temperaturfestigkeit
- Genügende Flexibilität auch bei tiefen Temperaturen
- Geringe Wasserabsorption



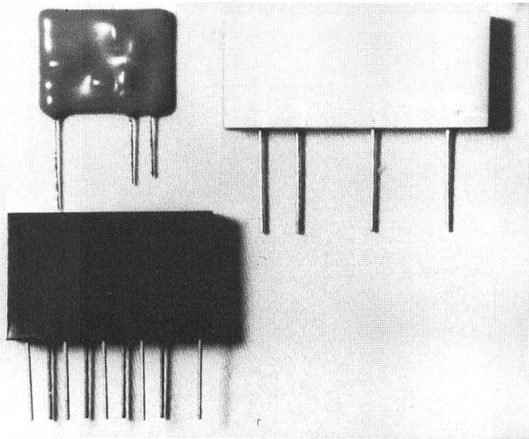


Fig. 4 Gekapselte Hybridschaltungen

Es kommen die folgenden Harzsysteme in Frage: Silikone, Epoxide (säurehärtend), Polyurethane und allenfalls Phenolharze. Am häufigsten wird eine einfache Bedeckung durch Eintauchen oder Wirbelsintern gewählt. Wird eine harte und formhaltige Umhüllung gewünscht, kann die Schaltung in Formen vergossen oder bei grossen Stückzahlen transferverpresst werden. Um bei schnellen Temperaturwechseln eine mechanische Beschädigung zu vermeiden, ist es zweckmässig, vor dem Vergiessen die Frontseite des Substrates mit einem weichen Kunststoff zu bedecken (Fig. 4).

## 5. Elektrische Endmessung

Die elektrische Endmessung ist analog jener von Printplatten. Bei grossen Serien der gleichen Schaltung bedient man sich am zweckmässigsten eines Spezialgerätes. Ein Hersteller verschiedener Hybridschaltungen in mittleren Seriengrössen benützt zum Messen am besten ein programmierbares Universaigerät. Das Testen der Schaltung ist in vielen Fällen sehr aufwendig und trägt erheblich zu den Kosten einer Hybridschaltung bei.

## 6. Anwendungsbeispiele

Der in Figur 5 und 6 gezeigte Taktgenerator dient zum Treiben von MOS-Schaltungen und hat eine Taktfrequenz

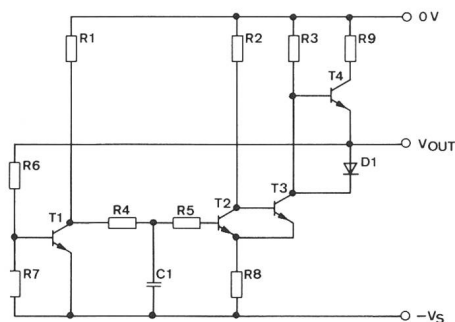


Fig. 5  
Schema Taktgenerator

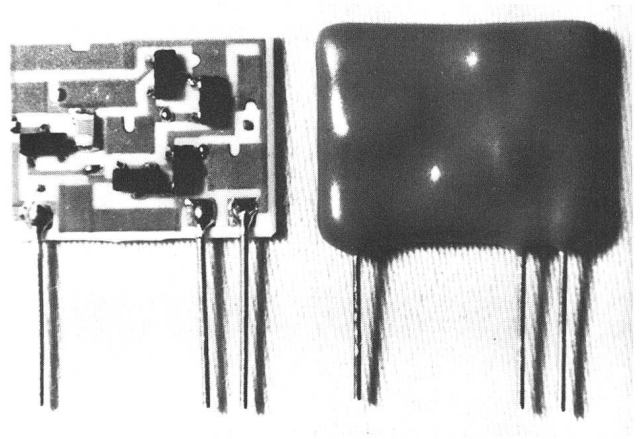


Fig. 6 Aufbau Clockgenerator, offen und gekapselt

von  $225 \text{ kHz} \pm 10\%$ . Bei der normalen Speisespannung von  $-13 \text{ V}$  und einer kapazitiven Belastung von  $100 \text{ pF}$  ist die Anstiegs- und Abfallzeit kleiner  $100 \text{ ns}$ . Der Aufbau mit nur einem Kondensator ist sehr hybridfreundlich. Die Verwendung von chip-Komponenten erlaubt die Herstellung in der reflow-Technik. Unter Verwendung einer einfachen Plastikbedeckung durch Wirbelsintern ( $21 \times 17 \times 6 \text{ mm}$ ) ist die Schaltung im Temperaturbereich  $-25...+85^\circ \text{ C}$  verwendbar und sehr preisgünstig herstellbar.

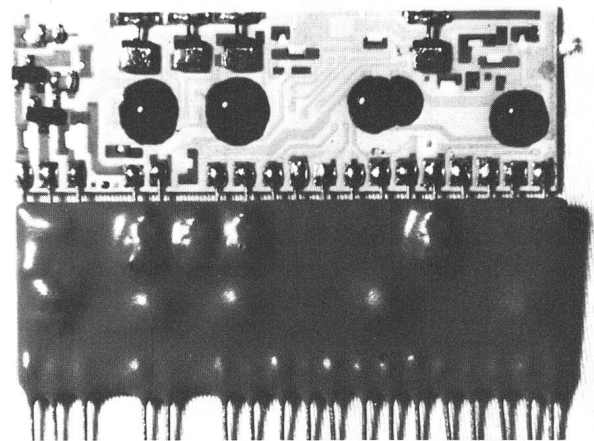


Fig. 7  
Impulsverstärker und -former, offen und gekapselt

Die Figur 7 zeigt einen schnellen Impulsverstärker und Impulsformer mit einer Eingangsempfindlichkeit von  $2,5 \text{ mV}$ . Es sind hier alle Kristalle direkt auf das Keramiksubstrat gebondet. Zusätzlich wurde von der Möglichkeit der mehrschichtigen Verbindungstechnik Gebrauch gemacht.

Adresse des Autors: Franz Winiger, dipl. Ing. ETH, Faselec AG, Postfach A 111, 8045 Zürich.