

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

Band: 67 (1989)

Heft: 3

Artikel: Polymerdickfilmtechnologie : kostengünstige Erweiterung der konventionellen Leiterplattenherstellung

Autor: Anderegg, Fredy / Gilgen, Heinz

DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-874925>

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: 13.10.2024

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

Polymerdickfilmtechnologie: Kostengünstige Erweiterung der konventionellen Leiterplattenherstellung

Fredy ANDEREGG, Solothurn, und Heinz GILGEN, Bern

Zusammenfassung. In der Polymerdickfilmtechnologie werden elektrische Leiter und passive Elemente durch einfaches Aufdrucken und anschliessendes Aushärten von metallhaltigen Pasten hergestellt. Diese Technologie eignet sich für die Herstellung von starren oder flexiblen Leiterplatten. Für die Telekommunikationsindustrie ist diese Herstellungsart völlig neu. Die Autoren befassen sich mit diesem neuen Verfahren, den ersten Erfahrungen und Resultaten bei Ascom-Autophon sowie den daraus resultierenden Anwendungsmöglichkeiten für die Telekommunikation.

Technologie des films polymères épais: Développement rentable de la fabrication traditionnelle des circuits imprimés

Résumé. Dans la technologie des films polymères épais, les conducteurs électriques et les éléments passifs sont fabriqués par simple impression puis durcissement subséquent de pâtes à teneur métallique. Cette technologie convient pour la fabrication de circuits imprimés rigides ou flexibles. Il s'agit d'une méthode entièrement nouvelle pour l'industrie des télécommunications. Les auteurs décrivent cette innovation, les premières expériences faites et résultats obtenus pas Ascom-Autophon, de même que les applications qui peuvent en résulter pour la télécommunication.

Tecnica dei film a spessore polimerico: Sviluppo dal lato economico della fabbricazione usuale di circuiti integrati

Riassunto. Nella tecnica dei film a spessore polimerico i conduttori elettrici e gli elementi passivi sono fabbricati mediante semplice impressione e successivo indurimento di paste metallifere. La tecnica è adatta alla fabbricazione di circuiti integrati rigidi o flessibili. Per l'industria delle telecomunicazioni questo tipo di fabbricazione è completamente nuovo. Gli autori si occupano del nuovo sistema, delle prime esperienze e dei primi risultati ottenuti presso la Ascom-Autophon e delle possibilità di impiego che ne derivano per la telecomunicazione.

1 Einleitung

In der Elektrotechnik werden Schaltungen oder Funktionseinheiten auf Leiter- oder Printplatten aufgebaut. Die Platte dient als isolierender Träger für die Bauelemente, die aufgebrachten Kupferbahnen dienen als elektrische Verbindungen zwischen den einzelnen Komponenten. Das Herstellungsverfahren für die einfachen, einseitig verkupferten Platten ist erprobt und verhältnismässig kostengünstig. Die Fabrikation von zwei- oder mehrlagigen Platten, die vor allem für komplexere Schaltungen in modernen Telekommunikationsgeräten eingesetzt werden, bedarf zusätzlicher Prozessschritte und einer verfeinerten Technik, was die Herstellungskosten unverhältnismässig in die Höhe treibt. Es erscheint deshalb angebracht, neue Fabrikationsverfahren zu suchen und zu erproben, um die Kosten der Leiterplattenherstellung für komplexere Schaltungen so klein wie möglich zu halten.

In anderen Elektronikbranchen verwendet man bereits die Polymerdickfilmtechnik (*Polymer Thick Film*, PTF) zur Leiterplattenherstellung. Diese Technik erlaubt die Herstellung der zweiten Leiterbahnebene durch gezieltes Aufbringen von leitendem Material auf das geätzte Leiterbild. Bei dieser Technik wird eine metallhaltige Paste mit einem Druckverfahren auf die Substratoberfläche aufgetragen. Durch eine anschliessende Wärmebehandlung wird die Paste in ein elektrisch leitendes Kunststoffmaterial überführt.

Ascom-Autophon schloss 1989 eine umfangreiche Untersuchung über ein Teilgebiet der Polymerdickfilmtechnik ab, mit dem Hauptziel, die Eignung der PTF-Technologie im Bereich der Telekommunikationsindustrie abzuklären. Dabei ging es einerseits um die Evaluation der notwendigen Herstellungsverfahren und andererseits um die Abklärung der physikalischen und chemischen Eigenschaften der neu einzusetzenden Materialien. Dank der firmeneigenen Produktion der Testmuster konnten

ausser den Ergebnissen zur Verträglichkeit mit den üblichen elektronischen Schaltungen und Langzeitstabilität der gedruckten Leiter auch Erfahrungen bezüglich Kosten und Umweltverträglichkeit gesammelt werden. Das Projekt wurde im Auftrag der Hauptabteilung Forschung und Entwicklung der Generaldirektion PTT im Rahmen der Zwischenbereichsforschung durchgeführt.

In der vorliegenden Zusammenfassung werden Musterherstellung und Testreihen beschrieben sowie die Ergebnisse der Untersuchung erläutert.

2 Polymerdickfilmtechnologie

Die konventionelle Fabrikation umfasst das fotolithografische Maskieren, Ätzen oder Deponieren von Kupfer sowie Reinigen, Schneiden, Bohren und Lackieren der Leiterplatten. Seit Jahren wurde an jedem einzelnen dieser Fertigungsschritte optimiert und rationalisiert. An ein direktes Ersetzen dieser gut entwickelten Technologie wird zurzeit nicht gedacht. Die Kosten einfacher Printplatten sind kaum zu unterbieten. Bei komplexeren Platten mit dichteren Bestückungen ergeben sich jedoch Überschneidungen und Kreuzungen verschiedener Leiterbahnen. Dieses Problem ist heute auf zwei verschiedene Arten zu behandeln. Man kann zwei- oder mehrlagige Platten verwenden und dafür die Frage der Verbindungen unter den einzelnen Leiterbahnebenen (Durchkontaktieren) zu lösen versuchen oder die nötigen Leiterbahnüberkreuzungen in Form von Drahtverbindern oder -brücken verwirklichen. Beide Verfahren verursachen bei der Herstellung oder bei der Bestückung der Platten Mehrkosten. Hier könnte eine neue Technologie zur Realisierung isolierter Leiterbahnbrücken eine kostengünstigere Lösung bringen. Dazu ist ein Herstellungsverfahren nötig, bei dem leitendes Material über eine Isolationsschicht von einer Leiterbahn zur andern deponiert werden kann, wobei mit der Isolation auch mehrere Leiter überbrückt werden können.

Ein weiterer Problemkreis ist die Herstellung flexibler Leiterfolien. Derartige Folien werden in modernen elektronischen Geräten vermehrt als Verbindungselemente zwischen einzelnen starren Leiterplatten eingesetzt. Sie ersetzen Kabelbäume oder Flachbandkabelstränge und dienen zudem noch als Träger einfacher Schaltungen. Nachteilig ist, dass die auf den flexiblen Trägern aufgetragenen Kupferfolien nicht spröde sein dürfen und deshalb gewalzt und aufgeklebt werden müssen. Für die Herstellung ergibt dies eine verhältnismässig teure Prozessfolge, die einem breiten Einsatz im Wege steht. Ein einfaches Verfahren, das ein direktes Auftragen der leitenden Bahnen auf eine Folie erlaubt, könnte der flexiblen Leiterplatte als kostengünstiges Verbindungselement zum Durchbruch verhelfen.

Ein bekanntes und erprobtes Herstellungsverfahren von Schaltungsträgern, bei dem Material lokal aufgetragen wird, ist die Dickfilmtechnologie. Durch Aufbringen von speziellen Pasten auf ein *keramisches Trägermaterial* wird das Leiterbild und ein Teil der Schaltungselemente direkt hergestellt. Dabei dienen verschiedenartige Pasten zum Bau von Leiterbahnen, Widerständen, Induktivitäten oder Kapazitäten. Als Applikationsmethode hat sich der Siebdruck durchgesetzt. Mit einem Einbrennprozess bei 800 °C, bei dem der organische Bestandteil der Paste ausgetrieben wird, erreicht man die notwendigen elektrischen und mechanischen Funktionswerte der gedruckten Strukturen.

Die Dickfilmtechnik kann aber nicht direkt in das Herstellungsverfahren von Leiterplatten einbezogen werden. Die verwendeten Dickfilmpasten müssten bei so hohen Temperaturen gebrannt werden, dass das normalerweise verwendete Epoxymaterial zerstört würde. Bei der Polymerdickfilmtechnik (PTF), die der Dickfilmtechnologie sehr ähnlich ist, werden neuartige Pastensysteme eingesetzt, die ihre Funktionswerte bei wesentlich tieferen Temperaturen erreichen. Der Einbrennprozess wird dabei durch einen Aushärteprozess ersetzt. Unter den angewandten Temperaturbedingungen (etwa 120 °C) wird nur das Lösungsmittel, nicht aber die übrigen organischen Bestandteile ausgetrieben. So bleibt ein leitendes Kunststoff- oder Polymermaterial und kein reines Metall als Struktur zurück. Diese Art Dickfilmtechnik erlaubt die Realisierung von Leiterbahnbrücken in Form von aufgedruckten Verbindungen aus leitender Paste, die durch einen Schutzlack von den darunter liegenden Kupferbahnen isoliert sind. Die Pasten können auch direkt auf einen flexiblen Träger aufgedruckt und ausgehärtet werden, was eine billige Herstellung von flexiblen Verbindungsfolien ermöglicht.

21 Polymerpasten

Die Pasten zur Herstellung von Leitern für die konventionelle Dickfilmtechnik bestehen aus Metall-Glas-Gemischen, die unter dem Einfluss der hohen Einbrenntemperaturen verschmelzen und leitend werden. Für eine «Niedertemperatur»-Dickfilmtechnik mussten deshalb neue Pastensysteme gesucht werden. Die heute verwendeten PTF-Pasten sind ein Gemisch von Polymer-Kunststoffen als Klebesubstanz, Pigmenten und Lösungsmitteln.

Für die Leiter werden als Pigment meistens feinste Metallpartikel aus Silber, Kupfer oder Nickel eingesetzt. Bei geringeren Anforderungen an die Leitfähigkeit oder für die Herstellung von Widerständen werden auch Graphit- oder Russpartikel zugegeben. Für Isolationsschichten eignen sich Aluminiumoxid, Chromoxid und Glimmer als Pigment. Bei einem PTF-Leiter liegen die spezifischen Widerstandswerte viel höher als bei einem reinen metallischen Leiter. Die einzelnen Pigmentpartikel werden während der Aushärtung nicht miteinander verschmolzen, sondern durch die Klebesubstanz zusammengehalten und kommen in Berührung. Der Grad dieser Berührung hängt stark von der Art und Grösse der Pigmente und den Eigenschaften des Klebers sowie vom Mischverhältnis zwischen beiden Bestandteilen ab.

Die Aufgaben des Polymerklebers sind es,

- einen mechanischen Zusammenhalt der einzelnen Pigmentpartikel zu gewährleisten, um den elektrischen Kontakt unter den Partikeln sicherzustellen
- die Haftung mit dem Trägermaterial herzustellen
- die Pigmentpartikel vor Umwelteinflüssen zu schützen.

Für starre Substrate setzt man eher duroplastische, also verhältnismässig feste und harte Polymere ein, während auf flexiblen Materialien die thermoplastischen, verformbaren Polymere zur Anwendung gelangen.

Ein Lösungsmittel ist notwendig, um die Ausgangsmaterialien zu binden und eine Flüssigkeit oder Paste zu erhalten. Die gezielte Beimengung des Lösungsmittels gestattet die Viskosität und den Benetzungsgrad mit der Substratoberfläche mit der Paste zu beeinflussen.

22 Verarbeitung der Pasten

Bei der Verarbeitung der Pasten müssen folgende Prozessschritte durchgeführt werden:

- lokal wohldefiniertes Aufbringen der Pasten auf das Substrat
- Aushärten der Pasten ohne Beeinflussung des Trägermaterials.

Für die Musterfertigung wurden die Pasten mit Siebdrucktechnik aufgebracht. Beim Siebdruck wird ein kunststoffbeschichtetes, feinmaschiges (25 µm), sehr dünnes Sieb als Klischee verwendet. Das Sieb wird vorgängig dort, wo eine Benetzung der Druckgutoberfläche gewünscht wird, mit einem fotolithographischen Prozess geöffnet. Während dem Druckprozess wird das Sieb auf die Oberfläche des Trägermaterials gespannt, einjustiert und mit Paste bestrichen. Ein Rakelmesser sorgt dafür, dass ein homogener Pastenfilm von ungefähr 15 µm...25 µm Dicke die gesamte Sieboberfläche überstreicht. Nach dem Abheben des Siebes bleibt nur dort Paste auf der Oberfläche zurück, wo die Löcher des Siebes geöffnet waren. Anschliessend wird das Druckgut für einige Minuten bei 80 °C getrocknet. Nach diesem Prozessschritt sind die Pigmente in der Paste immer noch dispergiert, das heisst der Berührungsgrad unter den einzelnen Partikeln ist klein. Der elektrische Widerstand eines Leiters ist deshalb noch etwa 20mal höher als im ausgehärteten Zustand. Ausgehärtet wird bei 120 °C...150 °C. Die Aushärtedauer hängt stark von

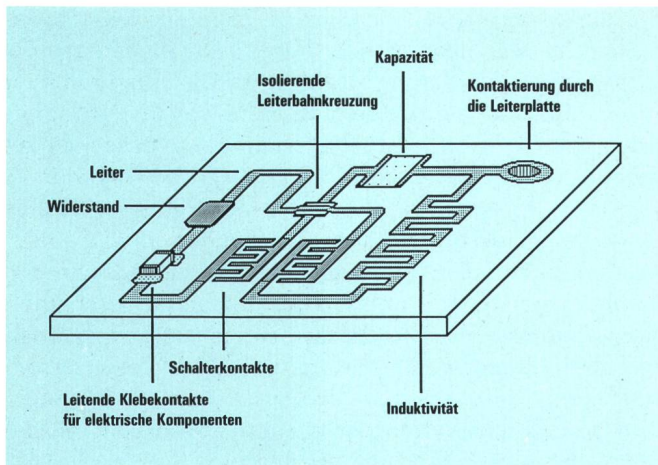


Fig. 1
Anwendungsmöglichkeiten der PTF-Technik

der Art der PTF-Pasten ab und erstreckt sich zwischen 1 Stunde und 8 Stunden. Während des Aushärtens der Paste nähern sich die Pigmente, womit die angestrebten elektrischen Eigenschaften erreicht werden.

23 Mögliche Anwendungen

Die PTF-Technologie als Mittel zur Herstellung von Leiterplatten wurde vor allem durch die Unterhaltungselektronikindustrie vorangetrieben. Das Ziel war der Ersatz des heutigen Plattenmaterials durch billigere, spritzbare Kunststoffmaterialien. Dank dem Einsatz von spritzbaren Kunststoffen hätte die Herstellung der gelochten Leiterplatte mit integrierten Steckerbuchsen, den notwendigen Distanzhaltern und weiteren Befestigungsteilen in einem einzigen Arbeitsgang möglich sein sollen. Auch hätten nicht nur ebene, sondern beliebig geformte, dreidimensionale Oberflächen, wie Gehäuseteile, als Leiterbahn- und Komponententräger verwendet werden sollen. Viele dieser Möglichkeiten können wegen den Anforderungen im Hochfrequenzbereich und der reduzierten Leitfähigkeit für bestimmte Anwendungen in der Telekommunikation noch nicht verwirklicht werden. Beschränkt man sich auf die heute schon absehbare Anwendung der PTF-Technologie, so sind folgende Lösungen denkbar (Fig. 1):

- PTF-Signalleiter an Stelle von Kupferleitern
- PTF-Widerstände an Stelle von einzeln zu bestückenden Komponenten
- PTF-Strukturen als Tastaturkontakt an Stelle eines Schalters
- PTF-Brücken zur isolierenden Überkreuzung von Kupferleitern an Stelle von Drahtbrücken
- PTF-Verbindungen zwischen Vor- und Rückseite einer zweiseitig verkupferten Leiterplatte an Stelle von galvanisch abgeschiedenen Kupfermetallisierungen
- elektrisch leitendes Kleben von Chip-Komponenten an Stelle der Lötverbindung.

Auch von diesen Anwendungen konnte sich bisher noch keine industriell richtig durchsetzen. Die Ursache liegt sicher bei den fehlenden Kenntnissen bezüglich der Her-

stellbarkeit, der physikalischen und chemischen Eigenschaften sowie des Langzeitverhaltens der verwendeten Materialien.

In dieser Untersuchung beschränkten sich die Autoren auf zwei spezifische Anwendungen. Einerseits untersuchten sie die Eigenschaften einer *konventionellen starren Leiterplatte* mit Kupferleiter, ergänzt mit PTF-Brücken aus *carbonhaltiger Polymerpaste*, andererseits wurde eine *flexible PTF-Leiterplatte* mit PTF-Tastaturkontakten und einer PTF-Steckerpartie mit *Silberpaste* hergestellt und getestet. Beide Anwendungen kommen aus dem Bereich der Telefonieendgeräte und können bei positiven Ergebnissen zu einer Reduktion der Herstellungskosten und Verdrahtungsfehler sowie zur Verbesserung der Qualität der Produkte führen.

3 PTF-Brücken

Die PTF-Technik bietet für die Verwirklichung isolierender Leiterbahnbrücken eine sehr interessante Lösung. Die geätzten Kupferleiter einer einseitig verkupferten Leiterplatte werden mit einem isolierenden Lack im Siebdruckverfahren abgedeckt. Dabei werden überall dort Öffnungen oder Fenster im Lack freigehalten, wo später zwei Kupferbahnen miteinander verbunden werden sollen oder sonst eine Kontaktierung nötig ist. Mit einem Andruck bei den Fenstern und dem Überdruck der Isolationsschicht mit einer PTF-Paste kann eine PTF-Leiterbahnbrücke, wie in *Figur 2* dargestellt, realisiert werden. Diese zwei Druckoperationen gestatten eine grosse Anzahl von Leiterbrücken gleichzeitig herzustellen. Zudem sind diese Brücken verhältnismässig dünn, so dass darüber noch Funktionselemente platziert werden können, was gegenüber der Lösung mit Draht- oder Widerstandsbrücken eine höhere Bauteildichte ermöglicht. Falls in Zukunft ausschliesslich oberflächenmontierbare Komponenten (*surface mounting devices, SMD*) anstelle der heutigen Bauelemente ein-

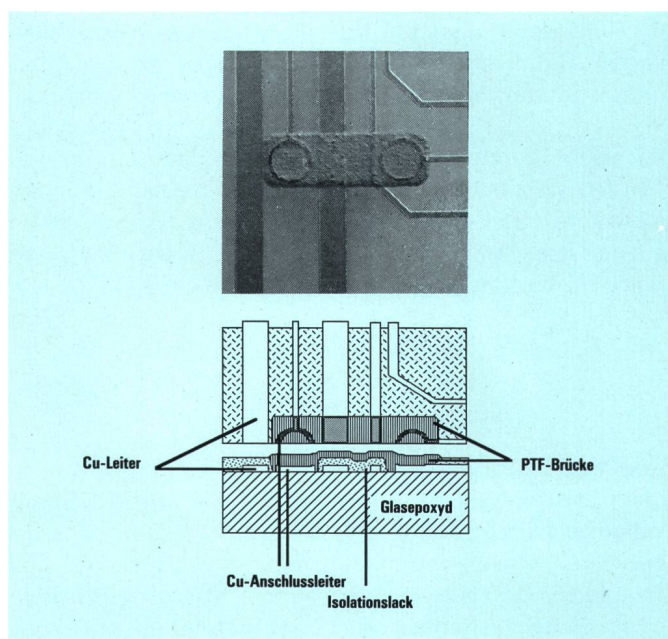


Fig. 2
Foto und schematische Aufsicht sowie Querschnitt einer PTF-Brücke aus Carbonpaste

gesetzt werden, könnte ein weiterer Vorteil ausgenutzt werden: Da SMD-Elemente keine Löcher für Anschlussdrähte benötigen und die PTF-Brückentechnik einseitig sehr dichte Leiterbahnordnungen erlaubt, kann auf das Bohren und Durchmetallisieren der Löcher bei gewissen Leiterplatten ganz verzichtet werden.

31 Herstellung der Testmuster mit PTF-Brücken

Mit den Untersuchungen sollte einerseits die Machbarkeit von PTF-Brücken ermittelt und andererseits deren Charakterisierung vorgenommen werden. Für die Testmuster wurden die Leiterbahnbrücken mit einer carbonhaltigen Paste auf eine konventionelle, starre Glasepoxyd-Leiterplatte mit Isolationsabdeckung gedruckt. Als Isolationsabdeckung wurden drei verschiedene, für solche Anwendungen übliche, Isolationslacke eingesetzt. Die Kontaktflächen der Anschlussleiter wurden vor dem Druckprozess entoxydiert. Bei allen 100 Mustern wurde der Isolationslack und die PTF-Paste in der Siebdrucktechnik aufgetragen und nach Anweisung des Lieferanten weiterverarbeitet.

311 Leiterwiderstand

In der Dickfilmindustrie wird eine Leiterpaste üblicherweise durch deren Flächenwiderstand in Ohm/Quadrat (Ω/\square) bezeichnet. Dieser Wert gibt den nominellen Flächenwiderstand des fertig verarbeiteten Leiters an. Nur selten wird der sonst übliche spezifische Widerstand ρ der ausgehärteten Paste verwendet. Der Flächenwiderstand in Ohm ergibt sich aus dem Widerstand eines Leiters mit quadratischen Abmessungen und einer standardisierten Schichtdicke von $25 \mu\text{m}$. Aus dem Flächenwiderstand lässt sich der Widerstand einer Leiterbahn mit Normdicke wie folgt berechnen:

$$R = R/\square \cdot \frac{L}{b}$$

- R Leiterwiderstand
- R/\square Flächenwiderstand
- L Länge des Leiters
- b Breite des Leiters

Tabelle I zeigt einen Vergleich zwischen den spezifischen Widerständen sowie den Flächenwiderständen der zwei für die Untersuchungen verwendeten Pasten und reinem metallischem Kupfer.

Bei den geprüften Mustern wurde eine Carbon-PTF-Brücke von 5 mm Länge und 2,5 mm Breite gewählt. Dies sollte einen theoretischen Leiterwiderstand von 100Ω ergeben.

Tabelle I. Vergleich verschiedener Eigenschaften

Grösse	Carbonpaste	Silberpaste	Metallisches Kupfer
Spezifischer Widerstand ρ [$\mu\Omega \cdot \text{cm}$]	$1,5 \dots 2,0 \cdot 10^5$	45...90	1,786
R/\square [Ω/\square]	~ 50	0,02...0,04	0,0008

32 Ergebnisse der Untersuchungen mit den PTF-Brücken

Beim Siebdruckprozess traten keine besonderen Probleme auf. Die Verwendung verschiedener Isolationslacke zeigte, dass dem Problem der Porenbildung im Lack grösste Beachtung geschenkt werden muss. Die Carbonpaste kann durch die Lackporen fließen und mit dem darunterliegenden Kupferleiter einen Kurzschluss verursachen. Die Haftung der Paste auf dem Kupfer in den Kontaktfenstern und auf dem Isolationslack kann als gut beurteilt werden. Keine der Temperatur- und Feuchtigkeitsbeanspruchungen bewirkten Risse oder Ablösungen. Der verwendete Isolationslack haftet ebenfalls sehr gut auf der Plattenoberfläche.

Die gemessenen Leiterwiderstände lagen mit $30 \Omega \dots 55 \Omega$ deutlich unter dem ursprünglich berechneten Wert von 100Ω . Als Ursache konnte die wesentlich höhere Schichtdicke der Carbonpaste ermittelt werden. Berechnet man von den erhaltenen Widerstandswerten den Normflächenwiderstand für die Standarddicke von $25 \mu\text{m}$, kommt man auf den angestrebten Wert von $50 \Omega/\square$. Das Abweichen der erreichten Widerstände vom berechneten Wert lag im vorliegenden Falle deshalb allein an der Kontrolle der Schichtdicke und nicht am Aushärteverfahren oder am Übergangswiderstand zwischen Metall und Paste.

Die Streuung der gemessenen Widerstandswerte liegt bei etwa $\pm 20 \%$ vom Mittelwert. Diese Toleranz ist etwas höher als die beobachteten Variationen der Pastendicke. Querschliffanalysen zeigten, dass kleine Blasen und Hohlräume in der PTF-Paste zu einer zusätzlichen Streuung beitragen.

Die klimatischen Auslagerungen ergaben, dass Wärmebeanspruchungen über lange Zeit (1000 h bei 125°C) oder Wärme- und Kälte-Schocktests die Leiterwiderstände bis zu 50% herabsetzen können. Dagegen wurde ein Anstieg des Leiterwiderstandes um ein Vielfaches bei einer Temperatur von 85°C und 85% relativer Feuchtigkeit beobachtet. Feuchtigkeitsbeanspruchung bei tieferen Temperaturen ($40^\circ\text{C}/95 \%$ r. F.) bewirkte keine wesentliche Veränderung. Mit einer zusätzlichen Schutzlackierung der PTF-Brücken kann die feuchtigkeitsbedingte Abweichung der Widerstandswerte auf etwa 20% begrenzt werden.

Lösungsmittel, die üblicherweise bei den Reinigungsprozessen in der Elektronikindustrie Verwendung finden, bewirken geringe und zudem reversible Veränderungen. Hingegen können kleinste Mengen Methylenchlorid Verschlechterungen bis zum Mehrfachen des ursprünglichen Wertes verursachen.

33 Folgerungen aus den Untersuchungen

Die Anwendung der kostengünstigen PTF-Technologie auf einlagigen Leiterplatten für Telefonendgeräte kann durchaus ins Auge gefasst werden. Jedoch ist zu berücksichtigen, dass eine Carbon-PTF-Brücke einen deutlich höheren elektrischen Widerstand aufweist als eine Kupferdrahtbrücke. Um reproduzierbare elektrische und mechanische Eigenschaften der PTF-Brücken zu erhalten, sind die Prozessschritte und Fertigungsparameter noch zu optimieren.

4 Flexible Verbindungsschaltungen mit PTF-Leiter, PTF-Tastatur- und Steckerkontakten

Anstelle der Einzelkabel-, Kabelbaum- und Wire-Wrap-Verdrahtungen fanden in den letzten Jahren zunehmend herausgeätzte Verdrahtungen auf flexiblem Basismaterial Anwendung. Sie stellen die elektrische Verbindung unter den einzelnen Baugruppen sowie andern Einheiten eines Gerätes her. Ihre Flexibilität gestattet eine optimale Anpassung an die räumlichen Gegebenheiten. Fehlverdrahtungen sind weitgehend ausgeschlossen. Weitere Vorteile solcher Verbindungen sind ihre hohe Zuverlässigkeit, Gewichts- und Platzeinsparungen sowie kürzere Installations- und Prüfzeiten.

Die PTF-Technologie erlaubt, auf das teure kupferkaschierte Basismaterial zu verzichten und eine Polyesterfolie als Trägermaterial zu verwenden. Auf diese Folie werden mit einer silberhaltigen Polymerpaste das Leiterbild sowie die Tastatur-, Stecker- oder Komponentenkontakte gedruckt. Als Druckverfahren eignet sich auch hier der Siebdruck. Der notwendige Schutzlack für die Silberleiter kann mit demselben Verfahren aufgebracht werden. Die Kontaktteile sind ebenfalls gedruckt und bestehen aus einem Silberpolymergemisch. Eine galvanische Vergoldung ist nicht mehr notwendig. Dies führt zu einer wesentlichen Kosteneinsparung. Solche flexible PTF-Verbinder weisen jedoch zwei negative Punkte auf. Erstens muss mit einem im Vergleich zu einer entsprechenden Kupferbahn erhöhten Leiterwiderstand des gedruckten Silberpolymerleiters gerechnet werden, und zweitens kann ein Polymersilberkontakt nicht direkt gelötet werden. Dem ersten Punkt kann beim Schaltungsentwurf und bei der Leiterbahnauslegung weitgehend entgegengewirkt werden. Der zweite erweist sich als wesentlich einschneidender. So wird in der konventionellen Verdrahtung die Kabelverbindung an eine Steckerleiste oder direkt auf die Leiterplatte verlötet. Vorschläge, die Kontaktierung des flexiblen Verbinders durch reines mechanisches Andrücken auf die Plattenoberfläche oder Einklemmen in eine Steckerleiste herzustellen, erwiesen sich als zu wenig zuverlässig, zu verletzbar oder zu teuer. Die Untersuchungen ergaben, dass sich eine Crimpkontaktierung am besten eignet. Bei dieser Technik wird eine Reihe von lötbaren Steckstiften gegen die gedruckte Silberpolymerkontaktleiste gepresst. Jeder einzelne Stift ist mit mehreren zugespitzten Zungen versehen, die die Polyesterfolie durchdringen. Das Zusammenpressen und Verformen der Zungen auf der Folienrückseite gewährleistet die mechanische Stabilität der Steckerstifte.

41 Musterherstellung von flexiblen Verbindungsschaltungen

Die flexiblen Verbindungsschaltungen (Fig. 3) wurden auf einem wärmostabilisierten Polyesterträgermaterial mit einer Dicke von 0,10 mm...0,15 mm verwirklicht. Der Träger wurde mit einer 25- μ m-dicken Silberleitpaste mit einem Flächenwiderstand von 20 m Ω /□...40 m Ω /□ in Siebdrucktechnik bedruckt. Ein Lack diente als Schutz für die Silberleiter gegen chemische und mechanische Einwirkungen sowie gegen die Silbermigration. Die Untersuchungen gestatteten, mehrere Schutzlacke auf ihre

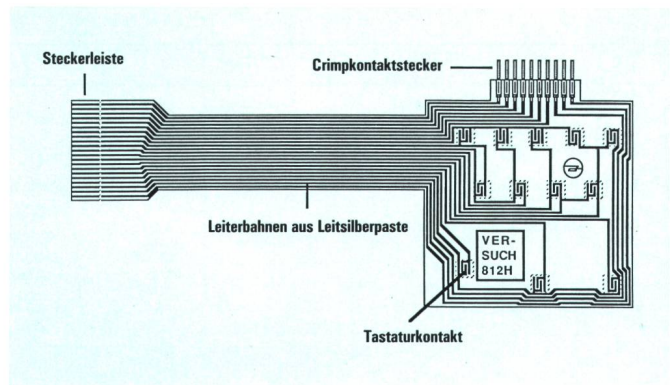


Fig. 3 Testmuster des flexiblen Verbindungssteckers

Eignung zu testen. Sämtliche Druckparameter wurden nach Anweisungen der Pasten- und Lacklieferanten eingestellt, und die Versuche erstreckten sich auf total 150 Testmuster.

42 Ergebnisse der Untersuchungen an den flexiblen Verbindungsschaltungen

Eine detaillierte Wiedergabe der umfangreichen Prüfergebnisse ist im Rahmen dieses Berichtes nicht möglich, weshalb nur die wichtigsten Ergebnisse in geraffter Form zusammengefasst sind. Die Untersuchungsmethoden lehnen sich alle an folgende internationale Prüfnormen an:

- Gitterschnitt 1 mm, nach DIN 53151
- Bleistifhärte, nach DIN 46453
- Wärme-, Kälte- und Feuchtelagerung nach IEC 68-2-...
- Strombelastung nach IEC 326
- Silbermigration nach IEC 68-2-3
- chemische Resistenz nach IPC-TF 870.

Die mechanische Haftung der Silberpaste auf der Polyesteroberfläche kann als gut bezeichnet werden. Die Folie kann ohne merkliche Veränderungen der elektrischen Eigenschaften mehr als 500mal hin- und hergebogen werden. Knickungen sollten aber peinlichst vermieden werden. Die bis 56 Tage dauernden Wärme- und Feuchtigkeitlauslagerungen verursachten bei den Schaltungen keine Beschädigungen.

Die gemessene mittlere Dicke der Silberpolymerleiter beträgt 20 μ m. Die erhaltenen Flächenwiderstände der Silberleiter liegen bei 22 m Ω /□...26 m Ω /□. Die Strombelastung entspricht etwa 0,5 A je Millimeter Leiterbreite, also etwa ein Fünftel der Strombelastbarkeit von Kupfer. Solange keine direkte Betauung der Polyesterfolienoberfläche auftritt, kann mit einer Spannungsfestigkeit von 125 V je Millimeter Leiterabstand gerechnet werden.

Die mit der Silberpaste hergestellten Tastaturkontakte können, wie die entsprechenden Carbon-Kontakte auf den starren Leiterplatten, bis zu 10⁶ Schaltzyklen mit Graphitleitpillen schadlos überstehen. Die mittleren Kontaktwiderstände liegen bei 35 m Ω ...55 m Ω und wiesen nach verschiedensten Beanspruchungen ein stabiles Verhalten auf.

Die Leiteranschlüsse dieser Verbindungsschaltungen, das heisst die Kontaktleisten mit Crimpsteckern, wurden

denselben Beanspruchungen unterworfen. Bei den Crimpverbindungen wurden Kontaktwiderstände von 55 mΩ...105 mΩ gemessen. Die Feuchte-, Wärme- und Temperaturschocktests hatten keinen Einfluss auf den Streubereich. Einzig beim Vibrationstest (10 Hz...500 Hz, 10 g) erhöhte sich der Kontaktwiderstand bei einem von 10 Mustern auf 490 mΩ. Die genaue Ursache dieser Verschlechterung konnte nicht ermittelt werden.

43 Folgerungen aus den Untersuchungen

Die geprüften flexiblen Verbindungsschaltungen zeigten bei den Untersuchungen keine Mängel. Solche Schaltungen sind als Ersatz für Flachbandkabel oder Flexverbindungen in Telefonieendgeräten geeignet. Die erhöhten Leiter- und Kontaktwiderstände gegenüber Kupfer sind beim Schaltungsentwurf zu berücksichtigen. Sofern das Produkt keinen Vibrationsbeanspruchungen unterworfen ist, kann als Kontaktsystem eine Crimpverbindung empfohlen werden.

5 Schlussbetrachtungen

Obschon einige Anwendungen der Polymerdickfilmtchnik seit längerer Zeit bekannt sind, ist sie für die Hersteller von Telefonieendgeräten neu.

Die Untersuchungen zeigen, dass diese Technologie den gestellten Anforderungen entspricht. Die Reduktion der Anzahl Prozessschritte und der Einsatz einfacher Basiswerkstoffe lassen Verbesserungen in der Fertigungsqualität erwarten. Zudem können einseitige, dichtere Leiterplatten verwirklicht werden, was zu einer zusätzlichen Senkung der Herstellungskosten führen wird. Es sind Preisreduktionen bei den Herstellungskosten für Halbfabrikate bis zu 50 % zu erwarten, was, auf die Verkaufspreise des Fertigproduktes übertragen, eine Senkung bis zu 3 % ergeben kann.

Ein Durchbruch dieses Verfahrens hängt im wesentlichen von der Möglichkeit ab, die verminderte Leitfähigkeit der PTF-Leiter bei der Schaltungsauslegung zu berücksichtigen. Diese Technologie kann demzufolge nicht einfach direkt in konventionell aufgebaute Geräte eingesetzt werden. Es ist unerlässlich, dass die veränderten Bedingungen für den Schaltungsaufbau schon bei der Produkteentwicklung berücksichtigt werden. Es werden auch neue Prozesse benötigt, die noch zur Fertigungsreife entwickelt und optimiert werden müssen.

Die Erfahrungen zeigen, dass es sich lohnt, die PTF-Technologie intensiv weiter zu verfolgen. Es bleibt abzuklären, ob sich dieses Herstellungsverfahren nicht auch für weitere Anwendungen eignet und zu Verbesserungen und Verbilligung der Produkte führen könnte.

**Die nächste Nummer bringt unter anderem
Vous pourrez lire dans le prochain numéro**

4/89

Vital J.-D.	Grundwasserabdichtung beim neuen ERZ-Gebäude
Maurer F.	Service de test de protocoles de messagerie électronique X.400
Joos K.	Untersuchung über mögliche Einflüsse hochfrequenter elektromagnetischer Wellen auf den Wald Examen des influences possibles d'ondes électromagnétiques sur la forêt
Pitteloud J.	Le breuvage du verre à vin OSI
Denzler V.	Gegenseitige Störeinflüsse zwischen terrestrischem Richtfunk und Satellitenfunk
