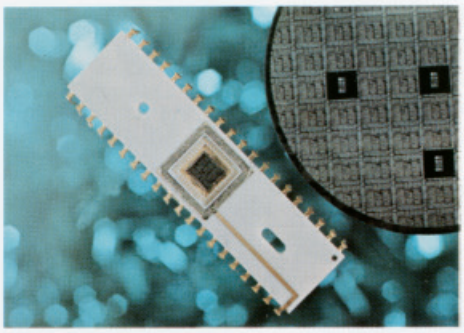
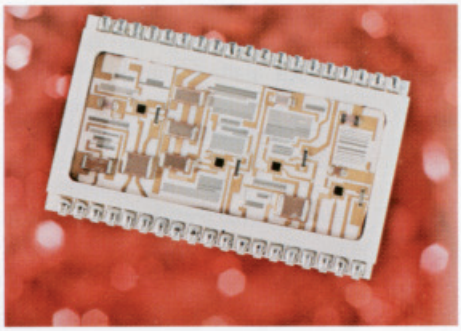
BBC
BROWN BOVERI

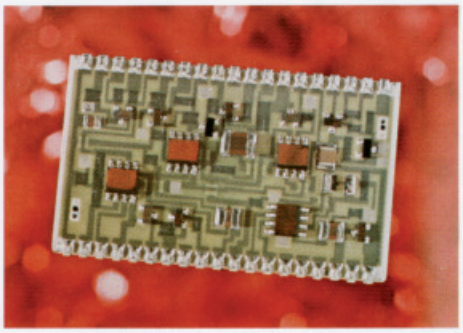
Neue Technologien in modernen Funkgeräten

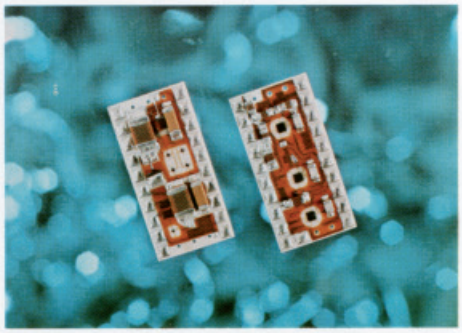
H. Tiesnes

Überreicht von: LEWICKI Microelectronic









Bilder: BBC, MBB, Philips, SEL, Storno

Neue Technologien in modernen Funkgeräten

M. Tiesnes*

Moderne Geräte der Nachrichtentechnik sind auf allen Gebieten der Kommunikation weitgehend verbreitet. Beginnend mit dem einfachen Transistorradio über Television, kommerzielle Funkdienste bis zu weltweiten Satellitennetzen für Telephon, Telegraph, Fernsehen, Datenerfassung und Datenaustausch beherrschen Nachrichtengeräte einen großen Teil unseres privaten, geschäftlichen und politischen Lebens. Aus dem umfangreichen Kreis der aktuellen Themen wird nachstehend das Gebiet der mobilen Funkgeräte unter dem besonderen Aspekt ihrer Technik in der näheren und ferneren Zukunft behandelt.

Militär, Polizei, Sanitätsdienste, Pannenhilfen, aber auch Handel und Gewerbe sind ohne tragbare oder in Fahrzeuge montierte Funkgeräte heute nicht mehr denkbar. Die Anforderungen, die der Benützer an sein mobiles Funkgerät stellt, sind vielschichtig. Zuverlässigkeit unter allen Einsatzbedingungen steht dabei sicher an erster Stelle, aber auch Volumen, Gewicht und Stromverbrauch sind besonders bei tragbaren Geräten ebenfalls wichtige Kriterien. Dem absolut perfekten Erfüllen aller Vorstellungen und Wünsche stehen jedoch Aspekte der Wirtschaftlichkeit, also die Herstellungskosten gegenüber. Für Raumfahrtqualität mit der höchsten heute erreichbaren Zuverlässigkeit ist ein hoher Preis zu zahlen, der für Produkte des Funkgerätemarktes prohibitiv wäre.

Hingegen ist unbestritten, daß zukünftige Nachrichtengeräte von den Erkenntnissen und Technologien der Raumfahrt- und Satellitentechnik profitieren werden. Es ist überwiegend eine Frage des Kosten/Nutzen-Verhältnisses, wann und in welche Gerätekategorien neue Herstellungsverfahren ihren Einzug halten werden.

Moderne Technologien

Bei dem Entwurf eines neuen Funkgerätes sind eine Reihe von Forderungen und Wünschen gegenüber den Realitäten hinsichtlich Preis und Marktsituation abzuwägen. Nachfolgend werden eine Anzahl Erfordernisse (ohne Anspruch auf Vollständigkeit) aufgeführt und den heutigen und zukünftigen technischen Realisierungsmöglichkeiten gegenübergestellt.

Miniaturisierung

Tragbare und für Fahrzeugmontage vorgesehene Funkgeräte sind im Laufe ihrer Entwicklung in den äußeren Abmessungen erheblich verkleinert worden, und das Bestreben, besonders bei der erstgenannten Kategorie, richtet sich weiterhin auf kleinere Volumen.

Der naheliegende und oft praktizierte Weg dahin besteht in einem maßstäblichen Verkleinern aller Komponenten und Leiterplatten. Es lassen sich auf diese Art bemerkenswerte Erfolge in der Miniaturisierung erzielen. Die Nachteile dabei dürfen jedoch nicht übersehen werden: miniaturisierte Komponenten, wie Kondensatoren, Widerstände und Halbleiter, sind in der Regel teurer als in «Normalgröße». Ihre Zuverlässigkeit und die Qualitätsgarantien sind reduziert. Weiterhin stellt der Feinstdruck eines Leitermusters auf Printplatten infolge schmälerer Leiterbreite und kleinerem Leiterabstand die Fertigung und das Prüffeld vor neue Probleme. Montage und Tauchlöten miniaturisierter Prints ist schwierig und fehleranfällig. Schon vorhandene Einrichtungen für das automatische Bestücken und Fließbandlöten sind oft für kleinste Leiterplatten nicht geeignet.

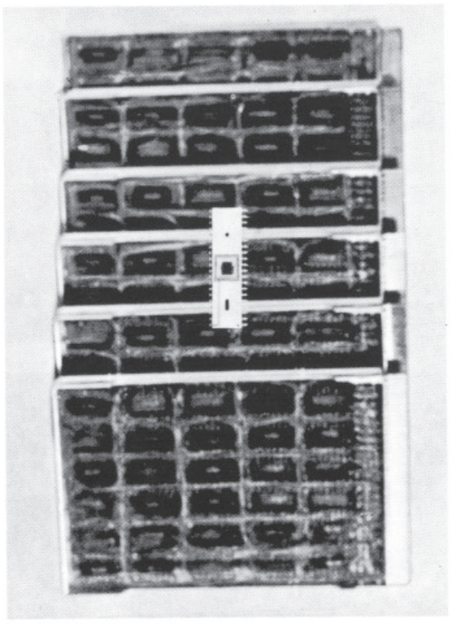


Bild 1. Größenvergleich zwischen einem digitalen System mit LSI (im Vordergrund) und konventioneller Bauweise (Printplatten im Hintergrund). (Alle Bilder BBC Aktiengesellschaft Brown, Boveri & Cie, CH-5401 Baden)

Man kann generell feststellen, daß Miniaturisierung allein durch Maßstabreduzierung bei sonst unveränderter Verarbeitungstechnik in eine Sackgasse führt, auch wenn gelegentlich das damit angestrebte Ziel schnell erreicht wird. Auch in bezug auf Stromkonsum läßt sich damit nicht viel gewinnen. Es bleibt nur den Fähigkeiten des Entwicklers überlassen, durch geschicktes Auslegen der Schaltung Möglichkeiten zur Leistungsersparnis herauszuarbeiten.

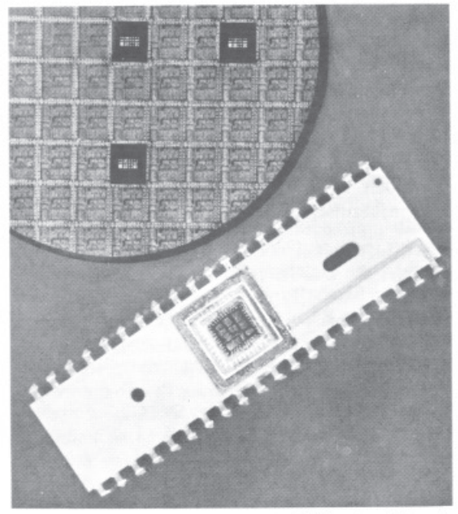


Bild 2. Hochintegrierter Schaltkreis, Größe etwa 22 mm². Chips auf der Scheibe (oben) und verpackt (unten) im 40poligen Keramikgehäuse.

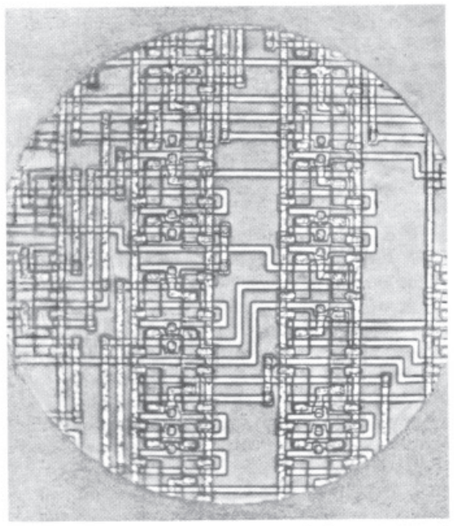


Bild 3. Ausschnittvergrößerung des LSI-Chips in Bild 2.

Um alle wichtigen Aspekte, wie Miniaturisierung, Zuverlässigkeit und Stromkonsum, gleichermaßen berücksichtigen zu können, stehen für zukünftige Nachrichtengeräte zwei fortschrittliche Technologien zur Verfügung: die monolithische Integration und die Hybridtechnik. Beide haben noch Nebenzweige, und auch der Uebergang von einer Technologie zur anderen kann fließend sein.

Monolithische Großintegration

Darunter versteht man im weitesten Sinne das Zusammenfassen sehr vieler Halbleiter auf einem gemeinsamen Substrat. Die Elemente sind aber nicht als eine ungeordnete Ansammlung zu betrachten, sondern sie bilden mit den ebenfalls integrierten Verbindungsleitungen funktionsfähige Systeme. Der Herstellungsprozeß entspricht etwa dem eines Transistors mit dem Unterschied, daß durch eine Folge von Prozeßschritten statt eines einzelnen Transistors gleichzeitig einige 1000 oder mehr Elemente mit ihren internen Verbindungen

* Dipl. Ing., Projektleiter für militärische Entwicklung, BBC Aktiengesellschaft Brown, Boveri & Cie, Baden.

entstehen. Mit dieser Form der Miniaturisierung erzielt man heute die besten Resultate. Bild 1 zeigt an einem Beispiel der Praxis das Maß an Volumenersparnis. Der im Vordergrund abgebildete Schaltkreis erfüllt die gleichen Aufgaben wie die mit Standard-TTL-Bausteinen bestückten Printplatten in klassischer Bauweise.

Bei der Großintegration sind zwei Arten von Schaltkreisen zu unterscheiden: die linearen integrierten Schaltkreise und die digitalen Schaltkreise. Digitale Schaltkreise kennen nur zwei Pegelzustände am Eingang und Ausgang; «hoch» und «tief», die in bezug auf Größe und Vorzeichen in einem System fest vorgegeben sind. Im Gegensatz dazu verarbeiten lineare integrierte Schaltungen (IC) Gleich- oder Wechselspannungen unterschiedlicher Größe und Frequenz. Gemeinsame Kennzeichen der linearen und digitalen Großschaltkreise sind hohe Produktionsstückzahlen für eine rentable Fabrikation, da die Entwicklung und die maschinellen Einrichtungen teuer sind.

Hauptkunden für lineare Schaltkreise sind Gerätehersteller des Verbrauchermarktes. Für MW- und UKW-Radios, Stereodecoder, Tonbandgeräte, Funktionsblöcke von Fernsehgeräten, um nur einige Beispiele zu nennen, steht eine vielseitige Palette der verschiedensten Schaltkreise bereit. Entgegen früheren Voraussagen hat auf diesem Fachgebiet der hochintegrierte lineare Schaltkreis anderen Technologien (beispielsweise Hybridtechnik) den Rang abgelaufen. Auch in kommerziellen Funkgeräten verwendet man, sofern es technisch vertretbar ist, diese linearen IC, die durch Mengenfabrikation zu einem sehr günstigen Preis erhältlich sind. «Maßgeschneiderte» IC als Sonderanfertigung hingegen werden aus Kostengründen sehr selten verwendet.

Während katalogmäßige lineare Großschaltkreise noch für einen größeren Markt wie etwa den gesamten Unterhaltungssektor als Standardbausteine Einsatz finden, sind hochintegrierte digitale Schaltungen meist kundenspezifisch. Ein gutes Beispiel dafür ist der heute weitverbreitete Taschenrechner in seiner Mannigfaltigkeit. Die dafür speziell entwickelten IC können nur für die vorgesehene Aufgabe eingesetzt werden, eine «Zweckentfremdung» für andere Geräte oder Funktionen ist nicht möglich. Darum werden spezifische Aufgaben auf dem Digitalsektor in der Regel durch Zusammensetzen von Standardelementen bekannter Schaltkreisfamilien (TTL, CMOS) gelöst.

Obwohl diese Familien relativ viele Bausteine von beachtlichem Integrationsgrad aufweisen, zählt man sie noch nicht zu den sogenannten hochintegrierten Schaltkreisen, auch LSI genannt (= Large Scale Integration). Bei komplexen Funktionen erhält der Konstrukteur bei dieser Technik noch recht voluminöse Baugruppen in Form von dichtbestückten Prints mit einigen 100 Standardbausteinen.

Der Anteil von Digitalschaltungen in tragbaren Funkgeräten ist heute noch bescheiden. Aber die Wünsche des Kunden, der nicht zuletzt durch die erstaunliche Leistungsfähigkeit der zitierten Taschenrechner verwöhnt ist, zielen in zunehmendem Maße auf komplexe Intelligenzfunktionen, wie Synthesizer zur Frequenzwahl, Möglichkeiten der Sprachverschlüsselung zwecks Abhörsicherheit, Bedienungserleichterungen durch Automatik usw. Diese Forderungen lassen sich meist nur durch größere digitale Systeme innerhalb des Funkgerätes realisieren. Sofern es sich um einfache Schaltungen handelt und der verfügbare Platz keine Einschränkungen auferlegt, wird man in klassischer Bauweise mit Standard-IC die Probleme lösen können. Umfangreiche Systeme, die zudem noch in tragbaren Funkgeräten Platz finden sollen, verlangen nach einem hochintegrierten kundenspezifischen Schaltkreis.

Nur wenige Gerätehersteller sind aber auch gleichzeitig Halbleiterfabrikanten mit entsprechenden Beschaffungsmöglichkeiten im eigenen Haus. In der Regel wird der Geräteentwickler mit einem auswärtigen IC-Hersteller zusammenarbeiten und die gemeinsame Entwicklung eines LSI-Bausteines vereinbaren. Für die Praxis gibt es zwei Möglichkeiten des Vorgehens: Der Geräteentwickler gibt ein Schaltbild seines Systems ab und überläßt die Entwurfsarbeiten bis zum fertigen Produkt dem Halbleiterhersteller. Dieser Weg ist sinnvoll, wenn die Schaltung nicht sehr komplex ist und die Design-Abteilung des IC-Fabrikanten den Auftrag in ihre Kapazität aufnehmen kann. Meistens ist aber gerade diese Prozeßstufe ein enger Flaschenhals, weil der Layoutvorgang trotz weitgehender Computerhilfe sehr zeitraubend ist.

Bei der zweiten Lösung für einen LSI-Design wird der Layout weitgehend dem Geräteentwickler überlassen. Der Halbleiterhersteller interessiert sich nicht mehr für das System und das elektrische Schaltbild, sondern beschränkt sich auf seine eigentliche Aufgabe, nämlich die Produktion von integrierten Schaltkreisen. Für eine erfolgreiche Zusammenarbeit auf dieser Basis müssen beide Partner eine Reihe von Voraussetzungen schaffen. Zuerst sind die Regeln, nach denen der Entwurf des Chips zu erfolgen hat, exakt zu definieren. Weiterhin müssen dem Entwickler Computer und die geeigneten Programme zur Verfügung stehen, denn bei mehreren 1000 Transistoren und Verbindungsleitungen pro Chip ist ein irrtumfreier Layout «von Hand» absolut unmöglich. Nur durch ein intensives «Gespräch» zwischen Entwickler und Computer kann ein hochintegrierter Schaltkreis mit Erfolg entworfen werden.

Für den Schaltungsentwickler erweitert sich bei diesem Vorgehen der Aufgabenbereich erheblich. Sein digitales System muß absolut fehlerfrei sein, denn nachträgliche Schaltungsänderungen, wie sie beim herkömmlichen Aufbau etwa durch Austausch von Bausteinen oder Verlegung von Leiterbahnen noch möglich wären, verbieten sich bei einem LSI-Chip, weil sie mit den vollen Kosten eines Neuentwurfes verbunden sind, die je nach Komplexität zwischen Fr. 20 000.— und Fr. 50 000.— liegen können. Unerläßlich ist daher das Verifizieren des Systems durch Simulation auf dem Computer. Auch die weiteren Schritte, wie das Plazieren der Transistoren und das Herstellen der Verbindungsleitungen, erfolgen weitgehend unter Computereinsatz und Assistenz von Fachleuten des Halbleiterherstellers. Die Uebergabestelle zwischen den Partnern ist meist der Abruf der im Rechner gespeicherten Informationen für den Maskenlayout. Danach durchläuft das gemeinsame Projekt die diversen Herstellungsschritte, wie Maskenfabrikation, photographische Prozesse, Diffusion, Testen und Verpacken. Ständiges gegenseitiges Unterstützen ist für einen reibungslosen Ablauf unabdingbar.

Bild 2 zeigt einen LSI-Schaltkreis, der auf die beschriebene Art entstanden ist. Es handelt sich dabei um eine komplementäre MOS-Logik. Der Chip hat eine Größe von etwa 22 mm² und umfaßt 900 Tor-Funktionen. Bild 3 zeigt eine Ausschnittvergrößerung dieses LSI. Mit der beschriebenen Technologie lassen sich erstaunliche Erfolge in bezug auf Miniaturisierung, Zuverlässigkeit und Stromverbrauch erzielen. Es darf aber auch nicht übersehen werden, daß diese technischen Leistungen mit erheblichen Initialkosten verbunden sind, die durch entsprechende Produktionsstückzahlen amortisiert werden müssen.

Hybridtechnik

Nicht alle zu miniaturisierenden Schaltungen eines modernen, tragbaren Funkgerätes sind von digitaler Art. Speziell im Hochfrequenzteil überwiegen Verstärker und ähnliche Schaltungen. Bei diesen Schaltungen ist der Anteil an Transistoren klein, gemessen an der Zahl der passiven Komponenten, wie Widerstände, Kondensatoren, Spulen und Drosseln. Hier bietet die Dickschichttechnologie einen vorteilhaften Weg zu kleineren Volumen und erhöhter Zuverlässigkeit. Man kann sie generell als Weiterentwicklung der bewährten Printtechnik bezeichnen.

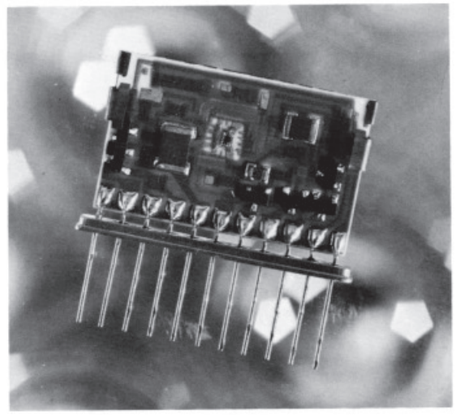


Bild 5. Dickschichthybridschaltung 0,5×1 Zoll, bestückt mit einem unverpackten Halbleiterchip, der durch wirebonding mit dem Substrat verbunden ist.

Für Dickschichtschaltungen verwendet man ein Keramikblättchen als Trägersubstrat, auf das die Widerstände, Leiterbahnen und gelegentlich auch Kondensatoren mittels Siebdruck aufgebracht und danach eingebrannt werden. Nicht druckbare, passive und aktive Komponenten (Halbleiter, Kondensatoren, Spulen) verbindet man mit dem Substrat und den Leiterbahnen durch einen Lötprozeß. Es ist selbstverständlich, daß diese Komponenten in einer adäquaten miniaturisierten Form vorliegen müssen.

Der große Vorteil dieser Schaltungsform sind die niedrigen Initialkosten und die Flexibilität bei allfälligen Aenderungen. Bild 4 zeigt eine Dickschichtschaltung von der Größe 1 × 2 Zoll. Die Halbleiter sind in Miniaturplastikgehäusen verkapselt, die Kondensatoren in Chip-Form aufgebracht. Als Schutz gegen Umwelteinflüsse werden Dickschichtschaltungen noch verschlossen, etwa durch einen aufgeklebten Keramikdeckel oder ein hermetisch verlötetes Metallgehäuse. Wie aus Bild 4 ersichtlich ist, beanspruchen die Halbleiter trotz Miniaturgehäuse relativ viel Platz auf dem Substrat. Den Miniaturisierungsgrad kann man weiter erhöhen durch Einbau von Halbleiterchips ohne Verpackung, wie das ein Beispiel in Bild 5 zeigt. Hier erfolgt das Kontaktieren zwischen Leiterbahnen und Chip mittels dünner Golddrähte

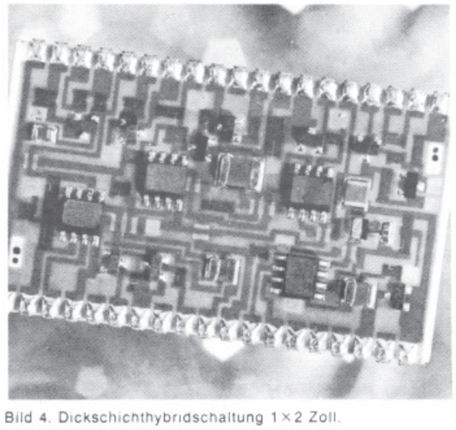


Bild 4. Dickschichthybridschaltung 1×2 Zoll.

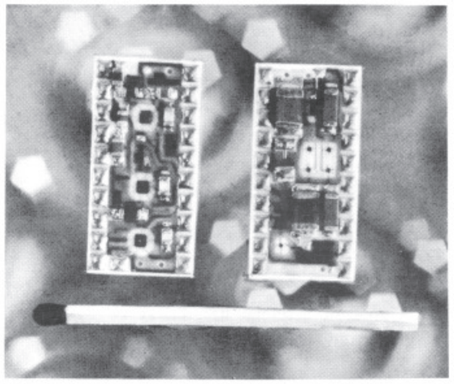


Bild 6. Dickschichthybridschaltung 0,5×1 Zoll («Spacepack», Fa. LEWICKI), bestückt mit «beam-lead»-Halbleitern. 1 Transistor, 4 Dioden, 3 Operationsverstärker.

(wire bonding). Nachteilig bei diesem Vorgehen ist die sehr lohnintensive Verbindungstechnik.

Rationeller arbeitet man mit sogenannten «beam-lead-Chips». Es handelt sich dabei um Halbleiter, die schon vom Fabrikationsprozeß her mit Anschlußbändchen aus Gold versehen sind und deren Montage innert Sekunden mit einem speziellen Schweißwerkzeug erfolgt. Bild 6 zeigt eine Dickschichtschaltung, bestückt mit «beam-leads» (Fa. LEWICKI Microelectronic).

Hybridschaltungen mit gedruckten und eingebrannten Widerständen decken einen großen Teil des anfallenden Bedarfes. Es gibt jedoch Anwendungsfälle, in denen die Genauigkeit und Stabilität des Dickschichtwiderstandes nicht ausreicht. Ein Beispiel dafür sind aktive Filter. Um voluminöse Spulen in NF-Filtern zu eliminieren, verwendet man oft Filterschaltungen, in denen ein Verstärker mit RC-Kombination die Induktivität ersetzt. Die erforderliche Präzision der Widerstände (etwa 0,1 %) erreicht man durch die Dünnfilmtechnologie. Auch hier geht man von einem Keramiksubstrat aus. Die Widerstände werden als dünner Metallfilm aufgedampft und durch einen nachfolgenden Photo- und Aetzprozeß in eine durch den Widerstandswert bestimmte Mäanderform gebracht. Der Feinabgleich erfolgt dann

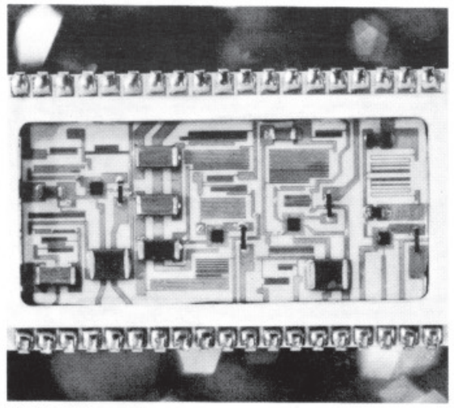


Bild 7. Aktives Filter 0,3 bis 3,4 kHz in Dünnfilmtechnologie mit «beam-lead»-Operationsverstärker, Größe 1×2 Zoll.

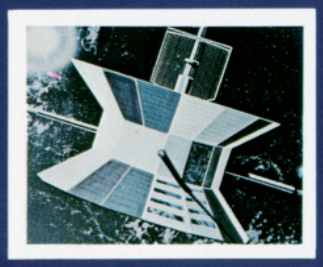
mittels Laserstrahl. Bild 7 zeigt ein 8poliges, aktives Filter in Dünnschichttechnologie. Die aktiven Elemente (Operationsverstärker) sind in «beam-lead»-Technik aufgebracht, die Kondensatoren des Filters kann man entweder auflöten oder durch leitfähiges Verkleben mit dem Substrat verbinden.

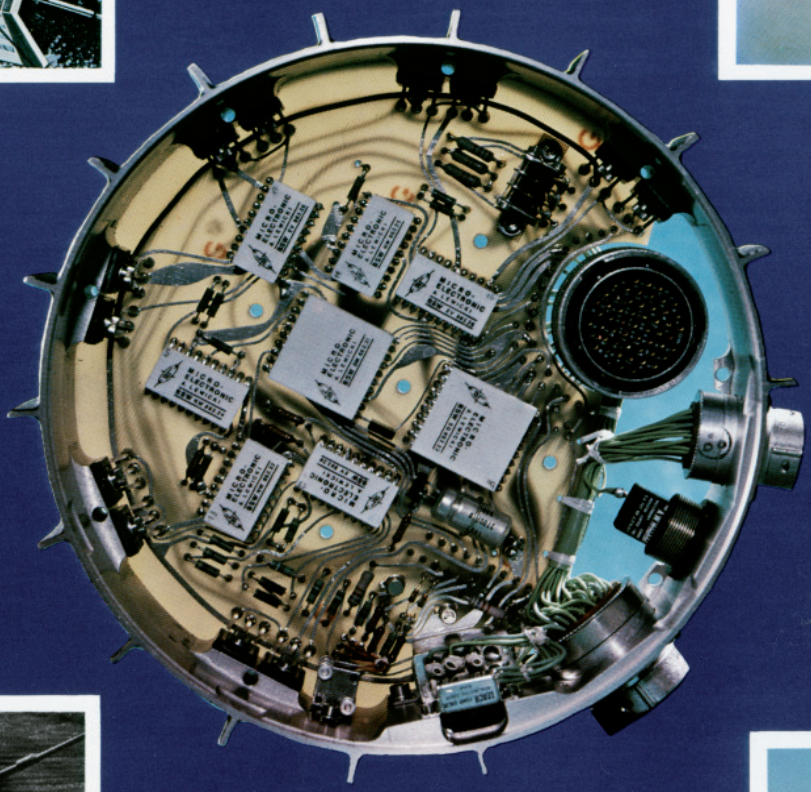
Zusammenfassung

Moderne Funkgeräte können mit Hilfe der geschilderten Technologie in ihren äußeren Abmessungen erheblich verkleinert werden bei gleichzeitig verbesserter Zuverlässigkeit und Lebensdauer. Zum gegenwärtigen Zeitpunkt sind diese Verfahren noch recht kostspielig, aber der Uebergang vollzieht sich bereits schrittweise. Da sie maschinelle Produktion anstelle teurer Handarbeit ermöglichen, werden diese Technologien nach dem allgemeinen Einführen bei zukünftigen Gerätegenerationen nicht nur einen Qualitätsfortschritt, sondern auch preisliche Vorteile bieten.

Mit freundlicher Genehmigung der Fa.
BBC Aktiengesellschaft Brown, Boveri & Cie.
CH-5401 Baden/Schweiz

Geschäftsbereich E





LEWICKI Microelectronic

- at your service
à votre service
für Sie bereit

day and night

D 7931 Oberdischingen bei Ulm
Allee,
Postfach 20
Telefon 0 73 05 / 65 88 - 55 88
Telex 07 12355 lewd

Gedruckt in der Schweiz (7605-1500-1) + West Germany
Klassifikations-Nr. 071203
SYSTEM SD 8052 Moosburg/Isar