Zeitschrift: Bulletin des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins

Herausgeber: Schweizerischer Elektrotechnischer Verein ; Verband Schweizerischer Elektrizitätswerke

Band: 55 (1964)

Heft: 16

Artikel: Miniaturisierung elektronischer Schaltungen mit Einzelbauelementen

Autor: Assmann, E.

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-916763

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. 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. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Mehr erfahren

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. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. En savoir plus

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. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. Find out more

Download PDF: 10.07.2025

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

des Papierstreifens taucht in die zu untersuchende Lösung, welche gleichzeitig Elektrode ist. Das Streifenende wird an der zweiten Elektrode angebracht. Sobald der Strom fliesst, beginnen die Eiweissmoleküle im Fliesspapier aufzusteigen. Das Resultat der oft über Stunden sich hinziehenden Eiweisselektrophorese ist eine Separierung der verschiedenen Eiweissgruppen, ersichtlich am horizontalen Streifen, einem Spektrum ähnlich. Durch Einfärben mit Farbstoffen wird der Kontrast dieses Molekularspektrums wesentlich erhöht. Dank dieser Methode ist es möglich, die in Körperflüssigkeiten vorhandenen Eiweißstoffe zu analysieren.

Eine weitere originelle Messmethode ist die *drahtlose Fernübertragung des peristaltischen Druckes,* sowie der Wasserstoffionenkonzentration im Magen-Darm-Trakt. Der Patient verschluckt eine kleine Kapsel, die einen transistorisierten Sender enthält. Der Sender wird durch den pH-Geber und durch einen druckempfindlichen Geber moduliert. Währenddem die kleine Senderkapsel Magen und Darm passiert, werden ihre ausgestrahlten Wellen ausserhalb des Körpers mit einem Empfänger aufgenommen, verstärkt, demoduliert und registriert.

Oft wünscht ein Arzt einen Vorgang nicht zu registrieren, sondern bloss an einem stillstehenden Kurvenbild zu betrachten. Hiezu eignen sich *Kathodenstrahloszillographen* (KO) am besten. Der Eingang des KO wird zum Schreiboszillographen parallel geschaltet. Der Elektrokardiograph verstärkt den physiologischen Vorgang soweit, dass ein einstufiger Verstärker im KO genügt. Während der Betrachtung eines Vorganges am KO wird selbstverständlich der Papiertransport des Elektrokardiographen nicht eingeschaltet.

In neuerer Zeit werden Elektrokardiogramm, arterieller Druck usw. während einer Operation dauernd mit einem speziellen *Bandregistriergerät* aufgezeichnet. Im Falle einer Komplikation ist es möglich, die Begleitumstände mit einem Schreibgerät später aufzuzeichnen. Diese oft mehrspurigen Bandregistriergeräte speichern die gemessenen Werte mit modulierten Tonfrequenzen, wodurch es möglich wird, physiologische Vorgänge zwischen 0 bis 500 Hz zu registrieren.

Auch die *Datenverarbeitung* hat in der Medizin Eingang gefunden. So werden beispielsweise für bestimmte nicht leicht zu diagnostizierende Krankheiten von allen Fällen, die behandelt worden sind, die genauen Umstände in einer Datenverarbeitungsmaschine gespeichert. Zu diesen Umständen gehören die Lebensform des Patienten, die Symptome der Erkrankung, die Reaktion auf Medikamente usw. Später, nachdem die Maschine mit genügend Resultaten abgeklärter Fälle gespeist worden ist, wird es möglich sein, den Vorgang umzukehren und die Maschine an Hand der äusserlich erkennbaren Symptome, sowie der Resultate von Laboruntersuchungen zu befähigen, aus dem gespeicherten Erfahrungsschatz heraus Diagnosen zu stellen. Diese Möglichkeit ist sehr ernst zu nehmen; in einigen Jahren wird es vielleicht Zentren geben, die auf Grund eingehender Fragebögen in der Lage sind, in schwierigen Fällen Diagnosen zu stellen oder doch mindestens eine engere Eingrenzung der möglichen Art und Ursache einer Erkrankung zu vollziehen.

Adresse des Autors:
F. Liechti, c/o Fred Liechti AG, Paracelsusstrasse 1, Bern-Ostermundigen.

Miniaturisierung elektronischer Schaltungen mit Einzelbauelementen

Von *E. Assmann,* München

621.38 - 181.4

Es wird ein kurzer Überblick über die wesentlichsten, heute bekannten Verfahren zur Miniaturisierung elektronischer Baugruppen gegeben. Diese Verfahren haben alle ihre besonderen Vorteile, aber auch ihre Grenzen. Daher behauptet die Bauweise mit konventionellen Bauelementen heute noch in den meisten Anwendungen ihre Stellung. Auch für die Zukunft bietet diese noch manche Entwicklungsmöglichkeit. Dies wird an Beispielen eines neuartigen Zusammenbau- und Kontaktierungsverfahrens, der Simiblock-Bauweise, gezeigt, bei der in wirtschaftlicher und vielgestaltiger Form sehr kleine Baugruppen mit konventionellen Bauelementen hergestellt werden können.

Un bref aperçu des principaux procédés actuels de miniaturisation d'assemblages de composants électroniques montre que ces procédés présentent tous des avantages particuliers, mais aussi des limitations. C'est pourquoi la construction à l'aide de composants conventionnels est encore préférée pour la plupart des applications, d'autant plus qu'elle permet maintes possibilités de développements. L'auteur en donne la preuve à l'aide d'exemples d'un procédé d'un nouveau genre d'assemblage et d'établissement des contacts, appelé «Simibloc», grâce auquel il est possible de fabriquer économiquement et d'une façon variée de très petits ensembles avec des composants conventionnels.

1. Einleitung

Für fast die gesamte industrielle Elektronik können drei Grundforderungen als Richtlinien der Entwicklung angegeben werden:

Rationeller bauen,
zuverlässiger bauen (reliability) und
kleiner bauen.

Die erste Forderung ist eigentlich eine Selbstverständlichkeit für den Techniker, soweit es die Herstellung der Geräte betrifft. Hier sei jedoch unter diesem Punkt auch das Bemühen um eine bessere Ausnützung der Geräte im Betrieb verstanden, z. B. durch Übertragung breiterer Frequenzbänder bei Richtfunkverbindungen usw. Die Betriebszuverlässigkeit elektronischer Geräte hängt wesentlich ab von der Anzahl der verwendeten Bauelemente und deren Ausfallwahrscheinlichkeit. Jedes Bauelement, auch so einfach scheinende wie ein Widerstand oder Wickelkondensator, ist ein chemisch, physikalisch und technologisch recht kompliziertes Gebilde, das im Betrieb einer Vielzahl von äusseren Einwirkungen ausgesetzt ist. Angaben über seine Lebensdauer sind daher nur statistisch auf Grund von Grosszahl-Versuchen möglich. In einer stark vereinfachenden Annahme kann man für elektronische Bauelemente eine konstante statistische Fehlerrate p angegeben z. B. in x Prozent Ausfällen pro 1000 h Betriebszeit, definieren. Unter der wiederum vereinfachenden Annahme einer für alle n Bauelemente eines Gerätes gleichen Fehlerrate p und Ausfall des Gerätes bei Ausfall eines Bauelementes erhält man für die mittlere fehlerfreie Betriebszeit t des Gerätes den Ausdruck:

$$t = \frac{1000}{np} \quad [\mathrm{h}]$$

33'124–133

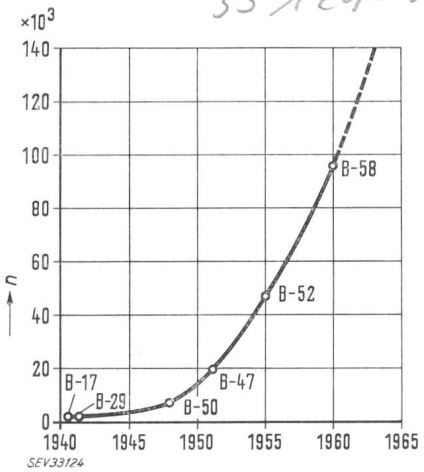

Fig. 1
Anzahl elektronischer Bauelemente (*n*) in amerikanischen Militärflugzeugen
(nach Aviation Week)

Vergegenwärtigt man sich, dass moderne elektronische Grossanlagen einige 10^5 Bauelemente haben können, wird die Bedeutung der durch *p* ausgedrückten Betriebszuverlässigkeit des einzelnen Bauelementes sofort klar. Klar wird aber ebenfalls, warum gerade in letzter Zeit diesem Problem so gesteigerte Beachtung geschenkt wird, denn die Kompliziertheit elektronischer Geräte und damit die Anzahl elektronischer Bauelemente in ihnen, ist in den letzten Jahren ausserordentlich stark gestiegen. Zur Illustration diene ein in [1] [1]) veröffentlichtes Diagramm, das die Anzahl elektronischer Bauelemente in amerikanischen Militärflugzeugen der letzten 20 Jahre angibt (Fig. 1).

Fig. 1 leitet aber auch über zu der dritten Forderung nach kleineren Abmessungen. Wenn diese Forderung zwar bei mobilen Anlagen besonders einleuchtend ist, so beweist die Praxis doch, dass auch stationäre elektronische Anlagen bei zunehmender Kompliziertheit zu immer höheren Packungsdichten der Bauelemente gezwungen werden. Diese Bestrebungen sind in den fünfziger Jahren durch zwei Erfindungen bzw. Entwicklungen entscheidend begünstigt worden: Transistor und gedruckte Schaltung. Der Transistor förderte die Miniaturisierung übrigens nicht einmal so sehr dadurch, dass er selber sehr klein ist, sondern durch die Verringerung des Leistungs- und Spannungsbedarfs in den Schaltungen.

2. Verfahren der Miniaturisierung

Im Laufe der letzten Jahre ist eine ganze Reihe von Verfahren bekannt geworden, die eine wesentliche Verkleinerung elektronischer Baugruppen zum Ziel haben. Sie lassen sich etwa in das in Fig. 2 dargestellte Schema bringen. Jedes dieser Verfahren hat seine besonderen Vorteile, aber auch seine eigenen Grenzen. Um zu einem Überblick über die Möglichkeiten ihrer Anwendung zu kommen, seien die Verfahren zunächst einzeln besprochen.

2.1 Verfahren mit Einzelbauelementen

Als Stand der Technik gilt heute zweifellos die Baugruppe mit Einzelbauelementen, die durch eine meistens tauchgelötete gedruckte Schaltung miteinander verbunden sind. Vielfach ist die Platte mit einer Steckerleiste versehen,

[1]) Siehe Literatur am Schluss des Aufsatzes.

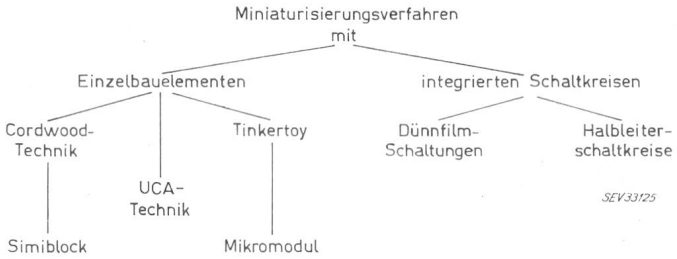

Fig. 2
Miniaturisierungsverfahren der Elektronik

um durch Austauschbarkeit der Baugruppen, Wartung und Reparatur der Geräte zu erleichtern.

Aus dieser Technik heraus hat sich bald eine Bauweise entwickelt, die eine erheblich höhere Packungsdichte, ausgedrückt durch Anzahl der Bauelemente pro cm^3 Bruttovolumen der ganzen Baugruppe (einschliesslich evtl. Steckerleisten, Gehäuse usw.), zu erzielen ermöglicht, die *Cordwood-Technik*. Hier werden normale Bauelemente stehend zwischen zwei gedruckten Schaltungsplatten angeordnet. Für die Verschaltung der Bauelemente untereinander stehen nunmehr zwei Ebenen zur Verfügung. Nachteilig wirken sich bei diesem Verfahren neben der unterschiedlichen Höhe der Bauelemente vor allem zwei Umstände aus: Man lötet im allgemeinen sehr dicht am Bauelementekörper, und das Einfädeln der Bauelementedrähte in die Löcher der Schaltungsplatte ist umständlich und nur schwierig zu automatisieren. Diese beiden Nachteile werden bei einem Verfahren vermieden, das kürzlich im Wernerwerk für Bauelemente der Siemens und Halske AG. entwickelt worden ist und als *«Simiblock»-Bauweise* vorgestellt wurde.

Bei dieser Bauweise werden konventionelle Miniaturbauelemente, nachdem ihre Anschlussdrähte ausgerichtet und auf einheitliche Längen abgeschnitten sind, in eine Giessform eingelegt. Diese ist so ausgebildet, dass die Anschlussdrähte der Bauelemente zwangsläufig in einem räumlichen Raster von z. B. 2,5 mm Rasterteilung liegen. Nach Verguss mit einem Epoxydharz und Aushärten des Harzes erhält

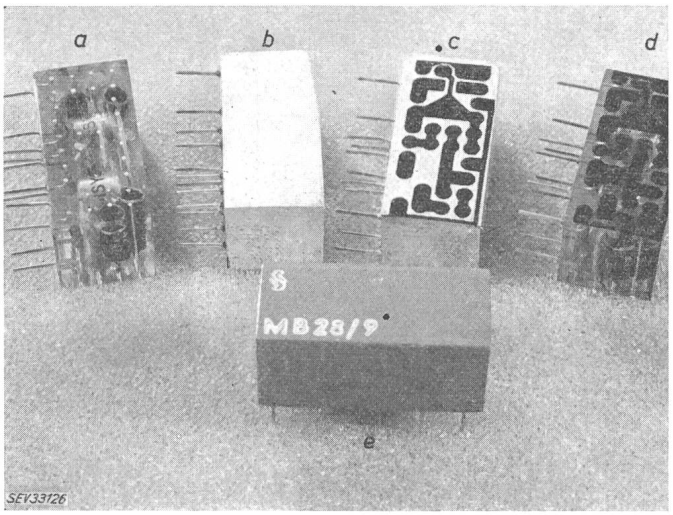

Fig. 3
Simiblocks in verschiedenen Stadien der Herstellung
a Block mit plangefrästen Oberflächen (man erkennt die im Raster liegenden Drahtquerschnitte); *b* Block allseitig verkupfert; *c* Block bedruckt; *d* Block geätzt (die Cu-Leitungen liegen unter der schwarzen ätzfesten Lackschicht); *e* Block schutzlackiert

man einen massiven Block, der die Bauelemente allseitig umgibt (Fig. 3). Um eine Verschaltung der Bauelemente zu ermöglichen, werden die zwei gegenüberliegenden Seiten, die senkrecht zu den Bauelementedrähten liegen, so weit abgefräst, dass Querschnittflächen der Drähte in der neuen Oberfläche liegen. Die Kontaktierung kann auf verschiedene Weise erfolgen; als besonders günstig hat sich das Verfahren der chemischen Verkupferung erwiesen. Dabei wird die ganze Oberfläche des Blocks nach Durchlaufen verschiedener Vorbehandlungsbäder mit einer dünnen Kupferschicht versehen, die auf galvanischem Wege auf etwa 20 μm Dicke verstärkt wird. Im Siebdruckverfahren wird dann ein Leitungsbild mit ätzfester Farbe aufgedruckt und das nicht abgedeckte Kupfer durch Ätzen entfernt. Das Leitungsbild muss zwar gewissermassen «blind» auf die geschlossene Kupferoberfläche aufgedruckt werden, das ist aber infolge der Rasteranordnung der Bauelemente und der festen Zuordnung des Rasters zu den Aussenkanten des Blocks ohne Schwierigkeiten möglich.

Ein Verfahren, bei dem schon Spezialbauelemente, wenn auch noch in zylindrischer Form, verwendet werden, ist das in Amerika entwickelte «*UCA*»-*System*. UCA ist die Abkürzung für Unitized Component Assembly, es ist also ein Verfahren mit Einzelbauelementen vereinheitlichter Form, und zwar hat man tablettenförmige Bauelemente (pellet components) von vorzugsweise 2,5 mm Durchmesser und 0,75 bzw. 1,6 mm Höhe geschaffen. Diese «Pillen» werden in eine gelochte Platte eingelegt, die z. B. beidseitig mit einer gedruckten Schaltung versehen ist. Die Kontaktierung kann mit leitendem Kleber, Lötzinn o. ä. vorgenommen werden (Fig. 4).

In der *Mikromodul-Technik* ist das Prinzip der Vereinheitlichung noch weitergeführt. Die Bauelemente unterscheiden sich geometrisch nur noch in ihrer Höhe. Am bekanntesten ist das von der RCA (Radio Corporation of America) im Auftrag des US Army Signal Corps herausgebrachte System, das zurückgeführt werden kann auf das um 1950 vom US National Bureau of Standards entwickelte System «Tinkertoy» [2; 3]. Hier tauchte wohl erstmals der Gedanke auf, form- und flächengleiche Bauelemente *übereinander* zu stapeln und sie mit gerade an den Seiten der Säule hochlaufenden Leitungen schaltungsgerecht zu verbinden. Die Bauelementeträger waren quadratische Keramikplättchen von 22 mm Seitenlänge. Sie hatten auf jeder Seite drei metallisierte Kerben, an denen die Kontaktierung zwischen Steigeleitung und Bauelement erfolgt, sowie eine für die automatische Montage von Baugruppen erforderliche Kennkerbe. Beim *RCA-Micromodule-System* [4; 5; 6; 7] werden quadratische Trägerplättchen (wafers) von 7,9 mm Seitenlänge und vorzugsweise 0,25 mm Dicke verwendet. Form, Grösse und Aufbauschema zeigt Fig. 5. Die Trägerplättchen bestehen im allgemeinen aus Keramik, die bei Kondensatoren vielfach als Dielektrikum dient. Beim Zusammenbau werden die Plättchen übereinandergeschichtet, wobei die Anschlusspunkte der einzelnen Bauelemente so an die 12 metallisierten Kerben herangeführt sind, dass sich die Schaltung mit geraden Drähten in den Kerben herstellen lässt. U. U. ist es notwendig, die Plättchen zu drehen oder zu wenden, um dieser Forderung zu genügen. Nach dem Verlöten der Steigeleitungen wird die Baugruppe zum Schutz gegen mechanische und klimatische Beanspruchungen mit Giessharz vergossen.

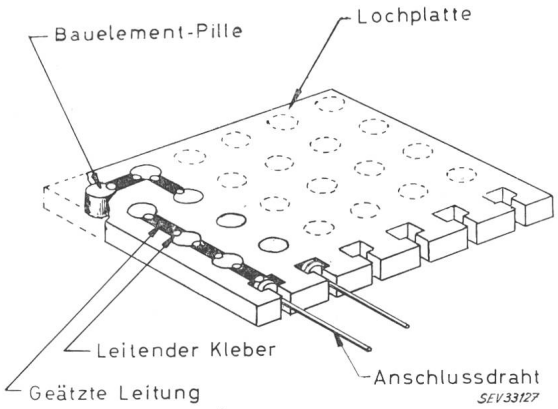

Fig. 4
Schema einer UCA-Baugruppe

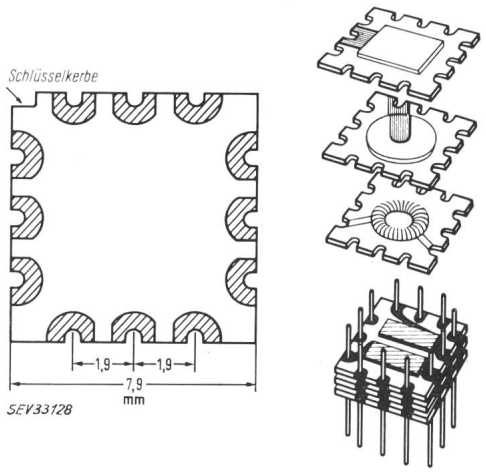

Fig. 5
Mikromodule der RCA-Bauelementplättchen (wafer) und Ausbauschema

Mikromoduls werden im allgemeinen auf eine gedruckte Schaltungsplatte gesetzt, die die Verbindungen zwischen den einzelnen Moduls herstellt. Um zu einer dichten Packung zu kommen, kann man den Moduls die Form von quadratischen, gleichseitig dreieckigen oder sechseckigen Säulen geben. Das *Sechseck* als eine der fertigungstechnisch viele Vorteile bietenden Kreisform angenäherte Form wurde bei einem bei Siemens entwickelten Mikromodulsystem zu Grunde gelegt [8; 9]. Aber nicht nur die Form unterscheidet das Sechseck-Mikromodulsystem von dem der RCA, sondern mehr noch die Art des Zusammenbaues.

Die Bauelemente erhalten vor dem Zusammenbau kleine Kontaktstifte, die z. B. auf einen am Rand des Plättchens aufgedruckten Kontaktierungsstreifen aufgelötet werden. Durch eine universell verwendbare Form dieses Kontaktierungsstreifens ist bei Zweipolen jede mögliche Konfiguration der beiden Anschlußstifte zu verwirklichen. Die Bauelemente werden in einem Kunststoffkäfig gestapelt, als letztes wird ein vorgefertigter Sockel aufgesetzt. Der Käfig mit den Bauelementen wird mit Giessharz vergossen und nach dem Aushärten der ganze Block ähnlich wie beim Simiblockverfahren, an den Seiten abgefräst. Auch hier liegen nun Querschnittsflächen der Kontaktstifte in der Oberfläche und können durch chemische Verkupferung bequem kontaktiert werden. Die Steigeleitungen, die beliebig unterbrochen oder auch z. T. quer geführt sein könnnen, werden aus dem Kupfermantel herausgeätzt, und die Baugruppe wird schliesslich schutz-

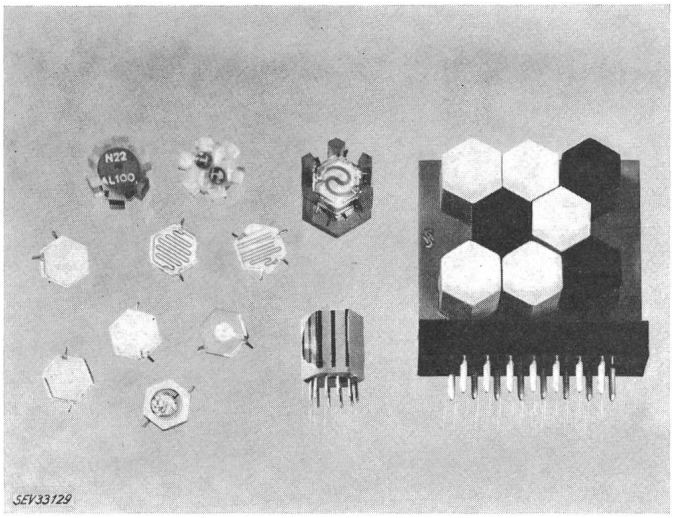

Fig. 6
Mikromodulvorschlag von Siemens (sechseckige Plättchen mit 6 mm Seitenlänge)

lackiert. Fig. 6 zeigt verschiedene Mikromodul-Bauelemente und fertige Moduls in dieser Technik.

2.2 Verfahren mit integrierten Schaltkreisen

Die Verfahren mit integrierten Schaltkreisen sind in zwei Gruppen aufzugliedern, deren Bezeichnungen jedoch noch keineswegs endgültig und allgemein anerkannt sind. Die in Fig. 2 gewählten Formulierungen «Dünnfilm- und Halbleiterschaltkreise» entsprechen in etwa den weitverbreiteten amerikanischen Ausdrücken «thinfilm-circuits» und «semiconductor networks».

Bei den *Dünnfilmschaltungen* werden auf einem Trägerplättchen, das vorzugsweise aus chemisch inerten und elektrisch gut isolierenden Stoffen niedriger Dielektrizitätskonstante besteht, in aufeinanderfolgenden Prozessen sehr dünne leitende Schichten, Widerstandsschichten und dielektrisch wirkende Schichten aufgebracht. Die Beschichtung kann z. B. durch Aufsprühen von Lösungen an der Atmosphäre, aber auch im Vakuum durch thermische Verdampfung oder Kathodenzerstäubung des Schichtmaterials erfolgen. Um die erforderliche Konfiguration der Leiterbahnen, Widerstandsmäander oder Kondensatorflächen zu erzielen, werden Abdeckmasken beim Aufbringen der Schicht oder Ätzverfahren nach Aufbringen der dann zusammenhängend gebildeten Schicht angewandt.

Die aktiven Elemente (Dioden, Transistoren) werden z. Z. noch als Einzelbauelemente in geeigneter Bauform (Flachgehäuse) auf die Schaltung aufgesetzt oder auch in Bohrungen in der Schaltung eingelegt und durch Mikroschweissung oder Lötung mit den entsprechenden Anschlusspunkten der Schaltung verbunden. Bemühungen, die aktiven Bauelemente in Dünnfilmtechnik herzustellen, haben noch zu keinem praktisch brauchbaren Ergebnis geführt.

Es gibt eine ganze Anzahl verschiedener Verfahren für Dünnfilmbaugruppen. Zwei von ihnen seien als Beispiel dieser Technologie näher besprochen:

2.2.1 Dünnfilmschaltungen nach der Ta-Ta_2O_5-Technik

Im Vakuum wird auf einen Glasträger metallisches Tantal in einer Dicke von etwa 200 bis 2000 Å durch Kathodenzerstäubung aufgebracht. Aus dieser dünnen Ta-Schicht wird nach dem von der Technologie gedruckter Schaltungen her bekannten Photoätzverfahren ein Leitungsbild herausgeätzt, das sowohl Kondensatorflächen als auch Leitungen und Widerstandsmäander enthält. Durch eine nachfolgende anodische Oxydation werden die Kondensatorflächen und gegebenenfalls auch die Widerstandsmäander an ihrer Oberfläche in Ta_2O_5 umgewandelt. Während diese Oxydhaut bei den Widerständen als Oberflächenschutz dient — allerdings ermöglicht sie auch einen Abgleich des Widerstandswertes in gewissen Grenzen — dient sie bei den Kondensatoren als qualitativ hochwertiges Dielektrikum. Die oxydierten Kondensatorflächen erhalten daher eine im Vakuum aufgedampfte Deckelektrode aus Gold oder Aluminium. (Einzelheiten über dieses Verfahren sind u. a. in [10; 11] veröffentlicht.)

Bei einem zweiten, vielfach angewendeten Verfahren wird im Vakuum aufgedampftes NiCr als Widerstandsmaterial und SiO als Dielektrikum verwendet [12]. Die wichtigsten Verfahrensschritte sind hiebei die folgenden:

1. Aufdampfen einer dünnen Cu-Schicht auf den Träger;
2. Herausätzen eines Abbildes der Widerstandsmäander aus der Cu-Schicht;
3. Bedampfen des ganzen Trägers mit NiCr;
4. Ätzen: Dabei wird lediglich das mit Cu unterschichtete NiCr entfernt; das auf die freigelegten Mäander aufgedampfte NiCr bleibt als Widerstandsschicht erhalten.
5. Aufdampfen von Leitungen und Lötstützpunkten;
6. Aufdampfen von unteren Kondensatorbelägen;
7. Aufdampfen des Dielektrikums;
8. Aufdampfen der oberen Kondensatorbeläge;
9. Einlöten der aktiven Bauelemente.

Bei einer Variante dieses Verfahrens werden die Schritte 1, 2 und 4 weggelassen und das NiCr direkt durch Schablonen aufgedampft. Fig. 7 zeigt eine auf diese Weise hergestellte Vielfach-Schaltung ohne die aufgesetzten flachen Transistoren.

Halbleiterschaltkreise werden z. Z. allgemein nach dem Planar-Verfahren hergestellt [13; 14; 15]. Man geht von einem dünnen ($\approx$ 0,1 mm) Silizium-Einkristall-Scheibchen aus. Dieses wird mehrmals abwechselnd nacheinander mit Minoritäts- und Majoritätsträgern dotiert. Die Dotierung erfolgt im Diffusionsverfahren, wobei die Oberfläche des Siliziumscheibchens jeweils durch Aufoxydation weitgehend gegen das Eindringen der Dotierungsstoffe geschützt ist.

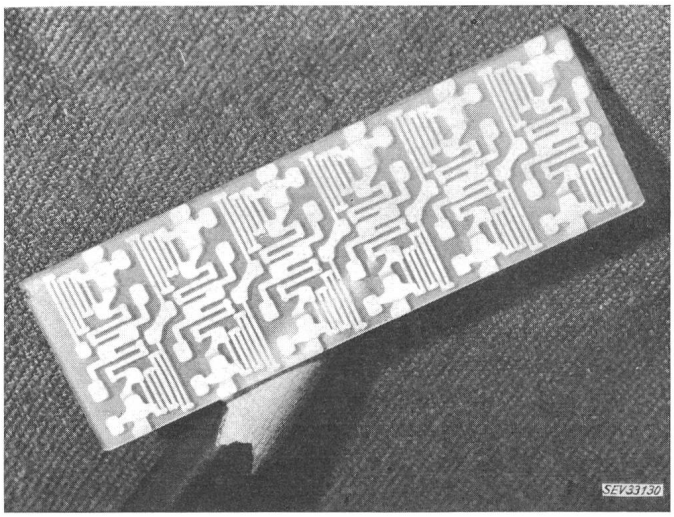

Fig. 7
***RC*-Netzwerke für 12 NAND-Gatter in Dünnfilm-Technik**

Lediglich einige «Fenster» sind aus der SiO_2-Schicht nach dem Fotoätzverfahren herausgeätzt und ermöglichen so das Eindiffundieren z. B. von Phosphor oder Bor zur Bildung von n- oder p-Typ-Schichten für die Elektroden von aktiven Elementen oder für die Bildung von Widerstandsbahnen. Soweit erforderlich, werden Widerstände und Transistorsysteme durch Sperrschichten gegeneinander isoliert. Verbindungen zwischen den einzelnen Schaltungselementen werden durch Aufdampfen von metallischen Leiterbahnen, die Verbindungen zu den Sockeldrähten durch dünne Golddrähte hergestellt.

3. Anwendung der verschiedenen Verfahren

Die Schaltungstechnik elektronischer Geräte und Anlagen lässt sich heute in zwei grosse Gruppen einteilen: digitale Schaltungen und analoge Schaltungen.

Kennzeichnend für die erste Gruppe ist u. a., dass die aktiven Bauelemente, wie Röhren und Transistoren, nur in zwei stabilen Arbeitspunkten betrieben werden. Sie dienen im allgemeinen als kontaktlose elektronische Schalter, die geschlossen (stromführend) oder geöffnet (gesperrt) sein können. Ihr weitestes Anwendungsgebiet hat die digitale Schaltungstechnik in den nachrichtenverarbeitenden Geräten, wie elektronischen Digitalrechenanlagen, gefunden.

Die analoge Schaltungstechnik wird dagegen überwiegend in der Nachrichtenübertragung benötigt. Hier werden Wechselspannungen im weitesten Frequenzbereich erzeugt, gemischt, verstärkt und gleichgerichtet. Als typische Beispiele dieser Schaltungstechnik seien Sender, Empfänger, Trägerfrequenzgeräte, aber auch elektronische Analogrechenanlagen genannt.

Es darf wohl als einigermassen typisch gelten, dass Miniaturisierungsverfahren mit integrierten Bauelementen überwiegend für digitale Anwendungen geplant oder eingesetzt werden, für analoge Schaltungen dagegen die Verfahren mit Einzelbauelementen bevorzugt werden. Die Gründe dafür sind relativ leicht zu finden:

Digitale Schaltungen enthalten im allgemeinen eine grosse Anzahl von Baugruppen, die aber nur in wenigen unterschiedlichen Typen benötigt werden. Dazu kommt, dass der Wertebereich der Schaltungsbestandteile R und C relativ klein und die Toleranz relativ gross sein kann. Diese Umstände begünstigen eine Großserienfertigung, für die dann auch die recht aufwendige Entwicklung der Prototypen und Fertigungseinrichtungen bei der Herstellung integrierter Baugruppen tragbar ist. Damit sei natürlich nicht gesagt, dass für digitale Anwendungen nur die integrierten Schaltungen in Frage kommen. Es ist ein reiches Angebot an digitalen Baugruppen mit Einzelbauelementen in allen unter 2.1 angeführten Techniken auf dem Markt.

Bei analogen Schaltungen liegen die Verhältnisse jedoch anders. Hier ist die Vielfalt der Schaltungen viel grösser, das erforderliche Bauelementespektrum weiter — insbesondere spielen auch Induktivitäten hier eine grosse Rolle —, und die Toleranzen der Bauelemente sind im allgemeinen enger. Dazu kommt, dass die Stückzahlen für einen bestimmten Baugruppentyp wohl, von Ausnahmefällen abgesehen, immer relativ klein sein werden. Daher bedient man sich hier überwiegend jener Verfahren, die in der Fertigung flexibel sind, und das sind die unter 2.1 genannten.

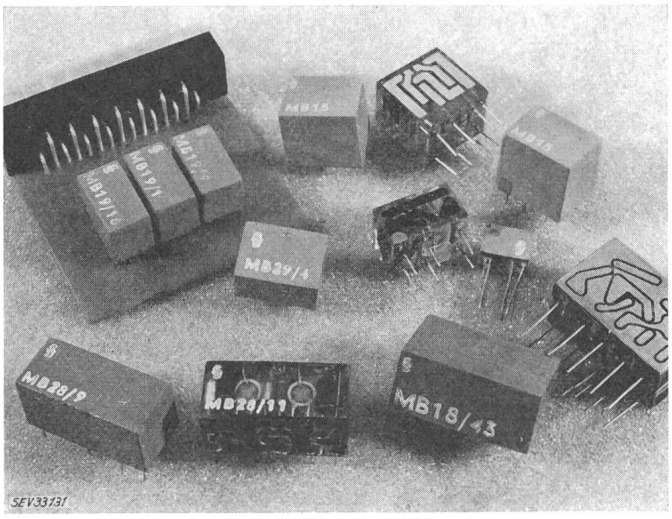

Fig. 8
Verschiedene Simiblocks

Bei den Kosten einer Miniaturbaugruppe mit Einzelbauelementen spielen 2 Faktoren die ausschlaggebende Rolle: der Preis der Bauelemente und die Kosten des Zusammenbaues. Das Preisniveau konventioneller Kleinbauelemente liegt sehr niedrig, bedingt durch sehr grosse Stückzahlen und dadurch, dass ein einzelnes Bauelement schon in seiner ganzen technischen Konzeption auf eine rationelle Massenfertigung ausgerichtet ist. Bezeichnend dafür ist z. B. die weitgehende Annäherung der äusseren Form elektrisch unterschiedlichster Bauelemente: Der langgestreckte zylindrische Körper mit axialen Drähten ist für viele Bauelemente technologisch und fertigungstechnisch eine optimale Form.

Miniaturisierungsverfahren, die auf konventionelle Bauelemente zurückgreifen, haben daher gegenüber solchen Verfahren, die auf Sonderbauformen angewiesen sind, auf der Bauelementeseite einen erheblichen Kostenvorsprung. Dafür gestatten die Sonderbauformen, z. B. bei der Mikromodultechnik, u. U. einen relativ einfach zu automatisierenden Zusammenbau der Bauelemente zu Baugruppen. Welche Lösung letztlich wirtschaftlicher ist, kann wohl nur fallweise entschieden werden.

Besonders günstige Voraussetzungen dürfte die Simiblock-Technik bieten. Neben der Verwendung preisgünstiger konventioneller Bauelemente steht die einfache Automatisierbarkeit des Verfahrens sowie die Möglichkeit, die Grösse und Form der Baugruppe und die Lage der Anschlusspunkte (lötbare oder steckbare Sockelstifte) dem jeweiligen Anwendungsfall anzupassen. So zeigt Fig. 8 einige Blocks, die für verschiedene Anwendungsfälle gebaut wurden. Bei den meisten finden nicht einmal Subminiaturtransistoren Verwendung, sondern Typen in den bekannten TO-1-, TO-5- oder TO-18-Gehäusen. Trotzdem konnte z. B. ein 4stufiger RC-Verstärker mit 4 Transistoren AF 124 (TO-18-Gehäuse) mit den Abmessungen 16,5 mm Höhe $\times$ 12 mm Breite $\times$ 26,5 mm Länge aufgebaut werden. Die Packungsdichte betrug dabei 6,3 Bauelemente pro cm^3. Bei einer bistabilen Kippstufe (Fig. 9) mit 2 Transistoren, 2 Dioden, 3 Kondensatoren und 8 Widerständen wurde bei den Abmessungen $10 \times 8 \times 6{,}2$ mm^3 eine Packungsdichte von 30 Bauelemente/cm^3 erreicht. Bei den ständigen Bemühungen der Bauelementehersteller um Verkleinerung der Bauelemente

dürfte aber auch damit noch nicht die Grenze des Möglichen erreicht sein.

Zum gegenwärtigen Zeitpunkt ist dieses Beispiel allerdings mehr zur Demonstration des heute schon Erreichbaren gewählt worden. Eine praktische Bedeutung haben derartige hohe Packungsdichten z. Z. in dieser Technik noch nicht.

Als Beispiel für typische Anwendungen zeigt Fig. 10 einen mit 5 Simiblocks bestückten ZF-Verstärker sowie eine Steckbaugruppe mit 8 NAND-Gattern. Während bei dem ZF-Verstärker (Abmessungen 12 × 14,5 × 137 mm) der Aufbau auf einer einseitigen geätzten Platte mit einer sehr einfach gestalteten Leitungsführung erfolgt, war bei der Gatterschaltung die Verwendung einer mehrlagigen geätzten Schaltung notwendig. Man sieht auch bei dem ZF-Verstärker, dass nicht alle Bauelemente in den Blocks untergebracht wurden. So erwies es sich als zweckmässig, regelbare Bauelemente wie Einstellpotentiometer und Ferritschalenkerne mit Abgleichstiften neben bzw. zwischen die Blocks zu setzen. Auch einige Elektrolyt-Kondensatoren wurden ihrer Grösse wegen freistehend in die Schaltung gelötet.

Die bei der Simiblock-Technik benutzte Methode der Kontaktierung stösst bei den Anwendern zunächst häufig auf ein gewisses Misstrauen. Eine der Hauptaufgaben bei der Entwicklung dieser Technik war daher die Erarbeitung von Unterlagen über die Sicherheit der chemisch hergestellten Kontakte, ganz abgesehen davon, dass die Ausarbeitung des Verfahrens sowie die Entwicklung der benötigten Bäder und Einrichtungen einen erheblichen Aufwand erforderte. Inzwischen sind mehr als 50 000 Kontakte unter verschiedenen Bedingungen untersucht worden. Neben einer Standardprüfung, die Temperaturschockversuche in Anlehnung an MIL-STD-202, Methode 102 (5 Zyklen — 40...+ 85 °C), Strombelastungsversuche mit $I \geqq 30$ A/mm² (bezogen auf die Drahtquerschnitte) und 1000-h-Lagerversuche bei 40 °C, 90 % r. F. mit mehrfachem und schliesslich abschliessendem Temperaturschock-Versuch enthält, wurden weitere Prüfungen über Verhalten der eingegossenen Bauelemente, Hochtemperatur-Lagerungen bei 125 °C (1000 h), Spannungskorrosionsversuche, Schüttelprüfungen usw. durchgeführt. Die Ergebnisse lassen erkennen, das es sich bei der Simiblock-Technik um ein vollwertiges und zuverlässiges Zusammenbau-Verfahren handelt, eine gewisse Sorgfalt bei der Durchführung der chemischen Prozesse und Kenntnisse ihrer Zusammenhänge vorausgesetzt. Insbesondere konnte bei keinem der mehr als 50 000 untersuchten Kontakte festgestellt werden, dass sich die chemisch aufgebrachte Kupferschicht von dem zu kontaktierenden Draht gelöst hatte. Auch Zerstörungsversuche, bei denen sehr dünne Drähte (0,07 mm ϕ) durch Strombelastung von $I \geqq 1{,}5$ A soweit aufgeheizt wurden, dass das Harz in der Umgebung der Kontaktstelle aufquol, ergaben stets, dass wohl das Kupfer um die Kontaktstelle aufreissen konnte, ein Abheben der Kupferschicht trat jedoch nicht auf.

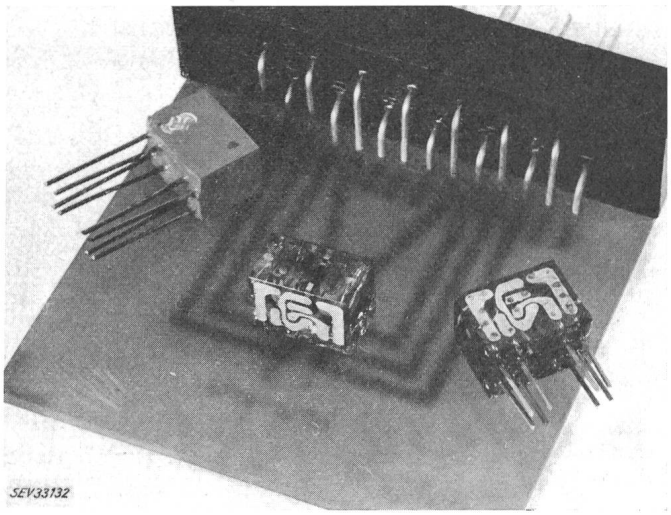

Fig. 9
Besonders kleiner Flip-Flop in Simiblock-Technik
15 Bauelemente, Abmessungen: 10 × 8 × 6,2 mm

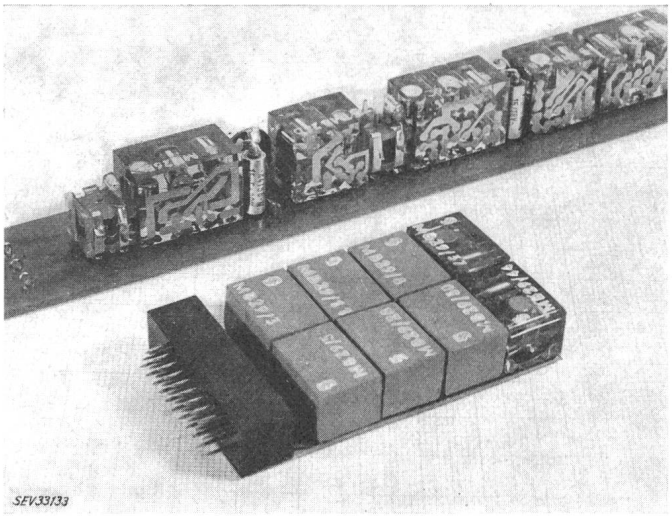

Fig. 10
ZF-Verstärker und Gatterschaltung in Simiblock-Technik
Grösse des vollständigen *ZF*-Verstärkers: 12 × 14,5 × 137 mm. Grösse der Gatterschaltung: 34 × 9,5 × 49 mm ohne Grundplatte, mit Grundplatte und Stecker, jedoch ohne Steckerstifte 35 × 11 × 65 mm

Literatur

[1] *John E. Hickey,* Jr. / What Price Reliability? Electronic Ind. Sept. 1961, S. 142.

[2] Project Tinkertoy. Standardization, News Magazin of the American Standards Association 24 (1953), S. 326.

[3] Automatic Production of Modulator Electronic Subassemblies. El. Man. 52(1953), S. 156.

[4] *Danko, S. F., Doxley, W. L.* und *Naul, J. P.:* The Micro-Module, a logical Approach to Microminiaturisation. Proc. IRE 47(1959), S. 894.

[5] *Jacobs, P. G.:* Micro-Module Design Progress. El. Man. 63(1959), S. 78.

[6] *Kublin, V. J.,* Progress in the Army Micro-Module Program. Electronic Design (1959), May 13.

[7] Status Report Production Engineering. Measure on Micromodules. Sept. 1962, US Army Electronics Command.

[8] *E. Assmann:* Mikro-Elektronik und Mikromodul-Technik. Siemens-Z. 34(1960), H. 11, S. 766.

[9] *E. Assmann:* Mikromodul-Technik, ihre Begründung und ihre Grenzen. Radio mentor 27(1961), H. 11, S. 960.

[10] *D. Gerstenberg* u. *E. H. Mayer:* Properties of Tantalum Sputtered Films. Proc. 1962, Electronic Components Conference Washington, May 1962.

[11] *T. V. Sikina:* High Density Tantalum-Film Microcircuits. Proc. 1962, El. Comp. Conference Washington, May 1962.

[12] *G. W. A. Dummer:* A Review of British Work on Microminiaturisation Techniques. El. Rel. a. Micromin. Vol. 1 (1962), S. 39.

[13] Les Elements Micrologiques Fairchild. Onde Electrique, Nov. 1962, S. 945.

[14] *W. Adcock* und *J. S. Walker:* Semiconductor Networks. El. Rel. a. Micromin. Vol. 1 (1962), S. 177.

[15] *H. Dorendorf* und *H. Ullrich:* Festkörper-Schaltkreise aus Silizium, Siemens-Z. 37(1963), H. 7, S. 566...574.

Adresse des Autors:
E. Assmann, Wernerwerk für Bauelemente der Siemens & Halske AG, Balanstrasse 73, 8000 München 8.