

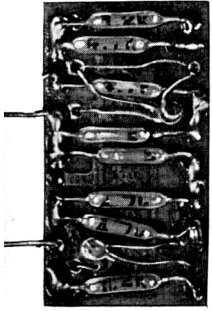
und Automatisierung der Bauweisen. Ende der 40er Jahre gelangte die Technik gedruckter Schaltungen zur Einsatzreife, die zwar keine wesentliche Volumenverringerung brachte, aber die Fertigungstechnik vereinfachte und die Zuverlässigkeit der Geräte verbesserte. Gleichzeitig wurde in den Vereinigten Staaten das Projekt „Tinkertoy“ begonnen, dessen Ziel es war, elektronische Geräte vollautomatisch zu fertigen. Dabei wurde ein System von Bauelementen entwickelt, die auf einheitlichen, flachen Trägerplättchen aufgebracht waren, so daß sie in Magazinen gestapelt und lochstreifen-gesteuert zu gemeinsamen, automatischen Montageplätzen geführt und dort zusammengefügt und verdrahtet werden konnten. Die Ergebnisse dieser Pionierleistung kamen jedoch kaum zur Anwendung, denn anfang der 50er Jahre wurde erkennbar, daß der Transistor sich durchsetzen würde. Dieses neue Verstärkerelement hatte Eigenschaften, die es offensichtlich ermöglichen, in der Richtung der Volumenverringerung elektronischer Einrichtungen einen weiten Schritt vorwärts zu tun. Nicht nur das Volumen des Transistors ist um Größenordnungen geringer als das der Elektronenröhre, auch der Wegfall der Heizleistung erlaubt einen dichterem Aufbau, weil der Sicherheits- und Kühlabstand entfallen konnte. Außerdem genügen für den Transistor Betriebsspannungen, die kaum ein Zehntel dessen betragen, was die Elektronenröhren benötigen. Dadurch konnten auch die passiven Bauelemente, die Widerstände, Kondensatoren, Gleichrichter verkleinert werden. Eine weitere wesentliche Volumenminderung wurde durch den reduzierten Energiebedarf der Transistorschaltungen in den Batteriegeräten möglich, wie es am Beispiel der Koffer- und Taschenradios auch für den technischen Laien deutlich sichtbar wurde.

2.2. Haupttechniken der Miniaturisierung

Die Wege, die eingeschlagen wurden, um die vorteilhaften Eigenschaften des Transistors für eine Volumenverringerung elektronischer Geräte auszunutzen, waren so zahlreich, wie es die Arbeitsgebiete der Elektronik sind. Sie lassen sich aber auf 4 Hauptrichtungen zurückführen, die in Bild 2-4 gegenübergestellt sind.

Unter Subminiaturtechnik sind hierbei die Bauweisen zusammengefaßt, die aus der Miniaturisierung der konventionellen Schaltelemente hervorgegangen sind. Es ist die Richtung, die von den Bauelementeherstellern beschritten wurde und die noch heute die verbreitetste Miniaturisierungstechnik darstellt. Ähnlich wurden auch die Schaltelemente des „Tinkertoy“ im Auftrag der US-Army von der US-Firma RCA miniaturisiert. Dieses Projekt wurde mit Mikromodultechnik bezeichnet, ein Gattungsbegriff also, der später irreführenderweise häufig als Kollektivbegriff verwendet wurde. Die Mikromodul-Technik und die Subminiatur-Technik haben als gemeinsames Merkmal die Verwendung von diskreten Schaltelementen, d. h. jedes Schalt-

Bild A 2-4 Haupttechniken der Miniaturisierung elektronischer Schaltelemente (vergrößert).



Subminiatur-
technik

kleinste
konventionelle
Schaltelemente

etwa 10
Schaltele-
mente je cm^3

Miniatur- Elektronik

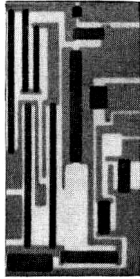
diskrete
Schaltelemente



Mikromodul-
technik

genormte
quadratische
Schaltelemente

10



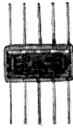
Integrierte
Dünnschichttechnik

mehrere Schaltelemente
auf gemeinsamem
Trägerplättchen
(Filme auf Isolierkörper)

100

Mikro- Elektronik

integrierte
Schaltelemente



Integrierte
Halbleitertechnik

mehrere Schaltelemente
in gemeinsamem
Einkristall (Dotierungs-
zonen im Halbleiter)

1000



element befindet sich auf einem separaten Trägerkörper. Beide Techniken erlauben Miniaturisierung auf Schaltelementedichten von 10 bis 20 cm⁻³. Diese Miniaturisierungstechniken, die im folgenden unter „Miniaturelektronik“ zusammengefaßt werden, stehen vor der Ablösung durch die Techniken der „Mikroelektronik“, die auf oder in einem gemeinsamen Trägerkörper mehrere Schaltelemente zu elektronischen Grundschaltungen vereinigen und daher als Integrierte Schaltungen bezeichnet werden. Die eine dieser Möglichkeiten, die z. Zt. Schaltelementedichten von 1000 cm⁻³ ermöglicht, wurde von den Transistorherstellern selbst entwickelt. Statt die vielen Hundert auf einer Kristallscheibe gemeinsam hergestellten Transistoren und Dioden in einzelne Elemente aufzuteilen, um sie einzeln zu verkapseln und dann in elektrischen Schaltungen wieder miteinander zu verbinden, versuchte man, deren gleich mehrere im gemeinsamen Kristall miteinander so zu kontaktieren, daß eine funktionsfähige Schaltung entstand, die nur noch die äußeren Zuleitungen benötigte. Diese mit „Integrierte Halbleitertechnik“ benannte Richtung wird seit Ende der fünfziger Jahre durch Anwendung des Silizium-Planar-Diffusionsverfahrens erfolgreich verfolgt und steht gegenwärtig im Mittelpunkt des Interesses und Erfolges. Die „Integrierte Dünnschichttechnik“ schließlich geht von der Erkenntnis aus, daß fast alle Schaltelemente als dünne metallische, halbleitende oder isolierende Schichten darstellbar sind. Die Dünnschichttechnik erreicht derzeit Schaltelementedichten von etwa 100 cm⁻³, prinzipiell aber die gleichen wie die Halbleitertechnik. Dünnschicht- und Halbleitertechnik ergänzen sich in ihren Eigenschaften derzeit so gut, daß die leistungsfähigste Mikroelektronik heute durch Kombinationen beider Techniken entsteht. Diese Kombinationen werden als „Hybridtechniken“ bezeichnet.

Für die Nomenklatur der Miniaturisierungstechniken und Integrierten Schaltungen existieren bisher nur unverbindliche und uneinheitliche Empfehlungen (vgl. Abschn. B, Definitionen). Um das Verständnis dieses Buches durch klare und einheitliche Begriffe zu erleichtern, wurde vorläufig eine Terminologie gewählt, die von diesen verschiedenen Vorschlägen internationaler und nationaler Verbände ausgeht (Tab. B1 und B2). Auch mit der Normierung der mikroelektronischen Erzeugnisse wurde möglichst zurückgehalten, um nicht die noch allzusehr in Fluß befindlichen Entwicklungen durch vorzeitige und starre Maßgaben zu behindern. Als Folge des ersten breiten Einsatzes der Mikroelektronik im militärischen Bereich waren es zunächst militärische Behörden, die sich mit der Erstellung von Vorschriften befaßten. Dem höheren Entwicklungsstand entsprechend betreffen die frühesten Richtlinien (MIL-M-23700 der US-Navy) digitale Halbleiterschaltungen. Industrie-Spezifikationen sind im Herbst 1965 nach mehr als einjähriger Vorbereitung für integrierte logische Gatterschaltungen in Halbleiter- und Dünnschichttechnik vom Komitee JS-15 für Integrierte Schaltungen abgefaßt worden, der jüngsten Untergruppe des Joint Electron Council (JEDEC), das aus Vertretern der Electronic Industries Association (EIA) und der National Association of Electrical Manufacturers besteht und in den Vereinigten