

Hybridschaltungen — für wen lohnt sich die Eigenfertigung



Überreicht durch:

MICROELECTRONIC

Dipl.-Ing. Andreas Lewicki

7931 Oberdischingen bei Ulm

Telefon (07305) 6588

Hybridschaltungen – für wen lohnt sich die Eigenfertigung

DK 621.3.049.75.003:655.39

Mit der zunehmenden Bedeutung der hybriden Dickschicht-Schaltungen wird die Entscheidung des vieldiskutierten *make or buy* für die Gerätehersteller immer dringender.

Im Gebiet der monolithischen Halbleiterschaltungen sind es die Multimillionen-Investitionen für die Fertigungsanlagen und die zur rentablen Auslastung erforderlichen Großserien sowie die diffizile Erarbeitung der Verfahrensbeherrschung, die bereits weitgehend die Arbeitsteilung zwischen Komponentenherstellern und -anwendern herbeigeführt haben.

Für die Fertigung von integrierten Schaltungen in *Dickschicht-Hybridtechnik* [1, 2, 3] ist der Aufwand jedoch geringer. Außerdem erlaubt es diese Technologie, auch kleine und mittlere Serien wirtschaftlich zu fertigen. Aus diesen beiden Gründen ist die Frage der Rentabilität der Eigenfertigung von integrierten Dickschicht-Hybridschaltungen für viele Gerätehersteller noch offen.

Die Klärung wird vor allem durch die Unübersichtlichkeit von Aufwand und Ertrag erschwert. Wie in der Anfangsphase jeder neuen Technik, so hat auch in der Dickschichttechnik die rasche Verfeinerung von Materialien, Herstellverfahren und Fertigungsgeräten zum ständigen Anstieg der Investitionen und des technologischen Schwierigkeitsgrades geführt, deren Stand kaum vollständig verfolgbar und nur ungenau voraussehbar ist. *Dies kann leicht zur Fehleinschätzung des Risikos und zu unnötigen, verlustreichen Mißerfolgen führen.* Der vorliegende Beitrag versucht hier, einige grobe Orientierungshilfen zu geben.

1 Arten der Dickschicht-Fertigungsstätten

Dazu müssen zumindest drei in Kapazität und Einsatzbereich verschiedene Konzeptionen des Fertigungsausbauens getrennt betrachtet werden:

1.1 Das Prototypen-Labor

Labors dieser Art haben in der Regel bis fünf Mitarbeiter für die Entwicklung von Hybridschaltungen und die Fertigung einzelner Musterexemplare. Das Labor kann auch zum Studium und für die Erarbeitung der Dickschichttechnik dienen sowie zur Analyse und zu Qualifikationsprüfungen von Hybrid-Bausteinen.

1.2 Die Mittelserien-Fertigung

Hier rechnet man im allgemeinen mit 5 bis 20 Mitarbeitern für die Fertigung von Klein- und Mittelserien (bis zu einigen 10 000 Stück je Serie) bei einer Tageskapazität bis zu einigen 100 Bausteinen.

1.3 Die Großserien-Fertigung

Größere Betriebe beschäftigen 20 bis 50 und mehr Mitarbeiter für die Fertigung von Großserien bis zu Millionenstückzahlen mit einer Tageskapazität von mehreren tausend Stück und darüber.

Grobe Richtwerte des Aufwandes für diese drei verschiede-

Der Autor ist Inhaber der Firma Microelectronic in Oberdischingen bei Ulm.

Es kann zu kostspieligen Fehlschlägen kommen, wenn man die Dickschicht-Schaltungen einfach als „verkleinerte Ausgabe“ der herkömmlichen gedruckten Schaltungen ansieht und dann aus einem gewissen technischen Ehrgeiz heraus darangeht, sie selbst zu fertigen. Der nachfolgende Bericht soll dazu beitragen, solche Fehlschläge in Zukunft zu verhindern – der Autor sprach bereits auf dem „4. Internationalen Kongreß Mikroelektronik“ im Rahmen der Münchener „electronica 1970“ (INEA) über dieses Thema, das er als Lehrbuchautor [1], beratender Ingenieur und Fabrikant durch und durch beherrscht und objektiv beurteilen kann.

denen Dickschichtfertigungen sind in *Tabelle 1* zusammengestellt.

Berücksichtigt man die Anlaufkosten für die ersten zwei Betriebsjahre und die durch den raschen Fortschritt ständig erforderlichen Modernisierungskosten, so ergibt sich für europäische Verhältnisse bis zum Fertigungsstart einer Prototypeneinrichtung ein Betrag von etwa 0,6 Millionen DM, bis zum Anlaufen einer kleinen bis mittleren Serienfertigung ein Betrag von rund 2 Millionen DM und bis zum Fertigungsbeginn einer Großanlage ein Betrag von etwa 5 Millionen DM.

Nur als obere Grenze sei die noch einmalige, vollautomatische Fertigungsanlage mit einer Tageskapazität von mehreren 100 000 Hybridschaltungen erwähnt, die von der Firma IBM in den sechziger Jahren mit einem Aufwand von weit über 100 Millionen Dollar entwickelt und betrieben wurde.

Diese vom Dickschicht-Produzenten zu erbringenden Vorleistungen sind zwar geringer als die Vorkosten für die Fertigung monolithischer Halbleiter-Bausteine, aber doch wiederum beträchtlich höher als die Kosten für konventionelle gedruckte Schaltkarten.

Als erster Anhaltspunkt darf daher normalerweise gelten, daß sich für Gerätefirmen, die aus wirtschaftlichen oder technischen Gründen keine eigene Fertigung konventioneller Schaltkarten unterhalten, auch die Eigenfertigung von Hybridschaltungen nicht lohnt.

2 Aufwandsfaktoren und Risiken

Die in *Tabelle 1* gegebenen Zahlen sind untere Richtwerte. Sie enthalten von jeder Fertigungseinrichtung nur ein Exemplar und gelten für die billigere Löttechnik (vorgekapselte Einbauteile), keine ultrareine (*super clean*) Atmosphäre; keine Bonder für nackte Chips und Kontaktierung, in Konsum- bis einfacher kommerzieller Qualität,

Tabelle 1. Kosten der Dickschicht-Fertigung in Millionen DM

	Prototypen	Mittelserie	Großserie
Investitionen	0,3	0,75	2,0
Betriebskosten 1. und 2. Jahr	0,2	1,0	2,5
Schritthalten	0,1	0,25	0,5
Summe bis Fertigungs-Start	0,6	2,0	5,0

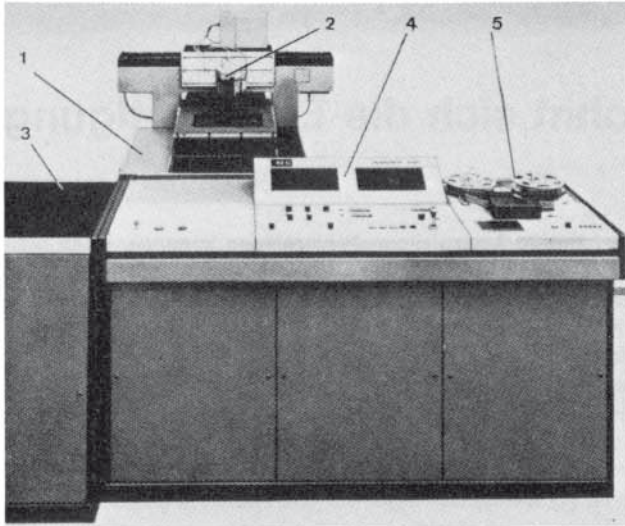


Bild 1. Automatische Zeichenanlage zur Erstellung der Fotovorlagen für die Mikrofotos der Druckmaskensätze, direkt auf Filmmaterial, ausgehend von skizzenhaften Layoutentwürfen des Entwicklungsingenieurs. Es handelt sich um das Modell „Geograph 2000“ von AEG-Telefunken. 1 = Lichtzeichenmaschine NCT 2021, 2 = Lichtzeicheneinrichtung LZE, 3 = Zeichenmaschinen-Elektronik, 4 = Steuereinheit, 5 = Lochstreifenleser mit Spuleinrichtung für die Programmeingabe (Preis 250 000 bis 300 000 DM); mit Raster-Programmierungseinrichtung RPE 2002, zur Erstellung der Lochstreifenprogramme aus den Layoutskizzen auf Rasterpapier (Datenerfassungsgerät) 335 000 bis 600 000 DM, je nach Ausrüstungsumfang und Sonderzubehör. — Andere Hersteller bzw. Lieferanten: Gerber Scientific Instruments, USA (breitestes Anlagenprogramm von preiswerten Systemen wie 723 für 250 000 DM mit Computer bis zu Systemen für über 1 Million DM); Fa. Moderne Maschinen, Hans Preu, System Emma und Fred, 200 000 DM mit Klein-Computer für Datenzuordnung und -speicherung sowie zur Kalibrierung der Maschinenfehler etwa 300 000 DM; Calcomp, USA; Kongsberg, System Kingmatic, Norwegen. — Die Anwendung der elektronischen Rechenanlagen und Programme für die Berechnung der Schaltelementegeometrien und die topologischen Entwürfe befindet sich noch im Entwicklungs- und Erprobungsstadium. Sie ist im Gebiet der digitalen Halbleiter-IS am weitesten und in der Dickschichttechnik — u. a. wegen der größeren Zahl an zu berücksichtigenden Einflußgrößen — weniger fortgeschritten. Der Layoutentwurf mit Rechnerhilfe (CAD = computer aided design) ist zur Zeit noch am wirtschaftlichsten im iterativen Zusammenwirken von Mensch und Computer

einseitige Bedruckung mit Linienbreiten gleich oder größer als 0,5 mm, Widerstände nicht unter 2 mm × 2 mm, Kunstharzkapselung durch Tauchen (keine Vakuum-Vergießeinrichtung, keine Hochdruckpresse). Die Einrichtungen für hermetisch gekapselte Hybridschaltungen für die Militär-, Luft- und Raumfahrtelctronik können doppelte bis mehrfache Investitionen erfordern.

Enthalten sind in den Minimalkosten auch nicht die Aufwendungen für Layoutentwurf und Maskenherstellung (Bild 1) mit Computerhilfe (250 000 DM bis über 1 000 000 DM), für die elektrischen Meß- und Prüfeinrichtungen zur Wareneingangskontrolle der Einbauteile (Testanlagen für digitale und analoge monolithische IS, Transistoren, Dioden, Chip-Kondensatoren, Präzisionswiderstände, Induktivitäten usw.) sowie zur funktionellen Endprüfung der Hybridschaltungen. Vor allem die Prüfplätze für die Funktionstests können mit dem Wechsel der Frequenzlage, des Leistungspegels, der Bausteinfunktion usw. von Typ zu Typ der Hybridschaltungen verschieden sein und schnell Investitionen in der Größenordnung der technologischen erreichen.

Außerdem ist vorausgesetzt, daß Auswahl der technologischen Variante, Planung, Aufbau und Einarbeitung des Personals der Dickschichtabteilung durch einen allseitig

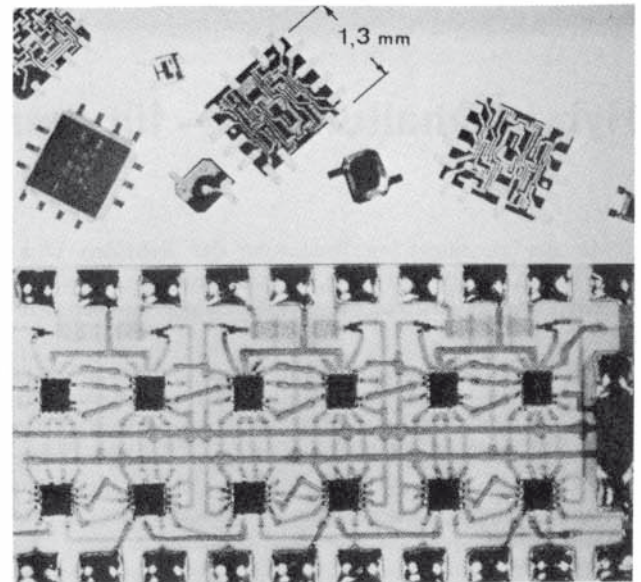


Bild 2. Beamlead-Halbleiterchips in verschiedenen Ausführungen und Dickschicht-Hybridschaltung. Die im unteren Bildteil gezeigte MSI-Schaltung (Größe 13 mm x 25 mm) verbindet 12 Beamlead-Chips, 6 Beamlead-Transistoren, 12 Dickschichtwiderstände und einen Vielschicht-Keramikkondensator mittels dreier Dickschicht-Leiterebenen. Die schmalsten Leiterbahnen und -abstände sind 0,125 mm breit (Microelectronic)

erfahrenen, erstrangigen Experten durchgeführt werden, damit Fehlinvestitionen durch zu schlechte oder übergenaue oder in den Fertigungstoleranzen und -kapazitäten nicht zusammenpassende Geräte und Anlagen vermieden werden (typische Einzelpreise 10 000 bis 100 000 DM), wie auch Verluste durch Bedienungs- und Wartungsfehler. *Selbst unter diesen Voraussetzungen muß der Unternehmer aber damit rechnen, daß die Technologie, auf die er sich einrichtet, ganz oder teilweise überholt ist, wenn die Abteilung nach zwei bis drei Jahren zu fertigen beginnt.* Es ist mehr die Regel als die Ausnahme, wenn eine seit Anfang der sechziger Jahre für die Erarbeitung der Hybridtechnologie aufgebaute Konzernabteilung durch die Übergänge von der Hochvakuum-Aufdampftechnik zur Tantal-Kathodenzerstäubungstechnik, von da zur Siebdrucktechnik mit nackten Chips und Zwischendrähtchen, mehrmals fast die gesamte Ausrüstung wechseln mußte und dabei Millionen von DM verbraucht hat, ohne diese je auch nur annähernd amortisieren zu können. Heute steht sie vor dem Zwang zur Einführung der Beamlead- oder ähnlichen Flipchip-Halbleiter-Komponenten (Bild 2), mit denen die kostspieligen Spezialbonder für Chips und Anschlußdrähtchen nutzlos werden und die noch teureren Beamlead-Bonder (Bild 3) angeschafft werden müssen (30 000 bis 80 000 DM).

Neben dem Überblick durch intensives Mitleben in der technologischen Welt und ihren Randgebieten gehört eben auch Glück dazu, um die günstigen Entwicklungsschritte sofort mit vollem Einsatz mitzumachen und die ungünstigen zu überspringen. Nur die unter solchen günstigen Voraussetzungen wirkenden Gruppen können hoffen, nach einer nicht zu kurzen Durststrecke die Wirtschaftlichkeit und Erträge zu erzielen, die schließlich den Erfolg im Wettbewerb entscheiden.

Diese Risiken und Verluste sind es, die in Europa und Amerika Gerätehersteller veranlaßt haben, die Selbsterarbeitung der Hybridtechnologien einzuschränken oder ganz aufzugeben oder gar nicht erst zu beginnen.

Zur Fehleinschätzung von Aufwand und Erfolg einer Dickschicht-Hybridfertigung neigen besonders diejenigen Gerätehersteller, die sich bereits mit der Erzeugung gedruck-

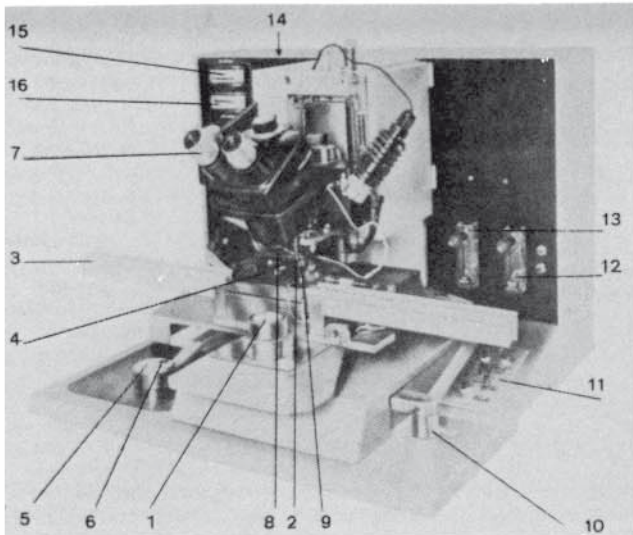


Bild 3. Bonder zum Einsetzen von Beamlead-Bauelementen (Halbleiterchips, Kondensatoren, Widerstände) in die Hybrid-schaltungen. 1 = beweglicher Vorratsteller für die Chips, 2 = Taumelwerkzeug (*wobbel tool*), ein Hohlstempel zum Ansaugen und Anpressen der Chips, 3 = Substrat-Magazin, 4 = geheizte Substrathalterung, 5 = Mikromanipulator, 6 = Auslöseknopf zur Absenkung und Anhebung des Stempels, 7 = Stereo-Mikroskop, 8 = halbdurchlässiger Spiegel zur Einspiegelung des Stempels in das Mikroskop-Sichtfeld, 9 = Glasfaseroptik zur gezielten Ausleuchtung der Stempelunterseite, 10 = Justierhebel zur Voreinstellung und Nachjustierung des Stempels, 11 = Schalter für Vakuum, Substratheizung, Umschaltung Handsteuerung/Automatik der vertikalen Stempelbewegung, 12 = Flußmesser für Kühlwasser, 13 = Vakuometer, 14 = (verdeckt) Armaturen für Stempel- und Substratbeleuchtung, Stempeltemperatureinstellung und Zeiteinstellungen, 15 = Anzeige der Stempeltemperatur, 16 = Anzeige der Substrattemperatur. Es handelt sich um das Modell 576-2 von Kulicke & Soffa, USA (Preis etwa 50 000 DM). Andere Hersteller: Micro Tech Mfg., USA; J. & A. Keller Machine Co., USA; Hugle Industries, USA; Lindberg Hevi Duty/Sola Basic Industries, USA; Unitek, USA

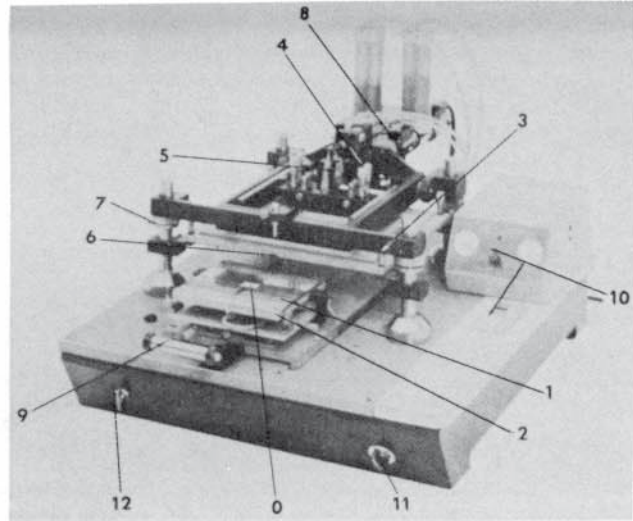


Bild 4. Labor-Siebdruckgerät der amerikanischen Firma AMI, für Prototypen und Kleinserien (100 Drucke je Stunde) mit manuellem Einlegen je eines Substrats (Preis je nach Ausrüstung etwa 15 000 bis 30 000 DM); mittlere Druckmaschinen für maximal 1000 Bedruckungen je Stunde kosten etwa 70 000 DM. 0 = Substrat, 1 = Substratschlitten, 2 = Schlittengrundplatte für die X-, Y- und Winkeljustage der Substrathalterung, 3 = vier Mikrometerschrauben für die Höhen-Feineinstellung und Nivellierung der Siebdruckmaske, 4 = vier Mikrometerschrauben für die Höheneinstellung (Druck) der beiden Rakeln, 5 = Einstellung und Anzeige des Rakel-Anstellwinkels, 6 = Siebmaskenhalterung, 7 = Höhengrobeeinstellung von Druckmaske und Rakel, 8 = Steuernocken für die horizontale Rakelbewegung, 9 = Handgriff für das Vorziehen und Einschieben des Substratschlittens, 10 = Einstell- und Anzeigemittel für Stromversorgung, Druckarten, für Vakuumpumpe und Substrat-Auswerfer, 11 = Druckluftschalter, 12 = Schalter für automatisches Aufsetzen und Abheben des Rakelkopfes. Andere Hersteller: Presco, USA; Aremco, USA; Kressilk, USA; Rondec, GB, Vertrieb durch Wiederholt, BRD; Forslund, USA; DEK, GB, beide durch Peter Jordan, BRD; de Haart, USA; u. a. Für die Massenfertigung werden darüber hinaus Großdruckanlagen, Siebdruck-„Strecken“ eingerichtet, mit automatischen Be- und Entladevorrichtungen für Doppel- und Mehrfachmagazine (z. T. mit Stapelung ohne Zwischentrocknen), mit automatischem Zu- und Abführen der Substrate in die bzw. aus den Druckstationen. Hier werden meist zwei und mehr Muster gleichzeitig gedruckt. Für die Großfertigung sind auch besondere Maschinenvarianten entwickelt worden, z. B. Drucker mit rotierender, statt schiebender Rakelbewegung. Der Investitionsaufwand erreicht hier 250 000 DM

ter Schaltkarten befassen. Sie möchten den in die integrierten Schaltungen verlagerten Fertigungsanteil behalten, möglichst unter Nutzung der in der Schaltkartenfertigung freiwerdenden Kapazität. Man meint dort, eine Dickschichtschaltung sei nicht viel mehr als eine verkleinerte Schaltkarte mit zusätzlich aufgedruckten Widerständen; eine Technik also, die man schon weitgehend beherrsche.

Dabei wird übersehen, daß der eigentliche Siebdruckvorgang in der Dickschichttechnik nur einer von vielen, meist noch viel kritischeren und aufwendigeren Verfahrensschritten ist (Bild 4). Zu den Problemen der ohnehin höheren Druckpräzision und des deckungsgenauen Mehrfachdrucks, zu der zwingend erforderlichen Schichtstärkenkonstanz und bei den Isolierschichten zu der absoluten Porenfreiheit, zu der Forderung nach extremer Staubfreiheit der Arbeitsatmosphäre und Reinheit der Werkzeuge kommt der Umgang mit einer Vielzahl sehr teurer Druckpasten (Grundausrüstung 15 000 bis 50 000 DM), die ständig auf Dispersion, Viskosität und Reinheit gewartet werden müssen. Hinzu tritt die Hochtemperaturtechnologie mit Sonderöfen (Bild 5) mit mehreren exakt geregelten Temperaturzonen und Gasschleusen zur Aufrechterhaltung der speziellen Brennatmosphäre (20 000 bis 200 000 DM). Es folgen

die Montage- und Kontaktierungsplätze mit den oben beschriebenen Problemen, mit dem ungewohnten Arbeiten unter dem Mikroskop, mit Mikromanipulator oder Pinzette und die Kapselungseinrichtungen (Bild 6) in den verschiedensten Varianten, die zum Teil zu den schwierigsten, ausschlußreichsten und teuersten Stationen gehören (20 000 bis 100 000 DM ohne Helium-Leckdetektor).

Dies ist aber nur der technologische Teil des Aufwandes. Die üblichen Fehler der Schaltkarten — hauptsächlich Unterbrechungen oder Schlüsse von Leiterbahnen — sind auch für den Nichtelektroniker durch einfache Sichtkontrolle erkennbar. Die Ermittlung der Abweichungen der Widerstände von ihren Sollwerten und der Schlüsse von gedruckten Leitungskreuzungen oder Dickschichtkondensatoren erfordert dagegen den Einsatz *elektronischer Meßmittel und ausgebildeter Mitarbeiter*.

Für den notwendigen *Abgleich* der gedruckten Widerstände ist eine Abteilung ohne programmgesteuerten Trimmautomaten in der Fertigung nicht wettbewerbsfähig (Bild 7 und 8). Auch die Prüfeinrichtungen für die Vielschichtschaltungen zur Kontrolle der Lagenisolation müssen automatisiert sein. Größer als der Kapitalbedarf für die Fertigungsmeßtechnik ist jedoch, wie gesagt, der für den

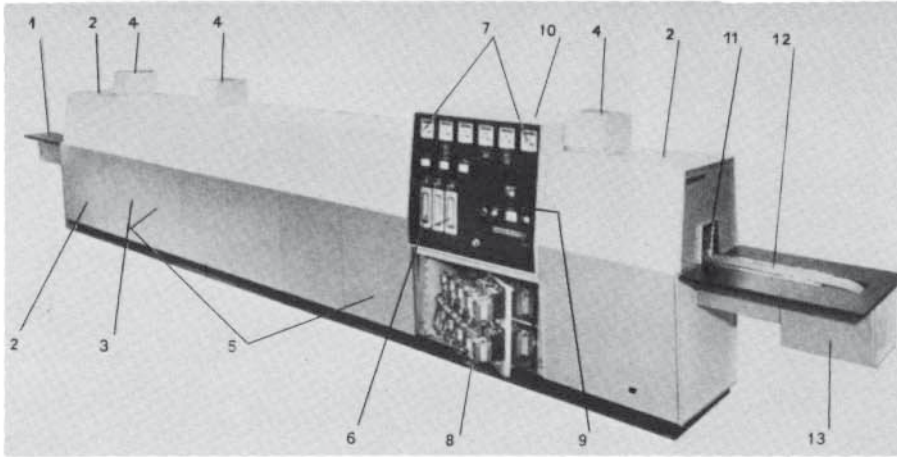


Bild 5. Kleiner Produktionsofen für das Einbrennen der Dickfilme (zumeist zwischen 750 und 1100 °C Spitztemperatur in Luft-(N₂/O₂-)Atmosphäre) mit 6 Heizzonen über zusammen 2 m Länge. Anschlußleistung je nach Modell 8 bis 25 kW. Außenabmessungen etwa 5 m Länge, 1,5 m Höhe, 0,75 m Breite. Durchsatz etwa 100 bis 1000 Substrate von 25 x 25 mm Größe je Stunde. Jedes Substrat muß entsprechend seiner Bedruckungsfolge mit Leiterbahnen, Zwischenisolation, Deckelektroden, Widerständen, Deckglasur u. a. den Ofen mit unterschiedlichen Brennzyklen mehrmals durchlaufen, wenn nicht für jeden Brand ein gesonderter Ofen gleichzeitig betrieben wird. Preisrahmen für Ofen dieser Klasse ca. 50 000 bis 80 000 DM. Im Bild Fabrikat Lindberg Hevi-Duty, USA, Vertrieb

Advanced Semiconductor Materials, BRD. Andere spezialisierte Dickfilmöfen-Hersteller: BTU, USA, Vertrieb bfi-elektronik, BRD; Hayes, USA; Watkins-Johnson, USA; Kulicke & Soffa, USA, Vertrieb Kulicke, Soffa & Seier, Schweiz; Royce-Thermco, GB, Vertrieb Wiederholt, BRD. Laboröfen mit 3 und 4 Heizzonen über etwa 1 m Länge und 3 bis 10 kW Leistungsaufnahme, 5 bis 10 cm Gurtbreite und 25 bis 250 mm je Minute Gurtgeschwindigkeit mit einem Durchsatz um 100 Quadratzollsubstraten je Stunde (ohne Einstell- und Aufheizzeiten) und Gesamtlängen zwischen 2 und 3 m kosten zwischen 20 000 und 40 000 DM.

Mittlere Produktionsöfen mit 7 bis 9 Heizzonen von zusammen 10 bis 30 kW Leistung, Heizstreckenlänge 2 bis 3 m, Gurtbreiten zwischen 10 und 20 cm und einem Durchsatz von mehreren 1000 Quadratzollsubstraten/Std. haben Preise bis zu 130 000 DM. Großanlagen mit 10 und mehr Heizzonen, über 5 und mehr Meter Heizstrecke, 200 mm, 300 mm und mehr Gurtbreite, 9 m und mehr Gesamtlänge, um 100 kW Stromverbrauch für stündlichen Maximalausstoß um 10 000 Substrate/Std. werden speziell nach Kundenwünschen vom Hersteller konstruiert und gebaut zu Preisen in der Größenordnung von 150 000 bis 300 000 DM.

Im Bild bedeutet 1 = Beladestation (Substrateinlauf) mit Transportband, 2 = Lage der Gasschleuse (Gas-,Vorhang) zur Trennung von Außenluft und Ofenatmosphäre (die Ofenatmosphäre ist vorgeheizte und gefilterte Luft kontrollierter Zusammensetzung und Feuchte außer für hartlötbare Metallisierungen aus Mo/Mn oder Mo/Ti, die reduzierende Atmosphären aus H₂ oder nassem NH₃ erfordern), 3 = Gegenstrom-Vorbrennzonen, in der die organischen Bindemittel der Dickfilme vergasen, 4 = Abgaskamin (an Laborabzug anschließen oder zum Abfackeln brennbarer Abgase), 5 = sechs Heizzonen über 2 m mit maximaler Spitztemperatur in der Heizstreckenmitte von 1100 °C, Leistungsaufnahme 24 kW, Gegenstrombelüftung zusammen mit Vorbrennbelüftung 500 bis 2000 l/Std. Luftbedarf, 6 = Strömungsmesser für die Kontrolle von Ofenatmosphäre und Kühlwasser, 7 = getrennte Einstell-, Anzeige- und Regelorgane für alle sechs Heizzonen, 8 = Leistungsteil der Regelelektronik, 9 = Hauptschalter und Kontrollelemente für Heizung, Transportband, Atmosphäre u. a., 10 = Kühlzone, 11 = Bandaustritt, Bandbreite 10 cm, hitzefestes Metallband oder Maschendrahtgeflecht, 12 = Entladestation, 13 = drehzahl geregelter Bandantrieb

Meßgerätepark zum Durchprüfen der Einbauteile und für die Funktionsprüfung der Hybridschaltungen vor und nach der Kapselung. Diese Geräte sind meist so speziell oder so ausgelastet, daß sie auch bei Geräteherstellern zusätzlich

angeschafft werden müssen und nicht aus Entwicklungslabors und Prüffeldern entliehen werden können.

Zum Mehraufwand gegenüber der Schaltkartentechnik ist auf der Elektronikseite auch das Berechnungs- und

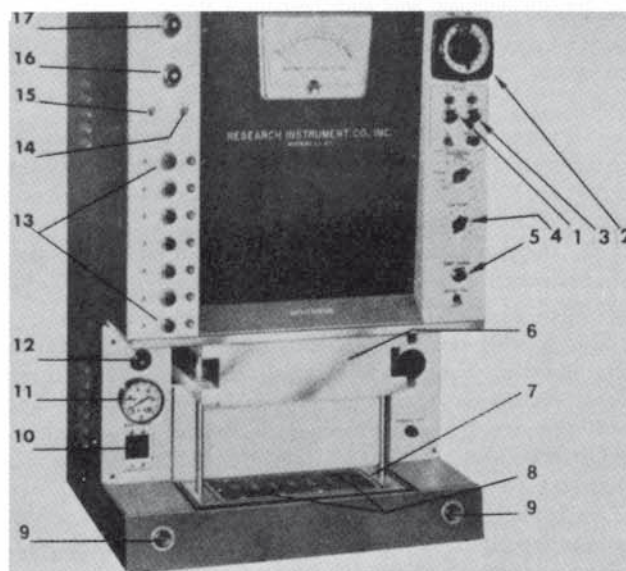


Bild 6. Lötgerät zum hermetisch dichten Verlöten der bestückten Flatpacks mit ihren Metall-, Glas- oder Keramikdeckelchen mittels Metall- oder Glasloten. Einfachere Geräte mit 1 Lötstation kosten 20 000 bis 35 000 DM, Geräte mit 7 (im Bild) und mehr Stationen sowie Trockenbox 50 000 bis über 60 000 DM. Die Kapazität der Mehrstationengeräte liegt mit anteiligen Rüst- und Wartungszeiten bei 10 bis 20 Flatpacks je Stunde (inkl. Ausschub); die reine Zykluszeit einer Verschließung liegt um 1 Minute. In der Massen-

produktion werden Durchlauföfen mit kontrollierter Schutzgasatmosphäre (inerte Gase N₂, He oder Formiergas N₂/H₂) eingesetzt (30 000 bis 100 000 DM). —

Das Gerät wurde von der Research Instruments Co., USA, entwickelt und wird in der BRD durch die Firma Karl Süß KG vertrieben. — Zum Verschließen werden auch das elektrische Widerstandsschweißen (Rollnaht-Schweißen), Ultraschall- und Kaltpreßschweißen angewendet. Letzteres verdient besondere Beachtung, u. a. weil es leichte (Kovar-) Metallkapseln verschließen kann (geringeres Volumen und Gewicht als Keramikapseln, Abschirmwirkung, elastische Ausgleichsmöglichkeit von mechanischen Spannungen, die z. B. durch ungleichmäßige Erwärmung bei Lagerung und Betrieb oder durch Verzug und Verwerfung der Schaltkarten auftreten). Vor allem werden aber thermische und Ultraschallgefährdung der eingebauten Schaltelemente vermieden und es treten keine Dämpfe und Niederschläge von Flußmitteln, Metallen usw. im Gehäuse auf. Außerdem ist das Kaltpreßschweißen sowohl für Kleinserien als auch Massenfertigung geeignet.

Andere Hersteller: GTI, USA; Tekform, USA; Varian Vaccum, USA; Argus, USA, Vertrieb Teknis in BRD; Peco, BRD; Solid State Equipment SSEC, USA, Vertrieb Petersen, BRD.

1 = Zeiteinstellung für die Aufheizdauer, 2 = Zeiteinstellung und -anzeige für die Schmelzphase, 3 = Zeiteinstellung für die Abkühlphase, 4 = Temperatureinstellung für das untere Temperaturplateau, 5 = dto. für das obere Temperaturplateau, 6 = absenkbarer Heizstempel, 7 = wasserkühlabares Heizbecken zur Aufnahme von 7 zu verschließenden Flachgehäusen, 8 = offene Flachgehäuse, 9 = Sicherheitstasten zum Absenken des Heizstempels, 10 = Hauptschalter, 11 = Temperaturanzeige für das Heizbecken, 12 = Temperatureinstellung für dasselbe, 13 = Schalter, Einsteller und Kontrolllampen für die 7 Heizelemente, 14 = Druck/Saug-Schalter, 15 = Betriebsartenschalter Glas-/Metall-Lötung, 16 und 17 = Feineinstellung Nachlaufdruck, Glas und Metall.

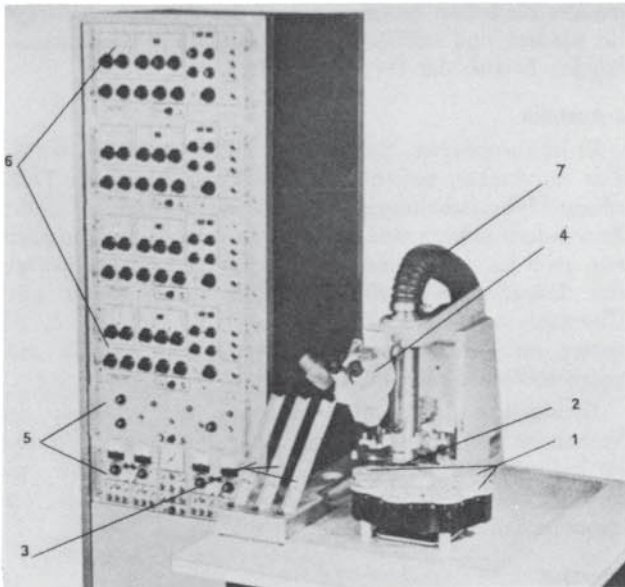


Bild 7. Sandstrahl-Trimmautomat für den gleichzeitigen Abgleich von bis zu acht Widerständen; es handelt sich um das Modell AT-704 A der Firma S. S. White, das mit 4 Sandstrahldüsen, 4 Widerstandsdekaden und 4 Abgleichbrücken etwa 150 000 DM kostet. Kleinere Geräte zum Abgleich je eines Widerstandes liegen etwa bei 30 000 DM. — 1 = Substrate im Rundschaltisch, 2 = Trimmplatz mit Absaugung und Kontaktspitzen, 3 = Substratmagazine, 4 = Stereomikroskop, 5 = Haupteinstellelemente und Kontrollgeräte, 6 = vier Widerstandsdekaden mit Toleranzeingaben und Meßbrücken.

Ähnliche Anlagen werden in der BRD von der Firma Schmall entwickelt sowie von MPM, USA, Vertrieb bfi-elektronik, BRD; Axion, USA; de Haart, USA

Entwurfslabor für die Layouts zu zählen, in dem die Geometrien der Dickschichtwiderstände, -kondensatoren, -leitungskreuzungen usw. nach ihren elektrischen Sollwerten, Abgleichtoleranzen, Strom-, Spannungs- und Verlustwärmefestigkeiten berechnet werden, unter Berücksichtigung der Streukapazitäten, Leiterbahnwiderstände, Kühlverhältnisse u. a. m., wie auch die Konstruktionsabteilung mit dem Umweltlabor die Kapselung, Anschluß- und Montagetechnik abstimmen muß.

Selbst Layout- und Fotolabor für die Fotovorlagen bzw. Mikrofotos müssen zum Teil mit anderen, präziseren Verfahren, Materialien und Geräten arbeiten. In der Feindrucktechnik wirkt sich das bis zur Druckmaskenherstellung aus.

Um Verluste zu vermeiden, sollte man sich auf keinen Fall allein von verkaufseifrigen Anbietern der Fertigungsgeräte leiten lassen, die in einem Ausstellungsraum eine angeblich vollständige Geräteausrüstung für die Dickschichttechnik zum Gesamtpreis von ein- oder zweihunderttausend DM vorzeigen. *Es sind vielmehr von dem Spezialisten, der später für den Erfolg der Abteilung verantwortlich ist, nach mehrmonatiger Recherche die geeignetste Technologievariante und alle zugehörigen finanziellen und personellen Posten zu ermitteln und unter Berücksichtigung der Liefer- und Anlernzeiten netzplan-technisch darzustellen.*

3 Rentabler Umfang der Eigenfertigung von Hybridschaltungen

Die hohen Investitionen, der hohe und rasch weitersteigende technologische Schwierigkeitsgrad sowie die erforderliche intensive Auslastung der Fertigungsstätten lassen die Eigenfertigung der integrierten Hybridschal-

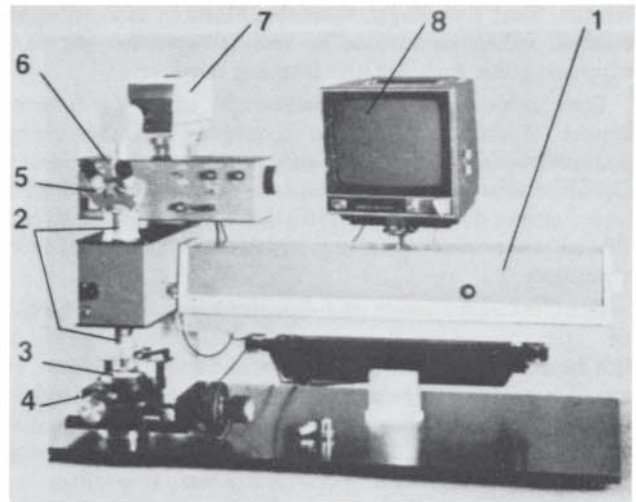


Bild 8. Laser-Trimngerät der amerikanischen Firma TRW Instruments (in der BRD Vertrieb durch die Präzisionstechnik Systemgesellschaft) zum Abgleich jeweils eines Widerstandes mit manueller Substrat-Zuführung für den Laborbetrieb. Der Preis für Geräte dieser Art ohne Fernsehmikroskop aber mit Meßbrücke liegt zur Zeit zwischen 50 000 und 75 000 DM. — 1 = Xenon-Laser für 300 W Impulsleistung und Trimmspurbreiten von 0,01...0,03 mm, 2 = Optik, 3 = Substrat, 4 = Kreuztisch mit Substrathalterung, Kontaktspitzen mit Motorantrieb in X-Richtung sowie manueller Positionierbarkeit in X- oder Y-Richtung, 5 = Stereomikroskop, 6 = Stromversorgung und Steuerung, 7 = Fernseh-Mikroskopkamera, 8 = Fernseh-Bildschirm zur Positionierungs- und Trimmkontrolle.

Weitere Hersteller solcher Geräte: Apollo Lasers, USA; Union Carbide, USA; Ragtheon, USA; Laser Associates, England; Arvin Systems, USA; Hughes Electron Dynamics, USA

tungen in Dickschichttechnik für *alle* kleinen und *fast alle* mittleren Gerätehersteller als unwirtschaftlich erscheinen. Diese Gerätehersteller beziehen solche Bausteine mit Vorteil von technologischen Spezialfirmen, die allerdings zahlreicher und schon in kleinerem Rahmen wirtschaftlich sein werden als in der Halbleitertechnik.

Tabelle 2. Rentabilitätsübersicht der Dickschicht-Fertigung

Art der Hybrid-IS Eigenfertigung	Prototypen- Labor	Mittelserien- Fertigung	Großserien- Fertigung
Größe des Geräteherstellers			
Kleinbetrieb	unrentabel	nicht finanzierbar	nicht finanzierbar
Mittelbetrieb	nur unter günstigen Vorausset- zungen für Produkte A	meist unren- tabel mangels Auslastung	Finanzierungs- probleme
Großbetrieb	unrentabel, nur in bestimmten Fällen bei Be- stehen werks- eigener Hybrid- IS-Fertigung tragbar	nur bei guter Auslastung mit Produkten A und B	meist für Eigenfertigung im Produkt- bereich C rentabel

A = Produktbereich Militär-, Luft- und Raumfahrtelctronik
B = Produktbereich industrielle, kommerzielle, professionelle Elektronik
C = Produktbereich Konsumelektronik

Wie die Halbleitertechnik, so wird auch die Dickschichttechnik der Strukturentwicklung der traditionellen Industriezweige folgen, in denen z. B. die Maschinenbauer rasch die Vorteile des Bausteindenken und -handhabens schätzen

lernten. Statt Kugellager, Getriebe, Motoren usw. selbst zu machen, haben sie rationeller und ertragreicher ihr Maschinenangebot nach Art und Umfang erweitert.

Der technologische Spezialbetrieb kann durch seine bessere Auslastung, Sondererfahrungen und ausgefeilte Rationalisierung in der Regel außerdem — auch für Geräte-Großhersteller — Prototypenentwicklung und Muster-serienfertigung billiger, technisch besser und schneller durchführen, als es eine Abteilung im eigenen Hause (*inhouse*) vermöchte.

Die Gerätegroßfirmen und -konzerne sind, wie im Gebiet der konventionellen elektronischen Bauelemente, gewöhnlich in der Lage, auch große Hybrid-Fertigungsstätten zu erstellen und mit Eigenaufträgen auszulasten. Lohnend ist dies in Wirtschaftsgebieten mit freier Konkurrenz aber nur, wenn dabei Qualität, Liefertreue und Preiswürdigkeit der technologischen Spezialfirmen erzielt werden.

Erschwert wird die Auslastung konzerneigener Hybrid-Fertigungsstätten mittels Aufträgen von anderen Geräteherstellern durch die Konkurrenzsituation auf dem Geräte-markt. Hier hat der neutrale technologische Spezialbetrieb günstigere Absatzbedingungen.

Tabelle 2 gibt eine Übersicht der rentablen Größe der Dickschicht-IS-Eigenfertigung unter Berücksichtigung von Betriebsgröße und Produktbereich der Gerätehersteller. Die Angaben gelten nur unter günstigen Bedingungen, insbe-

sondere für hohen Auslastungsgrad durch interne Aufträge, für raschen und sachkundigen Aufbau und konkurrenz-fähigen Betrieb der Fertigungsstätten.

4 Ausblick

Es ist zu erwarten, daß bis zum vollen Anlaufen der zur Zeit im Aufbau befindlichen Fertigungsstätten für Dickschicht-Hybridschaltungen, das plötzlich allseitig bei den Anwendern erwachende Interesse in Europa für die nächsten zwei bis drei Jahre einen Nachfrageüberhang hervorruft. Dieser kann durch kurzfristige Entschlüsse zu einer Überzahl verspäteter Kapazitätsgründungen führen, die später im verschärften Konkurrenzkampf wieder aufgegeben werden müssen.

Rechtzeitige Information innerhalb und zwischen den Verbänden der Bauelementehersteller und -anwender, auch im europäischen Rahmen, könnte unnötige Verluste, wie sie die Halbleiterindustrie bereits hinnehmen mußte, vermindern helfen.

Literatur

- [1] LEWICKI, A.: Einführung in die Mikroelektronik. 588 S. R. Oldenbourg, München und Wien, 1966; Preis der NTG 1967.
- [2] KIRBY, P. L.: Stand und Richtung der Entwicklung der Dickschicht-Hybridschaltungen. ELEKTRONIK 1969, H. 12, S. 361...364.
- [3] LEWICKI, A.: Neue Entwicklungsrichtungen in der Dickfilmtechnik. 3. Internat. Kongreß Mikroelektronik und Elektroniker 1970, H. 2, Titelseite, S. 1, 57...71.