

Technologie von Halbleiter-Bauelementen - Leistungselektronik

Vorbemerkungen

Durch einen glücklichen Umstand ist es gelungen Dokumente in die Hand zu bekommen, die detailliert über die Entwicklung und Produktion von Halbleiter-Bauelementen in der DDR berichten. Solche Darstellungen sind unter den Bedingungen kapitalistischer Produktionsweise undenkbar – sind sie doch dort Bestandteil best gehüteter Betriebsgeheimnisse.

Ähnlich wie in der “Diodenbibel“ von Dr. Heinz Hornung aus dem “VEB Werk für Fernsehelektronik Berlin“ werden hier Angaben gemacht wie und mit welchen Mitteln man Entwicklung und Produktion – in diesem Fall leistungselektronischer Bauelemente – in Stahnsdorf (bei Berlin) gemacht hat.

Üblicherweise war es zu DDR-Zeiten nicht möglich irgendwelche Bilder oder gar F/E-Unterlagen in die Öffentlichkeit zu bringen. Ausnahmen bildeten Artikel für Fachzeitschriften oder ähnliche Medien, die aber einer strengen Kontrolle der staatlichen Leitung vor der Veröffentlichung unterlagen. Dies sollte insbesondere verhindern, dass Informationen über “Technische Spezialausrüstung“ (TSA) und die mögliche Herkunft aus dem westlichen Ausland an die Öffentlichkeit dringt, weil diese Geräte in der Regel unter dem CoCom-Embargo standen und somit die geheimen Beschaffungswege hätten in Gefahr geraten können.

Erfreulicherweise gelang es bereits frühzeitig eine große Palette von TSA in der DDR herstellen zu können. Dafür war seit Mitte der 1960er Jahre der “VEB Elektromat Dresden“ verantwortlich, welcher später dann gegen Ende der 1970er Jahre in das “Zentrum für Forschung und Technologie Mikroelektronik“ (ZFTM) in Dresden eingegliedert wurde.

Die hier vorliegende Hefereihe der Kammer der Technik (KdT) – Betriebssektion des “VEB Mikroelektronik ‘Karl Liebknecht’ Stahnsdorf“ diente insbesondere zu innerbetrieblichen Weiterbildungsmaßnahmen. Die Texte wurden gescannt und OCR-bearbeitet, wobei die Bilder original beibehalten wurden. Dadurch konnte trotz des Umfangs von durchschnittlich 50 Seiten je Heft die Dateigröße im Vergleich zum einfachen Scan bedeutend verkleinert werden. In den Heften sind aus den o.g. Gründen keine Bilder, sondern nur einfache Skizzen von TSA abgebildet. Da der geneigte Leser sich aber vielleicht doch ein Bild davon machen will, wie solche Geräte in Wirklichkeit ausgesehen haben, sind im Anhang einige Anlagen der damaligen Zeit, sowie auch neuzeitliche aufgeführt.

Inhaltsverzeichnisse

Heft 1 (Doppelheft) - Zyklus I – Scheibenprozesse

1.	Begriffsbestimmung und Abgrenzung Zyklus I	1
2.	Spezifische Merkmale der Silizium-Leistungsbaulemente-Technologie (Abgrenzung zur Mikroelektronik)	1
2.1.	Charakterisierung, des Ausgangsmaterials Silizium	7
2.1.1.	Strukturelle Kristallparameter	9
2.1.2.	Elektrische Parameter	13
2.1.3.	Scheibenparameter	15
2.2.	Das Prinzip der Sauberkeit/Prozeßhygiene	21
3.	Die verschiedenen Grundtechnologien der Leistungsbaulemente	27
3.1.	Die konventionellen Verfahren der Diffusion	27
3.1.1.	Dioden	27
3.1.2.	Leistungstransistoren	30
3.2.	Simultanverfahren der Diffusion	35
3.2.1.	Dioden	35
3.2.2.	Transistoren	37
3.3.	Epitaxie-Verfahren	40
3.3.1.	Dioden	42
3.3.2.	Mehrschichten-Epitaxie-Technologie (MET) für Transistoren	42
4.	Die Hauptverfahrensabschnitte	46
4.1.	Silizium-Scheibenreinigung	46
4.2.	Herstellungsverfahren für pn-Übergänge	48
4.2.1.	Diffusion	48
4.2.1.1.	Trägergas-Diffusion	52
4.2.1.2.	Flüssigdotierphasen-Diffusion	56
4.2.1.3.	Diffusion aus Quellscheiben	58
4.2.1.4.	Diffusion aus festen Dotierphasen (CVD-dotierte Oxide)	61
4.2.1.5.	Ionenimplantation und Tiefendiffusion	63
4.2.2.	Epitaxie	66
4.2.2.1.	Zum Epitaxieverfahren	66
4.2.2.2.	Einfluß des Substrats	69
4.2.2.3.	Einfluß der Reaktions- und Dotiergase	71
4.3.	Oxidation	71
4.3.1.	Trockenoxidation	72
4.3.2.	Feuchtoxidation	74
4.4.	Fotolithografie	75
4.4.1.	Zur Chemie der fotolithografischen Hilfsmaterialien	78
4.4.2.	Die Hauptarbeitsgänge der Komplexen Fotolithografie	80
4.4.3.	Fotolithografische Kontrollen	89
4.5.	Verfahren der Passivierung von pn-Übergängen	91
4.5.1.	Planartechnik-Passivierung	91
4.5.2.	Glaspasivierung	93
4.6.	Metallisierung von Emitter-/Basis- und Kollektorkontaktflächen	98
4.6.1.	Naßchemische Verfahren	98
4.6.2.	Physikalische Metallisierung	101
4.6.2.1.	Bedampfen	101
4.6.2.2.	Katodenzerstäuben	104
4.7.	Mechanische Bearbeitung von Prozeßscheiben	109
4.7.1.	Abdünnen der Prozeßscheiben durch Zwischenläppen	109
4.7.1.1.	Zielstellung	109

4.7.1.2. Verfahren und Ausrüstungen	109
4.7.1.3. Materialien	112
4.7.1.4. Kontrollverfahren	113
4.7.2. Mechanische Bearbeitung der Siliziumscheiben nach dem Epitaxieprozeß	113
4.7.3. Grabenherstellung durch Sägen	114
5. Das Problem der Einheitstechnologie, insbesondere für vergrößerte Scheibendurchmesser	115
6. Kontrollmessungen im Zyklus I	117
Literaturverzeichnis	122
Angewendete Kurzzeichen	124

Heft 2 Technologische Spezialausrüstungen für die Leistungselektronik, Zyklus I

1. TSA zur naßchemischen Bearbeitung im Zyklus I	1
2. TSA zur Herstellung von pn-Übergängen im Zyklus I	11
2.1. Diffusions-, Oxidations- und Tempersysteme	11
2.2. Ionenimplantationsanlage	16
2.3. CVD-Reaktoranlagen	21
2.4. Epitaxie-Reaktoranlagen	26
3. TSA zur Metallisierung von Emitter-, Basis- und Kollektorkontaktflächen	27
3.1. TSA zum naßchemischen Verfahren	27
3.2. TSA zum physikalischen Verfahren	28
3.2.1. Hochvakuum-Bedampfungsanlagen	28
3.2.2. Hochvakuum-Sputteranlagen	33
4. TSA zur Fotolithografie im Zyklus I	41
4.1. Kontaktprinter	41
4.2. Justier- und Belichtungseinrichtungen	44
5. TSA zur mechanischen Oberflächenbearbeitung durch Läppen und Polieren im Zyklus I	49
6. Reine Räume	53
6.1. Historischer Überblick	53
6.2. Grundsätzlicher Aufbau Reiner Räume	53
6.3. Spezielle Ausführungsvarianten Reiner Räume	56
6.4. Reinraumregime	57
6.5. Reinraumüberwachung	62
6.5.1. Mehrmalige, tägliche Kontrolle	63
6.5.2. Temperatur und relative Luftfeuchtigkeit	63
6.5.3. Staubmessungen	64
6.5.4. Langzeiteinflüsse	64
6.6. Partikelzähler	66
6.7. Reparaturarbeiten in Reinen Räumen	68
6.7.1. PVI und Reparaturen an TSA	68
6.7.2. PVI und Reparaturen am Reinraum	69
6.8. Zukünftige Reine Räume	70
Literaturverzeichnis	73

Heft 3 Zyklus II: Dioden und Transistoren

1. Aufgaben des Zyklus II	1
2. Darstellung der angewendeten Grundtechnologien	3
3. Gehäuse für leistungselektronische Bauelemente	6

3.1.	Anforderungen und Auswahlkriterien	6
3.1.1.	Schutz vor Umgebungsbedingungen	6
3.1.2.	Herstellen der Kontakte	6
3.1.3.	Ableitung der Verlustwärme	7
3.2.	Gehäuse für Leistungsdioden und Leistungstransistoren	8
4.	Darstellung der technologischen Hauptschritte	14
4.1.	Vereinzelung	14
4.1.1.	Zielstellung	14
4.1.2.	Vereinzelungsverfahren, Ausrüstungen und Materialien	15
4.1.2.1.	Vereinzelung mittels Außenboardtrennschleifmaschinen	15
4.1.2.2.	Vereinzelung durch Trennätzen	19
4.1.2.3.	Andere Vereinzelungsverfahren	20
4.1.3.	Kontrollverfahren	21
4.2.	Passivierung der Einzelchips	22
4.2.1.	Zielstellung	22
4.2.2.	Verfahren und Materialien	23
4.2.3.	Ausrüstungen und Technologie	26
4.2.4.	Kontrollverfahren	29
4.3.	Chipkontaktierung	30
4.3.1.	Zielstellung der Verfahren	30
4.3.2.	Verfahren	32
4.3.3.	Kontrollverfahren	37
4.4.	Drahtkontaktierung	38
4.4.1.	Zielstellung der Verfahren	38
4.4.2.	Verfahren, Material, Ausrüstungen	38
4.4.3.	Kontrollverfahren	45
4.5.	Zweitabdeckung mit Silikongummi	45
4.6.	Verschluß	46
4.6.1.	Zielstellung	46
4.6.2.	Metall-Glas/Keramik-Gehäuse	47
4.6.2.1.	Materialien, Verfahren, Ausrüstungen	47
4.6.2.2.	Kontrollverfahren	50
4.6.3.	Plastverkappte Bauelemente	51
4.6.3.1.	Materialien, Verfahren, Ausrüstungen	51
4.6.3.2.	Kontrollverfahren	54
4.6.4.	Modulgehäuse	54
4.6.4.1.	Verfahren und Materialien	54
4.6.4.2.	Kontrollverfahren	56
5.	Schwerpunkte der Weiterentwicklung	56
	Literaturverzeichnis	58
	Angewendete Kurzzeichen	60

Heft 4 Technologische Ausrüstungen für die Leistungselektronik, Zyklus II und III (ohne Messtechnik)

0.	Technologische Spezialausrüstungen für die Leistungselektronik	1
1.	TSA zum Vereinzeln	2
1.1.	Gatterläppmaschinen	2
1.2.	TSA zum Ultraschallschneiden	2
1.3.	TSA zum Läppstrahlen	3
1.4.	Gatter- und Hochgeschwindigkeitssägen	4
2.	TSA für Oberflächenpassivierung	4
2.1.	Ätz- und Spülausrüstungen	4
2.2.	Trockeneinrichtungen	5
2.3.	TSA zum Abdecken des pn-Überganges	6
2.3.1.	Abdecken kontaktierter Elemente	6
2.3.2.	Abdecken von Elementverbänden	7
3.	Ausrüstungen zur Chipkontaktierung	8
3.1.	Durchlauf-Kontaktierung	8
3.2.	TSA zur Einzelkontaktierung	11
4.	Magazinsysteme und Verkettungseinrichtungen	13
4.1.	Magazinsysteme	13
4.2.	Verkettungseinrichtungen	16
5.	Ausrüstungen für Bauelementeverschuß	18
5.1.	Allgemeines	18
5.2.	Metallgehäuseverschuß	19
5.2.1.	Kondensatorimpuls-Schweißeinrichtung	19
5.2.2.	WIG-Schweißeinrichtung	22
5.3.	Formmassenverschuß	24
5.3.1.	Maschinen und Ausrüstungen zur Herstellung der Formteile	25
5.3.2.	Aufbau eines Spritzpreßwerkzeuges	27
5.3.3.	Anwendungsbeispiele	31
5.3.3.1.	Spritzpreßwerkzeuge für axiale Bauelemente	31
5.3.3.2.	Spritzpreßwerkzeuge für Trägerstreifenbauten	32
5.3.3.3.	Arbeitsplatz für Formstoffverschuß	34
5.4.	Silikon-Formmasse	35
5.4.1.	Physikalische Eigenschaften im Anlieferungszustand	35
5.4.2.	Physikalische Eigenschaften nach der Verarbeitung	36
6.	Ausrüstungen für die Endfertigung	37
6.1.	Ausrüstungen für die galvanische Bearbeitung von Bauelementen	37
6.1.1.	Aufgaben der galvanischen Oberflächenbehandlung	37
6.1.2.	Gestellgalvanik	37
6.1.3.	Trommelgalvanik	38
6.1.4.	Vibroanlage	41
6.2.	Ausrüstungen für die Kennzeichnung von elektronischen Bauelementen	41
6.2.1.	Aufgaben der Kennzeichnung	41
6.2.2.	Anforderungen an die Stempelfarben	42
6.2.3.	Stempelwerk	42
6.3.	Ausrüstungen für die Verpackung von elektronischen Bauelementen	43
6.3.1.	Aufgaben der Verpackung	43
6.3.2.	Hauptsächliche Verpackungsarten	44
6.3.3.	Gurtungsautomat	44
6.3.4.	Einzel- bzw. Palettenverpackung	46
6.4.	Endfertigungsautomat	46
6.4.1.	Allgemeine Anforderungen	46

6.4.2. Aufbau und Wirkungsweise	47
Literaturverzeichnis	50

Heft 5 Messtechnik für leistungselektronische Bauelemente (Transistoren und Gleichrichterdiolen)

1. Aufgaben der Meßtechnik	1
2. Standardisierung	2
3. Kennwerte und Meßverfahren	3
3.1. Durchlaßeigenschaften	3
3.2. Sperreigenschaften	5
3.2.1. Statisches Sperrverhalten	5
3.2.2. Lawinenverhalten von Dioden	8
3.2.3. Spannungsfestigkeit von Transistoren	8
3.3. Steuerungseigenschaften	13
3.4. Schaltzeiten	16
3.4.1. Dioden	16
3.4.2. Transistoren	19
3.5. Thermisches Verhalten	22
3.5.1. Meßverfahren innerer Wärmewiderstand	23
3.5.2. Rationelles thermisches Prüfverfahren	25
3.6. Dynamische Kleinsignal-Kennwerte	26
3.6.1. Transitfrequenz	26
3.6.2. Kollektorkapazität	27
4. Prüftechnologie und Qualitätssicherung	28
4.1. Scheibenmessung	30
4.1.1. Chipmessung	30
4.1.2. Testfeldmessung	34
4.2. Zwischenmessung	35
4.3. Endmessung	35
4.4. Prüfungen zur Qualitätskontrolle (TKO)	38
5. Meßtechnische Geräte und Ausrüstungen	42
5.1. Handhabungseinrichtungen	42
5.2. Meßeinrichtungen	48
5.3. Informationsverarbeitung und Ausgabeeinrichtungen	52
5.4. Meßautomaten	56

Heft 6 Überwachung des Produktionsprozesses

1. Der Produktionsprozeß als Teil des betrieblichen erweiterten Reproduktionsprozesses	1
1.1. Der Produktionsprozeß und seine Gliederung	2
1.2. Produktionsprozeßkontrolle	3
1.3. Zielfunktion des Prozesses einschließlich der Prozeßkontrolle	5
2. Qualität und das Qualitätssicherungssystem des Betriebes	7
2.1. Qualität und Mustertreue	7
2.2. Qualitätssicherung der Produktionsvorbereitung	8
2.3. Qualitätssicherung in der Produktion	8
2.4. Abnahme- und Typprüfung	13
2.5. Applikation und Reklamation	13
3. Prozeßkontrolle und Prozeßanalysen	15

4.	Mathematisch-statistische Grundlagen der statistischen Qualitätskontrolle	20
4.1.	Stichprobentechnik	20
4.1.1.	Attribut-Stichprobenprüfung	20
4.1.2.	Variablen-Stichprobenprüfung	20
4.2.	Qualitätsregelkarten	21
4.3.	Auswerteverfahren	22
4.3.1.	Korrelationsrechnung	22
4.3.2.	Regressionsrechnung	26
4.3.3.	Trendbetrachtungen	28
4.4.	Lebensdauer- und Zuverlässigkeitsmessung	31
4.4.1.	Lebensdauer	31
4.4.2.	Zuverlässigkeit	31
5.	Weiterentwicklung der Produktionsorganisation, Prozeßsteuerung und Prozeßkontrolle für eine "Rechnergestützte Produktion"	33
5.1.	Definition von CAM	33
5.2.	Grundsätze	34
5.3.	Die technologischen Unterlagen und ihre EDV-gerechte Gestaltung	35
5.4.	Die Produktionsdurchführung und Abrechnung	36
6.	Statistische Hilfsmittel der Stichprobentechnik	38
6.1.	Auswertung von Variablen-Stichproben	38
6.2.	Auswertung von Attribut-Stichproben	40
6.2.1.	Wahrscheinlichkeitsverteilungen	40
6.2.1.1.	Die Binomialverteilung	40
6.2.1.2.	Die Poisson-Verteilung	43
6.3.	Stichprobenpläne	43
7.	Prozeßinformationen	44
	Literaturverzeichnis	46

Anhang A

Technologische Spezialausrüstungen (TSA) vom VEB Elektromat Dresden –
Technische Unterlagen und Prospekte:

- Automatischer Drahtbender 50 - ADB-50,
- Automatischer Vielfachsondentaster – AVT 120,
- Automatisches Justier- und Belichtungssystem – JuB 2111,
- Manuelle Ultraschalldrahtbender – MDB 10 & MDB 20,
- Sichtkontrollplatz – SKP 01,
- Vollautomatischer Drahtbender – VADB-10

Anhang B

17 Bilder von historischen und neuzeitlichen TSA