

| | |
|---|--|
|  | Institut für Aufbau- und Verbindungstechnik der Elektronik Fakultät Elektrotechnik und Informationstechnik Technische Universität Dresden |
| Praktikum | Technologien der Elektronik (FMT) Aufbau- und Verbindungstechnik der Elektronik (ME) |
| Modul | ET-12 06 01 (FMT) / ET-12 06 02 (ME) |
| Versuch | Drahtbonden |

- 1. Versuchsziel**
- 2. Grundlagen**
 - 2.1. Einführung
 - 2.2. Drahtbondverfahren
 - 2.2.1. Thermosonic-Drahtboden
 - 2.2.2. Ultraschall-Drahtbonden
 - 2.2.3. Gerätetechnik
 - 2.3. Simultanbondverfahren
 - 2.3.1. Flip-Chip-Technik
 - 2.3.2. Beam-Lead-Technik
 - 2.3.3. Direktanschlussstechnik
 - 2.3.4. Schichtanschlussstechnik
 - 2.3.5. Trägerfilmtechnik (Tape-Automated-Bonding [TAB])
- 3. Prüfung von Drahtbondverbindungen**
 - 3.1. Visuelle Beurteilungen von Bondverbindungen
 - 3.2. Mechanische Prüfung von Bondverbindungen
- 4. Versuchsdurchführung**
- 5. Schwerpunkte für die Versuchsvorbereitung**
- 6. Literaturverzeichnis**

1. Versuchsziel

Das Ziel des Versuches besteht in der Aneignung der Grundlagen und der wichtigsten Verfahren zur Kontaktierung der Bondpads von Halbleiterchips unter besonderer Beachtung der Drahtbondtechnik.

2. Grundlagen

2.1. Einführung

Zur Chipanschlusskontaktierung gehören alle Verfahren, durch die elektrischen Verbindungen zwischen den strukturierten Anschlussflächen des Chips (Bondpads auf der Planarseite) und den äußeren Anschlüssen (z. B. Anschlusselemente des Gehäuses) zur Verbindung des Bauelementes mit der nächsthöheren Verdrahtungsebene, hergestellt werden.

Die Bondpads bestehen bei Si-Chips aus aufgesputtertem, legiertem Aluminium (z. B. AlSi1; AlCu1; AlSi1Cu0,5; meist aber aus AlCu0,5), haben Abmessungen bis herab zu $43\ \mu\text{m} \times 43\ \mu\text{m}$ und sind etwa $(0,8 \dots 1)\ \mu\text{m}$ dick. In der Optoelektronik, z. B. bei Chips aus GaAs, wird Gold als Padmaterial eingesetzt. Cu ist in Entwicklung.

Weltweit dominiert das Drahtbonds als Form der Einzelkontaktierung. Die beiden typischen Verfahren sind das Thermosonic-(TS-)Drahtbonds mit Au-Bonddraht und das Ultraschall-(US)-Drahtbonds mit AlSi1-Bonddraht; für Anwendungen in der Leistungselektronik Al-Bonddraht ab $125\ \mu\text{m}$ Drahtdurchmesser. Im Verhältnis dazu werden die Simultankontaktierverfahren (typische Vertreter: Flip-Chip-Technik; Beam-Lead-Technik, Direktanschlusstechnik, Schichtanschlusstechnik, Trägerfilmtechnik) in der Massenproduktion von Schaltkreisen weniger eingesetzt. Lediglich die Flip-Chip-Technik erlangt je nach Anwendung eine größere Bedeutung.

2.2. Drahtbondverfahren

2.2.1 TS-Drahtbonds

Das TS-Drahtbonds ist ein Pressschweißverfahren zur unlösbaren, stoffschlüssigen Verbindung gleich- oder verschiedenartiger Werkstoffe durch geeignete Kombination der Verfahrensparameter Ultraschall-Leistung, Temperatur, Druck und Zeit. Mindestens einer der beiden Werkstoffe muss bei der Arbeitstemperatur duktil sein. Die Verbindung entsteht nach plastischer Deformation des duktilen Verbindungspartners, wobei Oberflächenschichten zerstört und verdrängt werden, die Kristallgitter sich bis in den Bereich atomarer Bindungskräfte (Adhäsion) annähern und Diffusionsvorgänge stattfinden.

Zur Herstellung der Verbindung muss der Kontaktzone Energie zugeführt werden. Da in gewissen Grenzen eine Energieform durch eine andere ersetzbar ist, kann beim TS-Bonds, falls die Verfahrenstemperatur beschränkt werden muss (z. B. Glasübergangstemperatur bei Leiterplatten als Chipträger), der Energiefehlbetrag beispielsweise durch Erhöhung der Ultraschallenergie (Ultraschall-Leistung und/oder Ultraschall-Frequenz, die jedoch durch das Transducer-System vorgegeben ist) ausgeglichen werden. Der verbindungsfördernde Einfluss des Ultraschalls beruht insbesondere auf der Verbesserung des Fließverhaltens der Werkstoffe und der damit verbundenen verstärkten Beseitigung der Oberflächenschichten sowie einer Intensivierung der Diffusionsvorgänge.

Das TS-Drahtbonds findet in der Aufbau- und Verbindungstechnik als Kugel/Keil-Bonds für die Kontaktierung von integrierten Schaltkreisen auf Trägerstreifen (Lead-Frames) mit nachfolgender Plast-Verkappung die breiteste Anwendung. Es wird aber auch in der Hybridtechnik und beim Kontaktieren auf Leiterplatten (Chip-on-Board [COB]- bzw. Board-on-Chip-[BOC]-Technik) eingesetzt. Der Draht wird dabei durch eine Keramik-Kapillare geführt und mit ihr positioniert und kontaktiert.

Als Bonddrähte (üblicher Durchmesserbereich von $17,5\ \mu\text{m}$ bis $50\ \mu\text{m}$) werden dotierte (Zusätze deutlich unter 100ppm) oder legierte Golddrähte (mit einem höheren Anteil von Zusätzen) verwendet. Legierungszusätze und Dotierungen dienen primär der Veränderung der mechanischen Eigenschaften (Duktilität, Reißlast, Dehnung etc.). Sie nehmen im Allgemeinen keinen merklichen Ein-

fluss auf die Bildung des grundsätzlichen Kontaktsystems Au-Al beim chipseitigen Al-Pad.

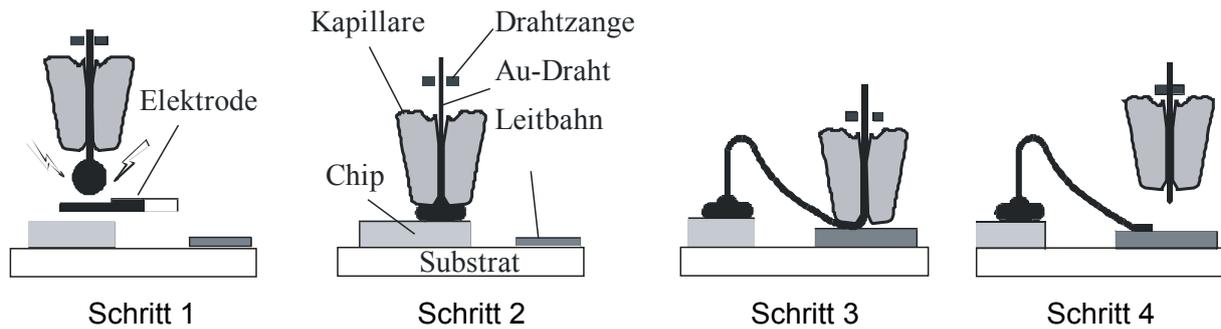


Bild 1: Verfahrensprinzip beim TS-Kugel/Keil-Bonden

- | | |
|-----------|--|
| Schritt 1 | Kugelanschmelzen |
| Schritt 2 | Positionierung und Kugelkontakt auf dem Chip |
| Schritt 3 | Drahtmanipulation (Looping), Positionierung und Keilkontakt auf dem Außenanschluss |
| Schritt 4 | Hergestellte Drahtbrücke, Drahtabriss |

Das Verfahren (siehe Bild 1) war praktisch bisher auf Au-Bonddraht beschränkt, da dieser die Eigenschaft besitzt, durch Einfluss eines Lichtbogens oxidfreie und einheitlich geformte Kugeln am Drahtende auszubilden. Nachteilig sind die Kosten des Edelmetalleinsatzes, vor allem mit wachsendem Drahtdurchmesser.

Das beim TS-Drahtbonden hergestellte chipseitige Kontaktsystem Au/Al ist zuverlässig einsetzbar, wenn die thermische (Dauer-)Belastung nicht über ca. 150°C liegt. Die ggf. kurzzeitig höheren Bondtemperaturen schaden dem Kontakt nicht. Bei dauerhaft höherer Temperaturbeanspruchung jedoch können Diffusion und Phasenbildung zu Ausfällen führen.

Das anschlussseitige Kontaktsystem Au/Ag (bei veredelten Trägerstreifenzinken) gilt unter praktischen Einsatzbedingungen als zuverlässig; sehr zuverlässig ist auch das Monometallsystem Au/Au, das beispielsweise beim Bonden auf Goldleiterzügen in der Dickschicht- Hybridtechnik oder auf "Dick-Gold" in der COB/BOC-Technik bzw. bei Keramik-Gehäusen, entsteht.

Die Einstellwerte der Verfahrensparameter sind immer an die realen Eigenschaften der Verbindungspartner und Bondausrüstungen gebunden und müssen daher für jeden konkreten Anwendungsfall optimiert werden. Als Kriterien gelten dabei maximale Produktivität und Verfahrensausbeute bei ausreichender Kontakt-Festigkeit und Kontakt-Zuverlässigkeit. Die Kontaktfestigkeit wird in erster Näherung durch mechanische Abreiß- (Drahtbrücke oder Keilkontakt) oder Schertests (Kugelkontakt) an der Drahtbrücke gemessen.

Tabelle 1 zeigt übliche Einstellwerte für die Verfahrensparameter. Die notwendige Bondtemperatur wird in der Regel durch Erwärmung des jeweilig zu bearbeitenden Bauteils von der Bauteilhalterung her erzeugt.

Tabelle 1:Verfahrensparameterrichtwerte beim TS-Bonden mit Au-Draht, (25-33) µm Durchmesser

| | |
|--------------------|--|
| Bondtemperatur | (220 - 270) °C; minimal (80 - 120) °C, auch abhängig von der Transducerfrequenz |
| Bondkraft | (0,3 - 0,7) N |
| Bondzeit | (10 - 40) ms |
| Ultraschalleistung | vor allem von der Höhe der Bondtemperatur, aber auch von der konkreten Bauelementekonfiguration und dem Schwingersystem abhängig |

2.2.2. US-Drahtbonden

Das US-Bonden ist ein Kaltpressschweißverfahren, bei dem durch Druck und Ultraschallschwingungen gleich- oder verschiedenartige Werkstoffe ohne das Entstehen einer flüssigen Phase miteinander verbunden werden. Durch Reibung zwischen den Verbindungspartnern und unterstützt durch deren plastische Verformung werden Oxidschichten zerstört und deren Überreste zusammen mit anderen Fremdschichten an die Peripherie der Schweißzone gedrängt bzw. in das weichere Material eingedrückt und gleichzeitig Unebenheiten sowie Oberflächenkontaminationen beseitigt. Die Verbindung beruht auf der Wirkung atomarer Kräfte, wobei Diffusion eine untergeordnete Rolle spielt.

Als Kontaktierwerkzeug wird ein Bondkeil, der meist aus Wolframkarbid, aber auch aus Titankarbid besteht, benutzt. Im Unterschied zum TS- Kugel/Keil- Bonden ist durch diese Werkzeugform die Drahtbrücke nur in einer bestimmten Richtung, in Transducer-Längsrichtung, ziehbar, so dass der Bauteilhalter oder, vor allem bei automatischen Bondern, vorzugsweise der Bondkopf vor Ausföhrung der Drahtbrücke in ggf. andere Drahtziehrichtungen gedreht werden muss, was maßgeblich die Verfahrensproduktivität beeinflusst.

Für die Drahtkontaktierung durch US-Bonden wird in der Regel Draht auf Al-Basis eingesetzt. Während im Durchmesserbereich über 100 µm meist Reinaluminium (als Draht oder neuerdings auch als Bändchen) Verwendung findet, werden dünnere Drähte (üblich 25 µm – 100 µm Drahtdurchmesser) aus legiertem Material hergestellt, um es ziehfähig und am Bonder verarbeitbar zu machen. Unter den möglichen Legierungen findet AlSi1 für das US-Drahtbonden breite Verwendung. Der Zusatz von Si wurde anfangs bevorzugt, weil dadurch das chipseitige Kontaktsystem (AlSi1) unverändert erhalten bleibt; aus metallurgischer Sicht führt der Zusatz von 1% Si jedoch zu einem heterogenen Stoffsystem, weil bei Raumtemperatur nur etwa 0,02 Masse-% Si in Al stabil löslich sind.

Bild 2 zeigt das Verfahrensprinzip beim US- Bonden

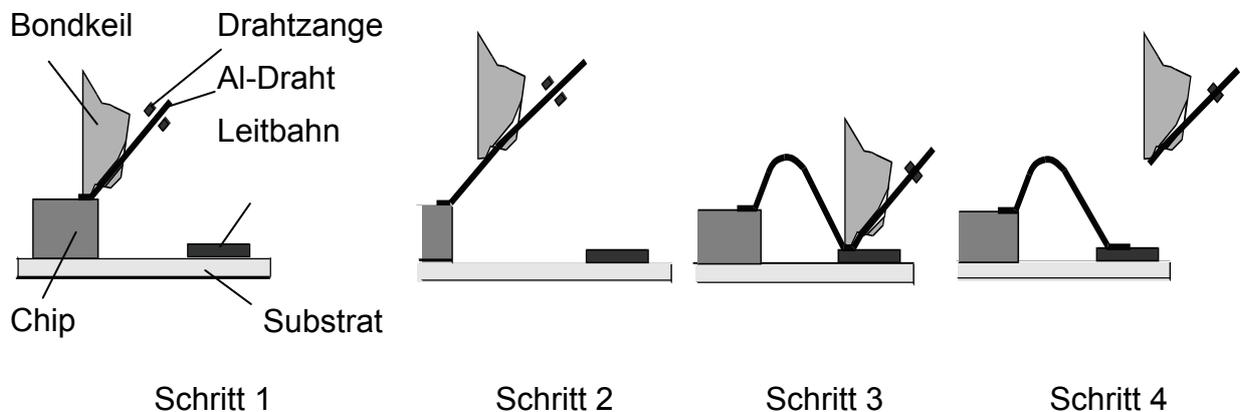


Bild 2 Verfahrensprinzip beim US- Keil/Keil- Bonden
Schritt 1 Positionierung und Keilkontakt z. B. auf dem Chip
Schritt 2 Drahtmanipulation (Looping) zum Außenanschluss
Schritt 3 Positionierung und Keilkontakt auf dem Außenanschluss
Schritt 4 Hergestellte Drahtbrücke, Drahtabriss

Da das Verfahren im Gegensatz zum TS-Bonden bei Raumtemperatur, also ohne Substratheizung, problemlos arbeitet, können temperaturempfindliche oder schwierig zu erwärmende (z. B. besonders große) Bauelemente günstig kontaktiert werden. So findet das US-Drahtbonden in der Aufbau- und Verbindungstechnik vorwiegend bei der Produktion von Hybridschaltkreisen sowie in der COB-Technik, bei Leiterplatten mit niedrigem T_g , Verwendung und wird teilweise in der Optoelektronik eingesetzt. Der Einsatz bei der Montage von Schaltkreisen in Keramikgehäusen ist der Tatsache geschuldet, dass das chipseitige monometallische Al/Al-Kontaktsystem die höheren Gehäuseverschlusstemperaturen (Glaslot) zuverlässiger übersteht. Die hohe Zuverlässigkeit des monometallischen Al/Al- Kontaktes ist auch der ausschlaggebende Grund für den Einsatz dieser Kontaktier-technologie („Al-Dickdrahtbonden“) bei Bauelementen oder Systemen in der Leistungselektronik.

Durch das breite Einsatzspektrum kommen im Gegensatz zum chipseitigen Kontaktsystem anschlussseitig sehr unterschiedliche Werkstoffe in Betracht (Metalle, Legierungen, eingebrannte Dickschichtpasten). Die wesentlichen Kriterien, unter denen dabei z. B. das Kontaktsystem Al/Au zuverlässig ist, wurden bereits in 2.2.1. genannt; abzurufen ist beispielsweise vom Kontaktsystem Al/Ag, insbesondere bei Feuchtegefahr. Günstig sind die Materialpaarungen Al/Ni bzw. Al/FeNi-Legierungen, aber auch Al/Cu/Ni/flash- Au.

Auch beim US- Bonden müssen die optimalen Einstellwerte der Verfahrensparameter für jeden Anwendungsfall experimentell ermittelt werden, wobei die Festigkeit der Kontakte, gemessen durch "Abreißfest" an Einzelkontakten bzw. ganzen Drahtbrücken, auch hier übliches Bewertungskriterium ist. Für die Verarbeitung von AlSi1-Draht, (25-33) μm Durchmesser liegen die Verfahrensparameter in folgender Größenordnung (Tabelle 2):

Tabelle 2: Verfahrensparameterrichtwerte beim US-Bonden mit AlSi1-Draht , (25-33) μm Durchmesser

| | |
|--------------------|---|
| Bondkraft | (30 bis 60) cN |
| Bondzeit | (5 bis 60) ms |
| Ultraschalleistung | unter 1 W, womit Schwingungsamplituden kleiner als 2 μm erzeugt werden |

2.2.3. Gerätetechnik

Drahtbonder bestehen allgemein aus folgenden Baugruppen:

- Bondeinheit mit Bondkopf und Bauteilhalter;
- Manipulier- und Betrachtungseinrichtung;
- Transport- und Magaziniersysteme für die zu bearbeitenden Bauteile;
- Baugruppen für Steuerung, Hilfsprozesse, Energie- und ggf. Medienzuführung.

Handelsüblich sind sowohl universell einsetzbare Laborgeräte (manuelle oder halbautomatische Drahtbonder) als auch hochproduktive Einzweckausrüstungen (vollautomatische Drahtbonder). Bei manuellen Geräten müssen alle Bondpositionen von Hand angefahren werden; das Herstellen der Kontakte erfolgt automatisch. Halbautomaten Bonden jeweils nach dem Positionieren des 1. Bonds eine Drahtbrücke automatisch. Beim Vollautomaten wird die Lage der Chips durch ein Strukturerkennungssystem ermittelt. Die Herstellung aller Drahtbrücken erfolgt automatisch und die Arbeitskraft führt am Bonder, neben gelegentlichem Draht- bzw. Werkzeugwechsel nur noch Be- und Entladearbeiten, falls diese nicht in automatische Fertigungslinien integriert sind, aus und kann damit mehrere Geräte überwachen. Die Produktivität (auch abhängig von der Drahtbrückengeometrie) von Vollautomaten liegt beim TS- Bonden bei mehreren 10 und beim US- Bonden bei bis zu 10 Drahtbrücken pro Sekunde.

Die Bondparameter werden entsprechend programmiert. Bei Automaten gilt dies nicht nur für Kraft, Zeit und US- Leistung, sondern auch für den Bewegungsablauf bei der Herstellung der Bondbrücken. Speziell ausgeformte, hochgradig genau reproduzierbare "Loops" mit minimalen Höhen (80 μm bis 100 μm) für sehr flache Bauelemente und geringen seitlichen Abständen (< 100 μm) sind Stand der Technik.

Während ihres bisherigen Einsatzes erfuhren sowohl die Drahtbondtechnologien als auch die entsprechenden Geräte, Werkzeuge und Halbzeuge eine systematische Weiterentwicklung. Die wesentlichen Zielrichtungen dieser Entwicklung waren und sind die Erhöhung von Herstellungsqualität bzw. Ausbeute (Prozessstabilität), Produktivität (Durchsatz), Einsatzbreite (Flexibilität) und Einsatzzuverlässigkeit (Kontaktzuverlässigkeit) der Verbindungen.

So konzentrieren sich einige Arbeiten auf die weitere Verbesserung der Dünndrahtbondverfahren durch den Einsatz von Schwinger- bzw. Transducersystemen, die bei US-Frequenzen oberhalb der bisher weitgehend üblichen Standardfrequenz von etwa 60 kHz arbeiten. Ursache dafür ist, dass ein deutlicher Einfluss der Transducerfrequenz auf die Qualität der Bondungen ermittelt wurde. Der genannte Trend betrifft das TS- und das US- Bonden gleichermaßen. Leistungsfähige Schwinger-

systeme für etwa 100 kHz sind hier beim US-Bonden und für 120 kHz bis 130 kHz beim TS- Bonden bereits erfolgreich im Einsatz. Höherfrequente Schwingersysteme bewirken allgemein folgende Vorteile:

- **Verbesserung der Qualität des Bondprozesses** durch die Steigerung von Verfahrens- und Kontaktzuverlässigkeit, vor allem bei bisher schlecht bondbaren Bauelementekonfigurationen (z. B. sehr sprödes, ultraschall- bzw. bruchsensibles Material oder spezielle Dünnschicht- oder Padmetallisierungen);
- **mögliche Reduzierung der erforderlichen Bondzeiten** und damit eine Produktivitätserhöhung;
- **Erweiterung der Einsatzbreite des Drahtbondens** durch die Möglichkeit der Bearbeitung bisher nicht drahtbondbarer Konfigurationen (z. B. sehr weiche und temperatur-empfindliche $A_{II}B_{VI}$ -Halbleiter);
- die **Verringerung der Substrattemperatur** auf unter 120°C beim TS- Bonden (Low-temperature-Bonden).

Demgegenüber wird häufig ausgeführt, dass mit zunehmender Transducerfrequenz die Prozessfenster enger werden und der Prozess damit selbst sensibler. Gegenwärtig zeigt sich, dass Transducerfrequenzen um ca. 120 kHz auch in Zukunft als industrielle Standardanwendungen aktuell bleiben.

Beim US-Bonden und beim TS-Bonden ist man auch bestrebt, in zunehmend engerem Raster (Fine-pitch-Bonden) auf immer kleineren Bondpads zu arbeiten. So tendiert die freie Padfläche bei bestimmten Chiptypen (z. B. Speichern oder Prozessoren) zu Abmessungen in Bereichen um bzw. unter 60 μm x 60 μm . Namhafte Hersteller bieten gegenwärtig sogar schon Chips im Bondpad-Pitch von 50 μm und geringer an.

Beim TS-Bonden erreicht man dies in erster Linie durch bereits standardmäßig angebotene spezielle Kapillarmformen (z. B. Slim-line-Typen aus spritzgegossener hochdichter Keramik). Außerdem wird der Drahtdurchmesser bzw. der Durchmesser der angeschmolzenen Kugeln weiter verkleinert. Er liegt bei Sonderanwendungen bereits unter dem 1,5-fachen des Bonddrahtdurchmessers. Beim Einsatz von Bonddraht mit einem Durchmesser von 25 μm erfolgt gegenwärtig industriell das Ball-Bonden im Pitch von 70 μm auf Pads von 63 μm x 63 μm bzw. im Pitch von 60 μm auf Pads von 52 μm x 52 μm . Für das Bonden im Pitch von 50 μm auf Pads von 43 μm x 43 μm wird Au-Bonddraht von 20 μm Durchmesser eingesetzt. Auch Drähte mit einem Durchmesser von 17,5 μm befinden sich bereits in der industriellen Erprobung. Eine weitere Verringerung dieses Durchmessers stellt extreme Anforderungen an das Handling und erforderte völlig neuartige Toolkonzepte.

Beim US-Bonden werden Bondkeile zur Realisierung von Pitches unter 80 μm in senkrechter Richtung freigeschliffen oder bereits in Slim-line-Form hergestellt.

Kupfer in der Aufbau- und Verbindungstechnik

Kupfer ist unter den Metallen der beste elektrische Leiter und hat im Hinblick auf die Aufbau- und Verbindungstechnik mehr oder weniger gute mechanische Eigenschaften. So gewinnt Kupfer zunehmend an Bedeutung als Leitbahn- bzw. Padmaterial auf Halbleitern, als Bonddrahtwerkstoff sowie als Leitermaterial auf der nächsthöheren Verdrahtungsebene (Leiterplatten, Trägerstreifen, Dick- und Dünnschichten). Ein Nachteil des Kupfers (im Vergleich zu den bisher üblichen Kontaktwerkstoffen wie Gold und Aluminium) besteht in seiner Oxidations- bzw. Korrosionsneigung bis in die Tiefe. Grundlegend und vordringlich zu lösen sind daher alle Fragen der Oberflächenbehandlung, -passivierung und -aktivierung des Kupfers, um eine qualitäts- und quantitätsgerechte Kontaktierung zu gewährleisten. Entsprechende Untersuchungen, verbunden mit Arbeiten zur Kontaktieretechnologie des Kupfers, sind gegenwärtig in der Anfangsphase. So wird auch Kupferbonddraht hergestellt, bisher aber (noch) nicht in nennenswerter Größenordnung eingesetzt. Ein Grund dürfte auch die Härte des Kupfers beim Kontaktieren auf dem Halbleiter sein. Es deutet sich an, dass Abhilfe andere Pad-Aufbauten, als die unter Abschnitt 2.1. genannten, schaffen könnten.

2.3. Simultanbondverfahren

Unter diesem Begriff sind die Verfahren zusammengefasst, bei denen alle Bondpads des Chips gleichzeitig oder in Gruppen mit den Außenanschlüssen des Gehäuses oder eines anderen Verdrahtungsträgers verbunden werden. Dabei wird im allgemeinen kein Bonddraht verwendet. Obwohl in den letzten Jahrzehnten eine ganze Reihe solcher Verfahren entwickelt wurde, hat bislang nur die Flip-Chip-Technik weltweite Bedeutung erlangt. Im Folgenden werden die Verfahren im Überblick vorgestellt.

Im Bild 3 sind die Grundprinzipien der bekanntesten Verfahren dargestellt.

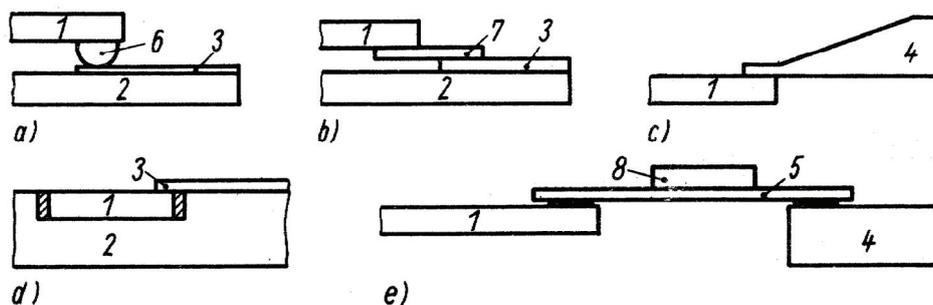


Bild 3: Grundprinzipien der bekanntesten Simultanbondverfahren

- a) Flip-Chip-Technik; b) Beam-Lead-Technik;
- c) Direktanschlusstechnik; d) Schichtanschlusstechnik;
- e) Trägerfilmtechnik (TAB)

- 1 Chip; 2 Verdrahtungsträger; 3 Leiterzug; 4 Trägerstreifen-Lead;
- 5 Trägerfilm mit Isolierschicht; 6 Hügel (Bump)
- 7 Bändchen; 8 Isolier- und Stützfolie

2.3.1. Flip-Chip-Technik

Diese Technik verwendet spezielle Bondhügel (Bumps) mit meist metallurgisch kompliziertem Aufbau, die vorwiegend auf dem Chip aufgebracht werden. Typisch ist die sog. "face-down"-Montage, bei der die Planarseite des Chips im montierten Zustand dem Verdrahtungsträger zugekehrt ist (Bild 3 a). Je nach dem Bumpaufbau erfolgt die Kontaktierung dabei durch Löten, Thermokompression oder Kleben.

2.3.2 Beam-Lead-Technik

Gemäß Bild 3 b benötigt die Beam-Lead-Technik flexible bändchenförmige Anschlusselemente aus Au. Diese werden bereits im Waferprozess gemeinsam mit der Chipmetallisierung hergestellt und erfordern einen beträchtlichen Edelmetall- und Verfahrensaufwand. Diese Technik genügt wegen der Reduzierung von Kontaktstellen besonders hohen Zuverlässigkeitsanforderungen und wird vor allem in der VHF-Technik eingesetzt.

2.3.3. Direktanschlusstechnik

Wie aus Bild 3 c ersichtlich, ist dieses Anschlusskontaktierverfahren dadurch gekennzeichnet, dass durch speziell geformte und beschaffene Trägerstreifen-Leads ein direkter Kontakt mit den Chipbondpads angestrebt wird. Großtechnische Realisierungen sind nicht bekannt.

2.3.4 Schichtanschlusstechnik

Auf Substraten oder in Substratfenstern werden Chips in Plast bzw. Glas eingebettet und anschließend die elektrischen Verbindungen zwischen Chipbondpads und den Außenanschlüssen durch

Vakuumbeschichtung (Aufdampfen bzw. Sputtern) oder lasergestützte Schichtabscheidung hergestellt. Bild 3 d zeigt das Prinzip.

Großtechnische Realisierungen des Verfahrens sind ebenfalls nicht bekannt; gelegentliche Anwendungen gibt es in der (IR-)Sensortechnik.

2.3.5 Trägerfilmtechnik (Tape-Automated-Bonding [TAB])

Als Trägerfilm werden vorgefertigte Anordnungen flexibler metallischer Folienleiter (meist Cu) von 20...70 µm Dicke bezeichnet, die für die automatische Montage vorteilhaft in großer Länge mit standardisierter Randperforation in Kinofilmabmessungen hergestellt und meist von Rolle zu Rolle (niederpolige Bauelemente im 8- oder 16-mm-Format) verarbeitet werden.

Man unterscheidet:

- einschichtige Trägerfilme, die nur aus strukturierter Cu-Folie bestehen,
- zweischichtige Trägerfilme (seltenster Fall), bei denen die Cu-Folie mit Ausnahme der Randflächen zur Vermeidung des Kantenanschlusses mit der Peripherie des Chips eine dünne Polymer-Isolationsschicht trägt,
- dreischichtige Trägerfilme, bei denen eine stabile Polymerfolie (1. Schicht) das eigentliche Trägermaterial darstellt, auf das mittels Kleber (2. Schicht) eine Cu-Kaschierung (3. Schicht) aufgebracht und dann strukturiert wurde.

Im Allgemeinen sind Chips und/oder Trägerfilm mit Bondhügeln versehen.

Die Kontaktierung erfolgt in 2 Schritten. Zunächst werden die Chippads mit den Leiterinnenenden des Trägerfilms verbunden (Innenbonden). Danach erfolgt das Außenbonds, indem die Folienleiter-Außenenden auf Trägerstreifen-Leads bzw. Leiterbahnen anderer Verdrahtungsträger kontaktiert werden (Bild 3 e).

Gegenwärtig wenden einige Firmen diese Technologie für ein ausgewähltes Schaltkreissortiment an, wobei aber bei weitem nicht die Anwendungsbreite des Drahtbondens und auch nicht die der Flip-Chip-Technik erreicht wird.

3. Prüfung von Drahtbondverbindungen

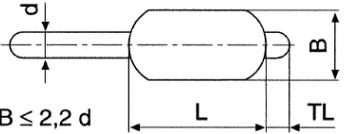
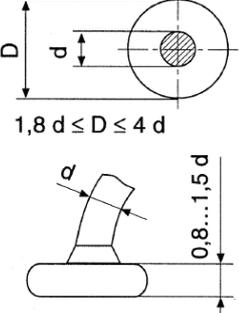
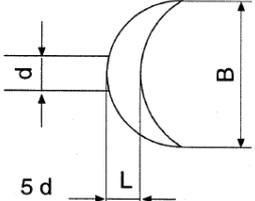
Neben einer visuellen Beurteilung der Bondverbindungsstellen ist das vorrangige Kriterium zur Bewertung der Prozessqualität beim Bonden die mechanische Festigkeit der Verbindungen. Darüber hinaus sind natürlich auch elektrische Messungen des Kontaktwiderstands möglich, in der Regel jedoch deutlich aufwendiger zu realisieren.

3.1 Visuelle Beurteilungen von Bondverbindungen

Bei der visuellen Beurteilung werden bewertet:

- die Verformung des Drahtes am eigentlichen Bond
- die Position des Bonds auf dem Bondpad
- die Lage und Form der Bondbrücken

Tabelle 3: Beurteilungskriterien für Bondstellen (nach [1])

| | | |
|---|--|---|
|  <p> $1,2 d \leq B \leq 2,2 d$ $1,5 d \leq L \leq 3,5 d$ </p> |  <p> $1,8 d \leq D \leq 4 d$ $0,8 d \leq \text{Kontakthöhe} \leq 1,5 d$ </p> |  <p> $1,2 d \leq B \leq 5 d$ $0,5 d \leq L \leq 3,5 d$ </p> |
| <p>US-Wedgebond</p> | <p>Ball-Bond</p> | <p>Tailless Bond</p> |

3.2 mechanische Prüfung von Bondverbindungen

Beim **Pulltest** wird die Bonddrahtbrücke mit einem Haken gefasst und mit einer kontinuierlich ansteigenden Zugkraft bis zur Zerstörung beaufschlagt.

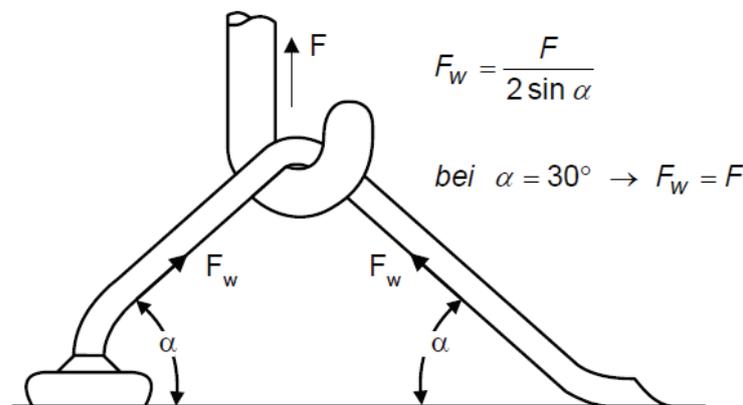


Bild 4: Prinzip des Pulltests

Genau genommen ist die gemessene Kraft nur dann der tatsächlichen Abreißkraft gleichzusetzen, wenn zum einen der Abstand zu beiden Bonds gleich und zum anderen der Winkel α an beiden Seiten der Bondbrücke 30° beträgt. Dies kann nur eingehalten werden, wenn beide Bonds auf gleicher Höhe sind, was bei einer Bondverbindung vom Chip zu einem Substrat oder Interposer gewöhnlich nicht der Fall ist. Es existieren Korrekturfaktoren zur Berücksichtigung dieses Sachverhaltes.

Neben der gemessenen Kraft ist der Fehlerort (das Fehlerbild) von entscheidender Bedeutung. Man unterscheidet:

- Drahtriss: der Bonddraht reißt am Ansatzpunkt des Pullhakens
- Drahtriss am Bond: der Bonddraht reißt an einer der durch die Bondung geschwächten Stellen des Bonddrahtes, also unmittelbar am Ball bzw. am Übergang Wedge/Draht
- Bondabheber: einer der Bonds löst sich von der Padmetallisierung
- Padabheber: einer der Bonds löst sich und reißt Teile der Padmetallisierung mit heraus

Da es sich um eine zerstörende Prüfung handelt, wird die Qualität der Bondverbindungen, bzw. genauer ausgedrückt die Eignung der gewählten Bondparameter, in Kombination mit den Eigenschaften der Fügepartner und der Bondausrüstung qualitativ gute Bondverbindungen zu erzeugen, anhand einer Stichprobe von 30 bis 50 Drahtbrücken bewertet. Die Bondverbindungen gelten als gut, wenn folgende Bedingungen erfüllt werden:

1. Der Mittelwert der erzielten Abreißkräfte beträgt mindestens 50% der nominellen Reißkraft des Bonddrahtes (Herstellerangabe).
2. Die Standardabweichung, bezogen auf den Mittelwert, liegt bei unter 25% (im Labor bei unter 15%).
3. Es treten keine sogenannten unzulässigen Werte auf. Hiermit sollen selbst einzelne Minimalwerte, die möglicherweise sonst im Mittelwert „untergehen“ würden, verboten werden. Es existieren auf die verschiedenen Drahtdurchmesser bezogen Vorgaben in Normen, die jedoch oft firmenspezifisch präzisiert werden. Für einen Bonddraht von 25 μm Durchmesser gelten z.B. Abreißkräfte unterhalb von 4cN als unzulässig.
4. Es dürfen höchstens 10% Bondabheber auftreten (im Labor 0%!).

Um die Haftfestigkeit des Ball- bzw. Wedge-Bonds separat zu prüfen, wird der **Schertest** eingesetzt (Bild 5).

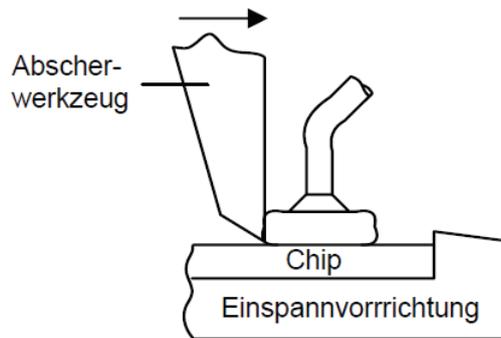


Bild 5: Prinzip des Schertests

Auch hierbei wird die Kraft (in diesem Fall Scherkraft) bis zur Verbindungszerstörung gesteigert. Der Schermeißel sollte in einem definierten Abstand zu Bondebene geführt werden. Üblich ist dafür z.B. ein Wert in der Größenordnung von $1/3$ des Drahtdurchmessers. Man unterscheidet folgende Fehlerbilder (auch Bruchbilder genannt):

- Scherbruch im Bond
- Scherbruch in der Grenzfläche Bond/Padmetallisierung
- Ablösung des Bonds von der Padmetallisierung
- komplette Abscherung des Bonds mit Herauslösen von Chipmaterial (Cratering)

Die Bewertung der Ergebnisse von Schertests ist komplex, da die Vorgaben nicht nur materialabhängig sind, sondern auch von der geometrischen Ausprägung der Bonds abhängen, die ja wiederum ein Ergebnis des Bondprozesses selbst darstellt.

4. Versuchsdurchführung

Die praktische Versuchsdurchführung erfolgt an manuellen bzw. halbautomatischen US- und TS-Drahtbondern sowie an einem Haftfestigkeitsprüfplatz für Drahtverbindungen (Pull-Tester). Der konkrete Ablauf der Versuchsdurchführung liegt an den Arbeitsplätzen aus, bzw. wird vom Versuchsbetreuer erläutert.

5. Schwerpunkte für die Versuchsvorbereitung

1. Charakterisieren Sie die üblichen Bonddrähte und Bondpads im Zusammenhang mit den beiden Standard-Drahtbondverfahren.
2. Nennen Sie typische Verfahrensparameter sowie Kriterien, die für die Auswahl des jeweiligen Kontaktierverfahrens entscheidend sind.
3. Erläutern Sie die technologischen Verfahrensabläufe zur Drahtbrückenherstellung.
4. Informieren Sie sich über die beim Drahtbenden entstehenden Kontaktsysteme und deren Zuverlässigkeit.
5. Informieren Sie sich über die kinetischen Vorgänge bei der Verbindungsbildung beim Kugel/Keil-(TS-) und beim Keil/Keil-(US-)Bonden.
6. Informieren Sie sich über den derzeitigen Stand zu Ausrüstungen beim Drahtbenden.
7. Charakterisieren Sie im Überblick die Simultanbondverfahren.

6. Literatur

Folgende Literatur wurde für die Erarbeitung der Praktikumsanleitung herangezogen und wird demzufolge auch für die Versuchsvorbereitung empfohlen:

- [1] Scheel, W.; u. a.:
Baugruppentechologie der Elektronik-Montage; Verlag Technik GmbH, Eugen G. Leuze Verlag GmbH, 1997 (1. Auflage) oder 1999 (2. Auflage).
- [2] Reichl, H.; u.a.:
Direktmontage - Handbuch für die Verarbeitung ungehäuster ICs; Springer Verlag, 1. Auflage, 1998.