

Wire bonding e test

La probe station è uno strumento consolidato per testare circuiti a semiconduttore direttamente su wafer, su chip non assemblati e su microchip aperti on top. Questa stazione di test viene spesso utilizzata anche per l'analisi dei guasti sui semiconduttori

di Marco d'Aquino (Distek)

Le probe station consentono all'utente di posizionare sonde elettriche, ottiche o RF su un wafer di silicio in modo da poter testare il dispositivo. Questi test possono essere semplici, come il controllo di continuità o di isolamento, o sofisticati come il test funzionale completo dei microcircuiti. I test possono essere eseguiti prima o dopo che il wafer è stato singolarizzato in die.

Il test a livello di wafer consente di verificare più volte un dispositivo durante il processo di produzione, fornendo informazioni preziose su quale delle differenti fasi del processo introduce difettosità. Inoltre, consente ai produttori di testare i dispositivi prima dell'assemblaggio nel package finale, fattore importante nelle applicazioni in cui i costi di assemblaggio sono elevati rispetto ai costi del dispositivo.

Le probe station vengono spesso utilizzate anche nelle applicazioni di ricerca e sviluppo, durante lo sviluppo del prodotto e nell'analisi dei guasti, dove gli ingegneri hanno bisogno di uno strumento flessibile e preciso per condurre test su diverse aree di un dispositivo.

SEMISHARE, distribuito da Distek (www.distek.it) in tutto il mercato EMEA, è una delle principali realtà

che opera nel campo del test dei semiconduttori; oltre alle probe station integra nella stazione di test sistemi laser, microscopi metallografici, microscopi ottici EMMI, sistemi a raggi X, sistemi ultrasonici C-SAM, microscopi elettronici ad alte prestazioni, offrendo la più ampia gamma sul mercato. Veramente ampia è la gamma delle probe station: DC, RF, high voltage fino a 10 kV, double side per caratterizzare su entrambe le facce del wafer, alta/bassa temperatura, ultra low vacuum fino a 4 Pa, criogeniche fino a 4 K.

Come funziona una probe station?

Le probe station sono realizzate per contenere un wafer completo, parte di wafer o un singolo die, ed usano uno "stage" per posizionare con precisione micrometrica il dispositivo stesso.

I manipolatori ospitano le sonde di test e sono posizionati su una superficie piana, il "platen", che può essere dotato di un thermal chuck per riscaldare fino a 600 °C oppure raffreddare fino a -80 °C. L'utente utilizza il microscopio, posizionato sopra il platen, per posizionare le punte delle sonde sul dispositivo.

Per i wafer con dispositivi multiplati, l'utente può testare tutti i dice semplicemente spostando il manipolatore

1. Le videate della probe station Semishare sono utilizzate nella creazione di un programma di test su un wafer

che mantiene fissa la posizione relativa delle sonde. L'operazione sui vari circuiti richiede comunque l'utilizzo del microscopio per il centraggio dei punti di test per le macchine manuali, invece le macchine semiautomatiche, oppure automatiche offrono la funzione di pattern recognition.

Il test può essere eseguito con sistemi semiautomatici e automatici, utilizzando manipolatori motorizzati e visione artificiale per la movimentazione die-to-die, che aumenta la produttività e riduce i rischi legati all'handling.

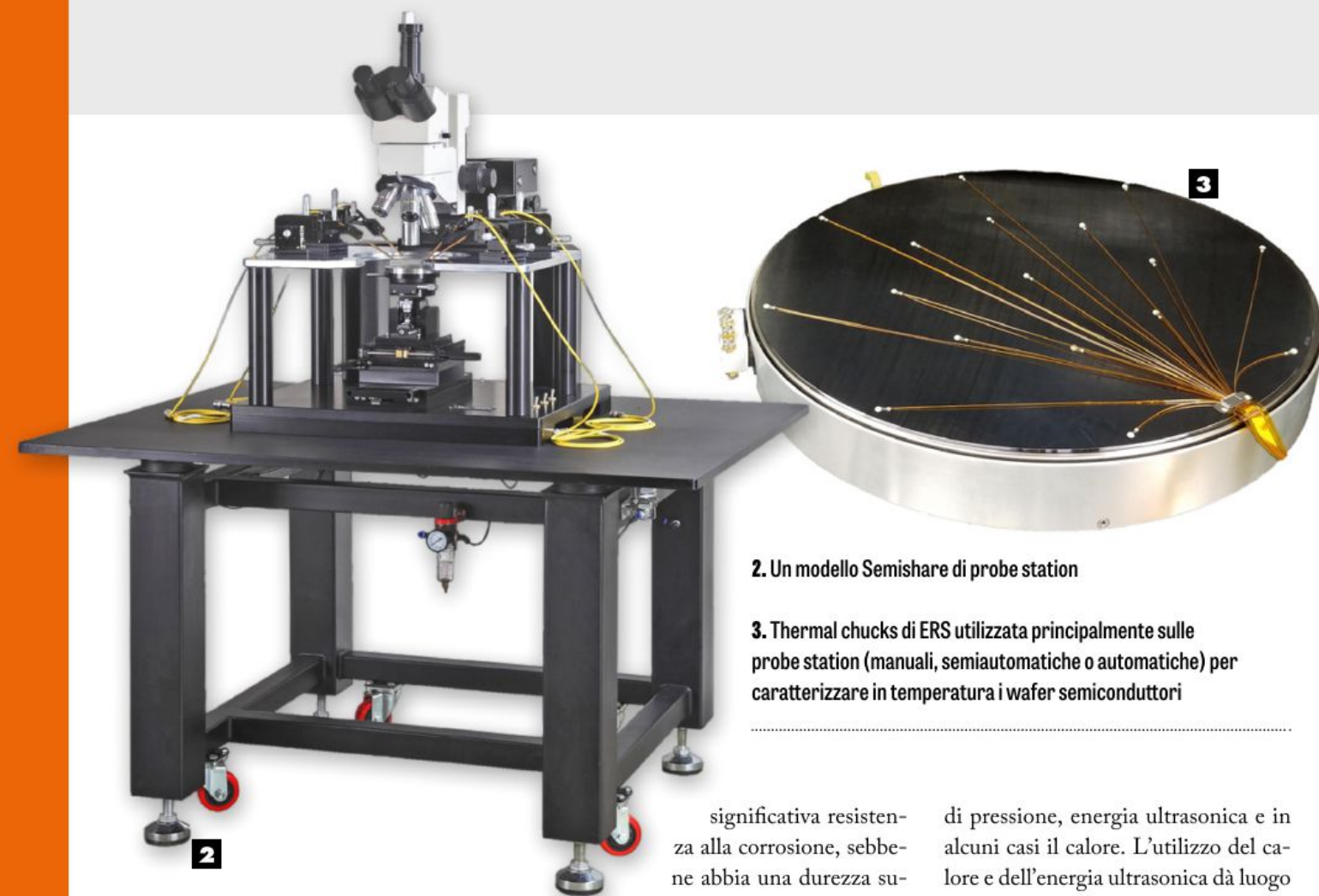
Con la probe station si acquisiscono i segnali dai nodi del semiconduttore, mediante i manipolatori che consentono il posizionamento preciso di aghi sottilissimi sulla superficie del componente. Il segnale acquisito viene visualizzato sull'oscilloscopio o sulla SMU (source measure unit).

Due sono i tipi di sonde: attiva e passiva. Un sottile ago di tungsteno costituisce la sonda passiva, mentre le sonde attive utilizzano un dispositivo FET posto in punta per ridurre significativamente il carico sul circuito.

Wire bonding

Il wafer è suddiviso nei singoli dice che con i sistemi die bonder sono montati sui lead frame o sui substrati a cui sono connessi elettricamente tramite tecnologia di wirebonding. Il wire bonding è infatti utilizzato per effettuare le interconnessioni tra il circuito integrato e il lead frame nella produzione dei componenti o con altro supporto (MCM, COB, stacked die). Il wire bonding è considerata la tecnologia di interconnessione più economica e flessibile, può essere utilizzata fino a frequenze superiori a 100 GHz e viene utilizzata per assemblare la stragrande maggioranza dei package. I bondwire (fili) sono generalmente realizzati in oro, alluminio o rame, con diametri che partono da 12,5 µm e possono arrivare a diverse centinaia di micron per applicazioni ad alta potenza. Il filo d'oro drogato con quantità controllate di berillio e altri elementi viene normalmente utilizzato per il ball bonding. Questo processo (legame termosonico) unisce i due materiali che devono essere saldati usando calore, pressione ed energia ultrasonica.

La terminazione del filo è fusa in aria formando una pallina che è portata sulla piazzola del chip a cui viene vincolata mediante l'applicazione degli ultrasuoni. Uno stretto controllo durante l'elaborazione migliora le caratteristiche del loop ed evita il cedimento della giunzione. Le dimensioni della giunzione, la resistenza del legame e i requisiti di conducibilità in genere determinano la dimensione più adatta del filo. L'alluminio è particolarmente adatto al processo termosonico, i fili in lega di alluminio sono generalmente preferiti al filo di alluminio puro, tranne nei dispositivi ad alta intensità di corrente per la maggior resistenza ai test di trazione. L'alluminio puro e l'alluminio con 0,5% di magnesio sono i più comunemente usati con dimen-



2. Un modello Semishare di probe station

3. Thermal chucks di ERS utilizzata principalmente sulle probe station (manuali, semiautomatiche o automatiche) per caratterizzare in temperatura i wafer semiconduttori

sioni superiori a 100 µm. Pur avendo una conduttività termica ed elettrica più elevata dell'oro, il rame era stato inizialmente valutato come meno affidabile a causa della sua durezza e della sua predisposizione alla corrosione. Essendo più duro sia dell'oro che dell'alluminio, richiede che i parametri di bonding siano tenuti sotto più stretto controllo. In relazione alla potenziale formazione di ossidi vanno attentamente considerate la modalità di conservazione e la shelf life.

Oggi viene utilizzato per il ball bonding fine-pitch con dimensioni fino a 0,003 pollici (75 µm), offrendo le stesse prestazioni dell'oro, ma a un costo decisamente più basso.

Il filo di rame fino a 0,020 pollici (500 µm) può essere connesso con successo utilizzando il wedge bonding, in alternativa al filo di alluminio laddove è necessaria un'elevata capacità di carico di corrente o in presenza di problemi di geometria complessa.

Il filo di rame rivestito di palladio è un'alternativa che ha mostrato una

significativa resistenza alla corrosione, sebbene abbia una durezza superiore rispetto al rame puro e un prezzo maggiore (ma ancora inferiore all'oro). Durante il processo di wire bonding con filo di rame (in tutte le sue varietà) è necessaria la presenza di forming gas (95% di azoto e 5% di idrogeno) o di un gas similare per prevenire la corrosione. Per contrastare la sua durezza relativa si ricorre a varietà ad alta purezza.

Le tecnologie di wire bonding: ball bonding e wedge bonding

Il ball bonding è limitato al filo d'oro e di rame e solitamente richiede il riscaldamento del die. Il wedge bonding può utilizzare fili di grande diametro o per applicazioni di elettronica di potenza i ribbon (filo a geometria piatta). Il ball bonding è limitato a fili di piccolo diametro, adatti per applicazioni di segnale.

Per entrambi i tipi di collegamento, il filo è fissato ad entrambe le estremità (descrivendo un percorso aereo chiamato loop) usando una combinazione

di pressione, energia ultrasonica e in alcuni casi il calore. L'utilizzo del calore e dell'energia ultrasonica dà luogo al processo termosonico.

Nel wedge bonding, il loop dato dal percorso del filo deve essere in linea col primo giunto realizzato, ciò rallenta il processo a causa del tempo necessario per l'allineamento dell'utensile. Il ball bonding crea il suo primo legame a forma di sfera con il filo perpendicolare al giunto, senza preferenze direzionali; pertanto il loop può poi essere indirizzato in qualsiasi direzione, rendendolo un processo più veloce.

F&S Bondtec è la linea di sistemi per wire bonding distribuita da Distek; l'azienda austriaca è uno dei principali protagonisti nel segmento delle apparecchiature desktop di wire bonding e test. Operando nel settore della microelettronica è fondamentale disporre di un partner dalle conoscenze consolidate perché ci sono molte variabili da curare quando si tratta di operare con elevata affidabilità. Le sfide che si incontrano sono in funzione di diversi parametri come i materiali impiegati, i parametri di processo e l'ambiente di utilizzo. Diverse combinazioni metalliche tra filo di bonding e piazzola

di bonding, come alluminio-alluminio (Al-Al), oro-alluminio (Au-Al) e rame-alluminio (Cu-Al) richiedono parametri di produzione diversi e si comportano in modo differente negli stessi ambienti di utilizzo.

Molto lavoro è stato fatto negli anni per caratterizzare al meglio i vari sistemi metallici, rivedere i parametri critici di fabbricazione e identificare i tipici problemi di affidabilità che si verificano nell'esecuzione del bonding. Quando si tratta di selezionare il materiale, l'applicazione e l'ambiente d'uso ne dettano la scelta. Spesso non solo le proprietà elettriche e le proprietà meccaniche sono prese in considerazione nel momento di prendere una decisione, ma anche i costi giocano un ruolo fondamentale. Dal punto di vista produttivo i parametri di bonding sono determinanti nella formazione e nella qualità del giunto. Valori relativi alla forza applicata, all'energia ultrasonica, alla temperatura e alla geometria del loop, per citarne alcuni, possono avere un effetto significativo sulla qualità finale del legame. Esistono varie tecniche di wire bonding (termosonic bonding, ultrasonic bonding, termo-compression bonding) e come detto due tipi di wire bonding (ball e wedge

bonding) che nell'insieme influiscono sulla suscettibilità ai difetti di fabbricazione e ai problemi di affidabilità. Alcuni materiali e diametri del filo sono più pratici per passi fine-pitch e per layout complessi. Anche il bond pad svolge un ruolo importante in quanto la metallizzazione e lo strato barriera influenzeranno la formazione del giunto. I difetti tipici derivano da una scarsa qualità del giunto e da problemi di fabbricazione, comprendono: manifestazione di fratture tra sfera e filo, incrinature nel wedge bonding, delaminazione della piazzola, formazione intermetallica impropria. Una combinazione di pull test e shear test, test non distruttivi e analisi fisica distruttiva o DPA (Destructive Physical Analysis) possono essere utilizzate per vagliare i problemi di produzione e di qualità.

Mentre la produzione di sistemi di wirebond tende a concentrarsi sulla qualità del giunto, spesso non si tiene conto dei meccanismi di usura che incidono sulla sua affidabilità.

In questo caso una comprensione

4. Il sistema di wire bonding 5600CS di F&S Bondtec



delle applicazioni e dell'ambiente di utilizzo può aiutare a prevenire problemi di mancata affidabilità. Esempi comuni di ambienti che portano alla nascita dei guasti includono la temperatura, l'umidità e cicli termici elevati.

Sebbene esistano alcune tecniche di prova di trazione e taglio del filo metallico, queste tendono ad essere applicabili per la qualità di produzione piuttosto che per l'affidabilità.

A temperature elevate, un'eccessiva crescita intermetallica può creare punti fragili dove si manifestano fratture. Questo non è un problema nei sistemi metallici in cui il filo e la piazzola sono dello stesso materiale come Au-Au; lo diventa con metalli diversi. Uno degli esempi più noti sono le formazioni intermetalliche tra oro e alluminio, caratterizzate da una potenziale fragilità o come i problemi legati alla diffusione intermetallica che crea void.

Durante i cicli termici viene generato uno stress termomeccanico a livello del filo metallico a causa dei diversi valori assunti del coefficiente di dilatazione termica (CTE) della resina epossidica del molding, del lead frame, del die e dell'adesivo per fissarlo e del filo stesso. Ciò comporta sollecitazioni di taglio e di trazione a livello di wire bond. Con lo shear test e il pull test si evidenziano maggiormente i problemi di processo che non quelli dovuti all'usura. Il test di trazione del filo applica una forza dal basso verso l'alto, esercitando una forza opposta a quella che tiene il filo vincolato meccanicamente alla piazzola. Con lo shear test si esercita una forza laterale rispetto alla porzione di filo saldato alla piazzola.

In entrambi i casi si valuta la capacità della connessione di resistere alla forza applicata, talvolta arrivando alla distruzione del giunto (misurando la forza raggiunta), altre verificando semplicemente la resistenza a una forza preimpostata (prova non distruttiva).

