

# Dal wafer al circuito integrato

*Dopo la loro produzione i wafer sottostanno a una serie di processi fotolitografici e chimico-fisici che portano alla formazione sulla loro superficie dei circuiti integrati. I circuiti sono poi singolarizzati e pronti per le successive fasi di lavoro, che approdano alla formazione dei componenti comunemente utilizzati nei processi di assemblaggio dei PCB*

di Dario Gozzi

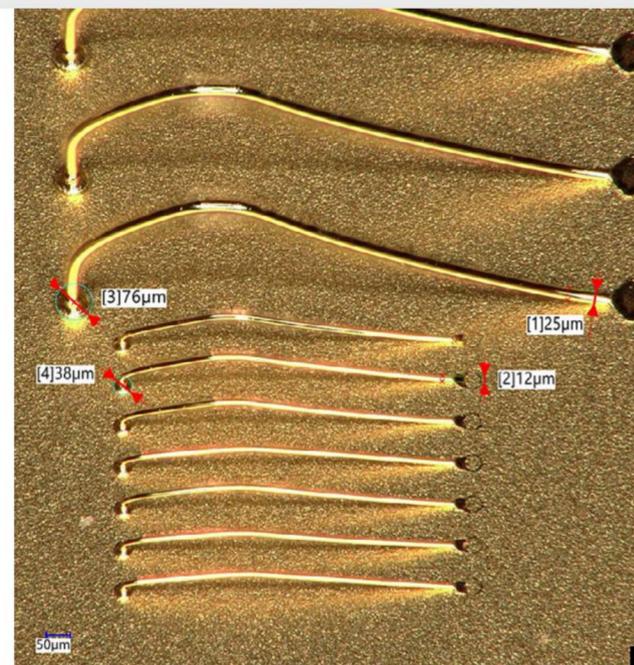
Nell'ambito della microelettronica si producono circuiti dove le dimensioni dei componenti integrati arrivano ad avere dimensioni nell'ordine dei decimi di micron, pertanto particelle con dimensione di 0,1 o 0,2 micron possono causare difetti nel componente. Quindi tutti i processi sono condotti in camera bianca, sia quelli di lavorazione dei wafer che quelli consecutivi che portano alla realizzazione del componente (die bonding e wire bonding).

In un circuito integrato coesistono componenti elettronici come resistori, condensatori, diodi e transistor, formati direttamente sulla superficie del wafer.

Si tratta di una sequenza di più fasi fotolitografiche e di trattamenti chimico-fisici (come passivazione superficiale, ossidazione termica, diffusione planare e isolamento della giunzione) durante le quali vengono gradualmente creati i circuiti elettronici.

I wafer sono ordinati e ispezionati otticamente prima di essere rilasciati

cortesia FS-Bondtec



per la singolarizzazione dei dice. Nella realizzazione dei circuiti integrati la preparazione del die è la base comune a vari flussi di processo.

Processo che inizia montando i wafer su di un nastro adesivo di supporto (backing tape) che fornisce la stabilità durante la movimentazione per la singolarizzazione dei dice mediante taglio per poi piazzarli su substrato o su lead frame.

Il taglio del wafer suddivide i singoli die lasciandoli al loro posto grazie alla presenza del backing tape.

Il taglio automatico avviene con una speciale sega circolare guidata dal sistema per il riconoscimento delle immagini, che mappa la superficie del wafer per identificare le aree da tagliare. Durante il taglio viene utilizzata acqua distillata per rimuovere gli sfridi di silicio e lubrificare il taglio stesso.

I wafer vengono asciugati per centrifugazione, facendoli ruotare ad alta velocità.

**1. A destra connessione wedge bonding e a sinistra ball bonding, con filo in oro di diverso diametro (cortesia FS-Bondtec)**

## Die attach

L'operazione di die attach fornisce il supporto meccanico al circuito integrato (leadframe, substrato organico o ceramico) la cui qualità è fondamentale per la dissipazione termica e le prestazioni elettriche. Il sistema di die attach gestisce contemporaneamente il wafer e il substrato in entrata. Il riconoscimento delle immagini identifica i singoli dice da rimuovere dal wafer mentre il materiale di incollaggio viene erogato in quantità controllate sul substrato. Una testa di pick-up preleva il die mentre un ago lo spinge da sotto per facilitare il suo distacco dal backing tape. Infine il die viene correttamente allineato sul substrato, con l'orientamento desiderato.

Il materiale di incollaggio dipende dal package e dalle prestazioni richieste. Per l'adesione dei die su leadframe sono utilizzate resine polimeriche, l'adesione può essere su rame, su finitura di argento o di palladio. Le resine sono riempite con particelle conduttive a base di argento per aumentare le proprietà di dissipazione termica. Al piazzamento segue la fase di polimerizzazione con temperature nell'intervallo 125-175 °C. La qualità della copertura è fondamentale per l'affidabilità e le prestazioni del componente; sono indesiderati la presenza di vuoti e le variazioni dello spessore. I vuoti indeboliscono la forza di adesione, in particolare durante le escursioni termiche dovute al funzionamento del componente, e possono inoltre incidere negativamente sulla capacità di dissipare il calore generato. Una copertura eccessiva o insufficiente rende il dispositivo suscettibile a guasti di affidabilità e inficiare sul successivo processo di wire bonding. Uno spessore tipico della resina di bond è compreso tra 1 e 2 mil.

Per vari componenti di potenza si utilizzano leghe a base di stagno per fissare il die al leadframe, per via del migliore legame meccanico e delle superiori proprietà di dissipazione termica rispetto alle resine polimeriche.

In questo caso il lato posteriore del wafer deve essere preventivamente metallizzato per favorire la formazione dello strato intermetallico che assicura resistenza meccanica alla giunzione wafer-lega e lega-leadframe. Le temperature utilizzate nella saldatura variano da 260 °C a 345 °C in funzione della lega utilizzata.

## Wire bond

La connessione a filo è il mezzo più comunemente utilizzato per stabilire una connessione elettrica tra il dispositivo IC e il substrato o il leadframe

su cui è montato. Il processo di wire bond collega un filo alla volta, ma deve comunque raggiungere un'elevata produttività per essere economicamente vantaggioso.

I sistemi hanno una movimentazione che porta il substrato o il leadframe nell'area di lavoro, un sistema di riconoscimento delle immagini che assicura che il die sia posizionato e orientato correttamente. La tecnologia termosonica è utilizzata con filo d'oro o di rame. Il filo viene alimentato attraverso un capillare in ceramica. Una combinazione di temperatura ed energia ad ultrasuoni forma il legame tra filo metallico e piazzola.

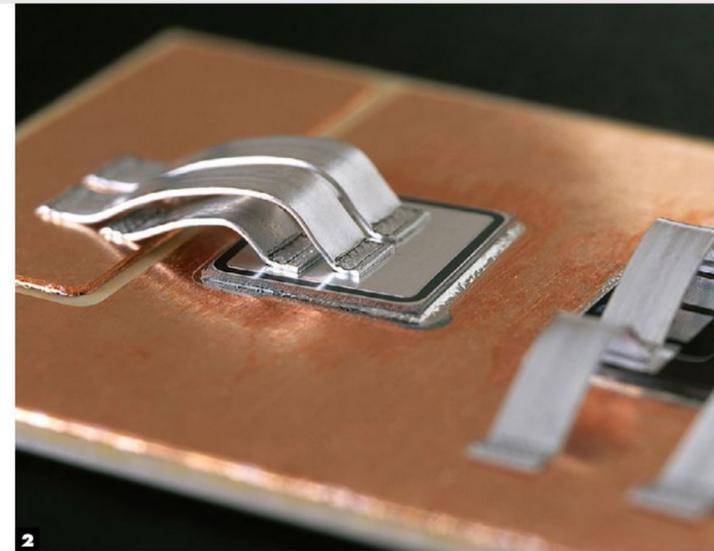
Ogni interconnessione è formata da due giunti, uno sul die e l'altro sul leadframe o sul substrato. Il primo prevede la formazione di una sferetta sul capo del filo in uscita dal capillare mediante una scarica elettrica (electric flameoff), che una volta formata viene posizionata a contatto col pad di Al sul die; sono applicate una pressione (bond force) e l'energia ultrasonica per alcuni millisecondi (bond time) fino a formare uno strato intermetallico Au-Al che crea la connessione.

La testa quindi si solleva e disegnando col filo uno specifico loop in aria si porta a contatto col secondo punto (piazzola del substrato o del leadframe) per formare una seconda giunzione di tipo wedge bond. La forma del loop, specifica per ogni applicazione, è controllata dal software che guida il movimento della testa di bond.

La temperatura, l'energia ultrasonica, la forza e il tempo sono parametri chiave del processo nella formazione di entrambe le connessioni.

Sia l'affidabilità del ball bond (1° legame) che del wedge bond (2° legame) sono molto sensibili a qualsiasi movimento del die o del leadframe (o del substrato) che vanno tenuti rigorosamente fermi.

Un ulteriore problema per quanto



2. Ribbon bonding su componente di potenza (cortesia FS-Bondtec)

riguarda l'affidabilità del 1° legame riguarda la fragilità dell'intermetallico. Nel legame Au-Al si possono formare cinque fasi diverse, legate ai fattori temperatura e tempo.

Un'eccessiva esposizione alla temperatura darà luogo a un intermetallico Au-Al fragile e con vuoti che porterà al distacco della ball. La formazione intermetallica desiderata che forma un legame affidabile è  $Au_5Al_2$  e  $Au_2Al$ .

Le proprietà meccaniche e il diametro sono importanti attributi del filo, che influiscono sul processo di formazione del legame e sulla resa del processo produttivo. Il filo d'oro è puro al 99,99% con un livello di drogante di 100 ppm. I droganti conferiscono le proprietà meccaniche desiderate senza limitare la conducibilità elettrica. Il filo di rame richiede un ambiente di gas inerte per prevenire l'ossidazione.

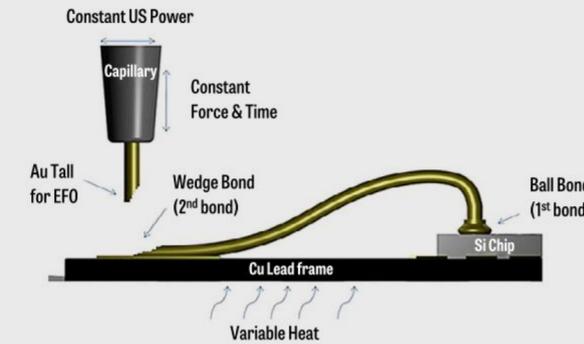
L'utilizzo di filo di alluminio non richiede somministrazione di calore; nella diffusione del filo Al nella piazzola di Al il legame è creato meccanicamente con gli ultrasuoni, formando un wedge bond. Lo spessore e la pulizia della metallizzazione Al della piazzola sul die sono fattori importanti da considerare nella formazione del ball bond.

Gli attributi che influenzano la metallizzazione del pad riguardano il contenuto di lega, la granulometria, la metallurgia sottostante la metallizzazione in Al, la rugosità e la pulizia della superficie. Uno spesso strato di metallizzazione e una struttura robusta sono ideali per evitare distacchi della giunzione o fenomeni di cratering o schiacciamento del legame in cui si riscontrano danni nella struttura sottostante il metallo di rivestimento.

### Il molding

L'incapsulamento del componente protegge meccanicamente e dall'ambiente esterno il dispositivo.

Il molding è formulato con resine epossidiche contenenti riempitivi inorganici, catalizzatori, ritardanti di fiamma, modificatori di stress, promotori di adesione e altri additivi. Tra questi la



3. Schema di principio della tecnologia wire bonding

silice, il riempitivo più comunemente usato, conferisce il coefficiente di dilatazione termica desiderato, l'elasticità richiesta e buone proprietà di resistenza alla frattura.

La maggior parte delle resine si basano su una miscela a base di prodotti epossidici, cresol, novolac, sviluppati per soddisfare i requisiti associati alla sensibilità all'umidità e al funzionamento ad alta temperatura. La forma del riempitivo influisce sul suo livello di caricamento.

Lo stampaggio per trasferimento (transfer molding) viene utilizzato per incapsulare componenti su leadframe e alcune versioni di PBGA. Questo processo prevede la liquefazione del composto e la sua iniezione in una pressa per stampi. Il materiale liquido è a bassa viscosità per cui scorre facilmente nella cavità dello stampo e incapsula completamente il dispositivo.

Trasferito il composto liquido nella cavità dello stampo, inizia la reazione di polimerizzazione con l'aumento della viscosità del composto fino al suo indurimento. Un ulteriore ciclo avviene in forno, fuori dallo stampo, per garantire che il composto sia completamente polimerizzato.

I parametri di processo sono ottimizzati per garantire il riempimento completo della cavità dello stampo e

l'eliminazione dei vuoti nel composto. Altrettanto critica per la riuscita del processo è la progettazione del sistema di stampa. I condotti e le aperture di accesso devono essere progettati in modo tale che il flusso del composto nella cavità dello stampo sia completo e senza la formazione di vuoti. A seconda del passo del wire bonding, il processo di stampa richiede un'attenta ottimizzazione per evitare che i fili di bonding siano messi in cortocircuito.

I parametri di processo da tenere sotto controllo sono la velocità di trasferimento, la temperatura e la pressione. Il ciclo di polimerizzazione finale (temperatura e tempo) determina le proprietà finali e, quindi, l'affidabilità del package.

Un'ulteriore fase del processo (detta dejunk) rimuove il molding in eccesso che può essere accumulato sul leadframe. Il tutto viene poi bombardato con piccole particelle vetrose (deflash) per predisporre la parte del leadframe esposta al trattamento superficiale finale e il molding alla marcatura.

La marcatura laser è preferita in molte applicazioni per via della sua maggiore produttività e della migliore risoluzione.

### Trim, form e marking

Il taglio e la formatura sono le ultime lavorazioni a cui i singoli terminali del leadframe sono sottoposti. Liberati dal telaio che li unisce vengono posizionati negli appositi utensili, tagliati e formati meccanicamente nella specifica geometria del componente.

Le forme a J e gull-wing sono utilizzate per i package plastici SMD. I singoli componenti vengono singolarizzati dal leadframe, ispezionati per la planarità dei pin e posizionati in vassoi o tubi.

Il preciso processo di formatura dei terminali è fondamentale per ottenere la planarità necessaria nei successivi processi di montaggio superficiale. Anche in questo stadio la pulizia degli utensili durante la manutenzione è fondamentale per garantire la qualità del risultato. L'ultimo passaggio è la marcatura sul molding, con cui si imprimono sul corpo del componente il logo del produttore, i dati identificativi e di tracciabilità. Per contrassegnare i package sono utilizzate sia la marcatura laser che quella a getto di inchiostro.

La marcatura laser è preferita in molte applicazioni per via della sua maggiore produttività e della migliore risoluzione.