



Rapporti Tecnici INAF INAF Technical Reports

Number	329
Publication Year	2024
Acceptance in OA@INAF	2024-12-31T10:54:08Z
Title	LNA all'interno del carrier, studiato per funzionare a temperature criogeniche
Authors	SCHIAVONE, Filomena
Affiliation of first author	OAS Bologna
Handle	http://hdl.handle.net/20.500.12386/35595 , https://doi.org/10.20371/INAF/TechRep/329

LNA all'interno del carrier, studiato per funzionare a temperature criogeniche

Ottobre 2024

F. Schiavone, L. Valenziano

INAF/OAS-Bologna, via Gobetti 101, Bologna

Sommario

Introduzione	3
Lista acronimi.....	3
Il contesto recente	4
Scelta colla	5
Conservazione, affidabilità, impegno	6
Incollaggio	7
Preparazione.....	7
Deposizione.....	7
Posizionamento	8
Polimerizzazione.....	9
Procedura controllo dell'avvenuto incollaggio	11
<i>Stress termici</i>	12
Criticità riscontrate	12
Appendice 1 <i>Posizionamento componenti</i>	13
Appendice 2 <i>Test</i>	17

Introduzione

Il presente documento si inserisce nell'ambito delle attività svolte finalizzate allo studio e alla realizzazione di un prototipo di amplificatore criogenico a basso rumore in banda W, basato su tecnologia MMIC mHEMT.

Il cuore del lavoro è l'attività di 'packaging' degli LNA all'interno del modulo (carrier), studiato per funzionare a temperature criogeniche.

Tale attività ha evidenziato potenziali criticità che si desidera, attraverso questa nota tecnica, approfondire.

Documenti di riferimento

- [D1] DIEMAT ADHESIVE APPLICATION GUIDELINES
- [D2] DIEMAT CURING EQUIPMENT RECOMMENDATIONS
- [D3] DM4130HT/F892PRODUCT DATA SHEET
- [D4] DM4131HTPRODUCT DATA SHEET
- [D5] DM6030 PRODUCT DATA SHEET
- [D6] Ablestik 5025E PRODUCT DATA SHEET
- [D7] AI Technology EG8050-LV

Lista acronimi

CTE:	Coefficient of Thermal Expansion
FEM:	Front-End Module
InP:	IndiumPhosphide
LNA:	LowNoiseAmplifier
mHEMT:	Methamorphic High Electron Mobility Transistor
MMIC:	MicrowaveMonolithicIntegrated Circuit
RF:	Radio Frequency
WP:	Work Package
BLT:	Bond Line Thickness

Il contesto recente

L'obiettivo principale del progetto "Sviluppi tecnologici nel millimetrico per missioni di polarizzazione" è stato la realizzazione di un elemento di sistema radiometrico e consentirne la misura delle prestazioni a temperature criogeniche.

La complessità di questo studio risiede nello studio accurato dei materiali per realizzare il carrier, che devono presentare un Coefficiente di Espansione Termica compatibile con quello del chip contenente gli LNA. Inoltre, particolare cura è stata posta nella scelta degli adesivi per il montaggio dei componenti nel carrier e nelle procedure di montaggio e bonding.

Le prestazioni del sistema RF, infatti, sono fortemente influenzate dall'accuratezza dell'assemblaggio degli LNA nel carrier (FEM).



Figura 1 Work Package di interesse.

E' nell'ambito del pacco di lavoro "Studio della procedura di incollaggio" del progetto, che il presente documento approfondisce le fasi di montaggio e bonding. Lo scopo è quello di identificare criticità metodologiche dei processi di lavorazione adottati in vista di un miglioramento dei risultati constatata la difficoltà evidente di poter intervenire per effettuare riparazioni e aggiustamenti.

Si presenta, pertanto, la necessità di analizzare opportunamente i vari step che portano al montaggio del dispositivo finale. L'insieme di queste indagini, correlata alla stima di alcuni parametri fondamentali, che caratterizzano l'impianto, determina l'affidabilità del sistema RF e rende conto della "qualifica del dispositivo". Importante nella realizzazione di questa qualifica e' stabilire un piano di misure e test volte alla riproduzione in laboratorio delle condizioni di lavoro piu' prossime a quelle che incontrerà il dispositivo durante il normale funzionamento. Tale piano contiene, solitamente, test di diverso tipo che possiamo suddividere nel modo seguente:

E' importante sottolineare che, oltre alla verifica di funzionabilità e affidabilità, la realizzazione di questi test mira anche al miglioramento del progetto stesso in termini di ottimizzazione dei parametri sopra elencati. Tale pratica e' tipica nella progettazione di dispositivi che lavorano in ambienti ostili quali, ad esempio, quello aeronautico ed ancor piu' quello spaziale.

Scelta colla

Gli elementi attivi sono montati nel FEM e incollati per mezzo di specifici adesivi. Diversi sono i fattori chiave che comportano la selezione e lavorazione delle resine adesive conduttrici.

Questi devono rispettare alcuni requisiti:

- I materiali dei componenti essendo legati tra loro e qualsiasi placcatura che sulle superfici da incollare.
- La differenza nel coefficiente di espansione termica (CTE disallineamento) tra i due materiali che vengono legati insieme.
- Le dimensioni del componente e le dimensioni della piazzola di incollaggio (lunghezza x larghezza x spessore).
- I requisiti di conducibilità termica ed elettrica.
- Vincoli nella deposizione, tra cui l'erogazione o il metodo di applicazione, il ritardo nel posizionamento, il tempo di sosta, il tempo di polimerizzazione e la temperatura.
- Requisiti di prestazione e affidabilità in opera.
- Requisiti di rilavorazione eventuale.

Sono state individuate e testate diverse marche produttrici di materiali adesivi in questo progetto. Questi adesivi, caricati con argento, sono stati selezionati in funzione dei parametri precedentemente elencati oltre alla semplicità della reperibilità sul mercato e ai vincoli, meccanici, elettrici e di temperatura imposti dalla nostra applicazione. Nelle tabelle seguenti (1 e 2) sono riportate alcune caratteristiche chimiche e fisiche rilevanti:



Figura 2 Adesivo Diemat

Glue	Parts	Storing/°C	Curing/°C						Tg
			10 min	30 min	60 min	90 min	120 min	240 min	
H20E	2	room temp	130	105	90	80			>80
H20F	2	room temp	150	110	100	90			>20
DM4130	1	-20		185	160	145	100		>20
DM4131	1	-20		185	160	145	100		>40
DM6030	1	-20		200	170	150	115		>80
8050 LV	2	room temp			150	140	125	100	>-20
5025	bi-ades.	-40		150	135	130	125	115	N/A

Tabella1: Caratteristiche rilevanti degli adesivi considerati.

Durante la fase di test sono stati assimilati ulteriori parametri di selezione [D1-D7] che hanno riguardato

- ☀️ marche diverse
- ☀️ adeguata reperibilità sul mercato
- ☀️ mono o bicomponente
- ☀️ capacità di assorbire gli stress/Differenziale coefficiente di dilatazione termica (ΔCTE)
- ☀️ CTE compatibile con quello del carrier e degli elementi attivi
- ☀️ termo conduttivo
- ☀️ elettro conduttivo (eccellente)

- ☀ Applicabilità a temperature criogeniche
- ☀ Basso outgassing
- ☀ Requisiti di rilavorazione eventuale (Reworkability)
- ☀ Spalmabilità (Spreadability)

- ☀ Tempi polimerizzazione contenuti
- ☀ Problema della scadenza (tenere in frigo, tempi ordinazione lunghi...ecc)
- ☀ Semplicità di applicazione

Glue	Vol e Res Omh cm	TherCond W/mK	CTE	ΔCTE	Note
Epotek H20E	400E-6	29	31E-6	NO	Workhorse, eccellente per componenti piccoli. Attenzione bagna molto e fa le "onde"
Epotek H20F	100E-6	4,1	10E-6	YES	Adesività molto bassa. Nei metalli lisci poco più adesiva che un grasso.
Diemat 4130	32E-6	17	30E-6	YES	
Diemat 4131	38E-6	18		YES	Come 4130 ma è anche adatta per superfici di Al. Eccellente conducibilità elettrica, adesività decente per componenti lato >=3mm , scarsa per componenti lato <2mm.
Diemat 6030	8E-6	60		NO	Vetrosa. Solo x componenti piccoli, di fatto l'utilizzo è scarso.
AiT 8050 LT	400E-6	7,9	120E-6	YES	Buona adesività x componenti lato >=1mm
AiT 5025	500E-6	6,5		YES	Adesività alta (eccellete). Richiede pressione durante curing. Rework possibile. Spessore alto (circa 1 mm)

Tabella2: Caratteristiche rilevanti degli adesivi considerati in funzione dell'applicazione sul substrato.

Conservazione, affidabilità, impegno



Figura 3 Ambiente di lavoro

Fondamentale per quanto riguarda il mantenimento delle prestazioni degli adesivi considerati per questo progetto, sono la conservazione (storage) e i tempi di scadenza delle sostanze. Le ditte produttrici garantiscono, sei mesi, l'integrità del prodotto conservato a temperatura ambiente (20-25°C) e sembrano raddoppiare la validità se conservati a -40°C. Inoltre per aumentare la vita del prodotto suggeriscono di minimizzare il n. di aperture dei contenitori e il tempo di apertura del vasetto, questo per ridurre al minimo l'evaporazione dei solventi (vedi paragrafo "Posizionamento").

Nel nostro caso le paste adesive vengono conservate sigillate in freezer a -20°C e all'uso vengono

gradualmente riscaldate con flussi di aria tiepida che riportano gli ingredienti ad una consistenza mescolabile.

Le lavorazioni di preparazione e deposizione delle paste adesive vengono svolte in camera pulita al fine di garantire il controllo dell'ambiente, in quanto temperatura e umidità influenzano la velocità

di evaporazione del solvente. Valori di temperature alte e di bassa umidità promuovono [D1] l'evaporazione, che riduce l'affidabilità (open time) dell'adesivo.

Incollaggio

La procedura di incollaggio e montaggio deve essere particolarmente curata, in quanto lo spessore di adesivo, e l'eventuale presenza di bolle d'aria sono elementi determinanti per la robustezza e l'affidabilità del montaggio rispetto a ripetuti cicli termici a temperature criogeniche.

Il processo deve tenere conto di quattro fasi principali oltre a diversi fattori che concorrono alla buona riuscita del legame matrice/substrato:

Fasi	Metodica individuata
Preparazione	pulizia, miscelare fino a impasto omogeneo
Deposizione	spalmare la colla sul carrier spessore/il + controllato possibile rispettare i tempi di shelf life (max 2h)
Posizionamento	micromanipolatore /illuminazione adeguata
Polimerizzazione	tempi e temperatura, rampe

Tabella 3. Fasi incollaggio.

Preparazione

Se confezionati in vasi, gli adesivi devono essere amalgamati accuratamente fino al raggiungimento della completa omogeneità dei componenti. La miscelazione manuale deve essere delicata e uniforme per evitare di intrappolare aria nel collante, ma nello stesso tempo, abbastanza approfondita per miscelare tutti i sedimenti solidi accumulati durante lo storage sul fondo e sulle pareti laterali.

La superficie di appoggio (substrato) deve essere pulita e ben sgrassata.

Deposizione

L'erogazione e la deposizione dell'adesivo deve soddisfare il requisito indispensabile a creare il legame. Il modello di erogazione individuato deve essere compatibile con la quantità di adesivo e la dimensione e forma dello stampo. Nel nostro caso si è scelto, (analisi costi-benefici) di operare manualmente ma in ambienti industriali viene applicata l'erogazione robotizzata. Un'ulteriore parametro necessario è garantire lo spessore minimo di linea (BLT/bond line thickness) che permette alla resina di bagnare sufficientemente le superfici da incollare, infatti se le linee di incollaggio sono troppo sottili non hanno resina sufficiente a formare un legame e quindi una buona adesione e il voluto trasferimento termico. Il valore di spessore minimo della linea di incollaggio tipica raccomandato dai produttori (applicato "wet", prima della polimerizzazione) è nell'intervallo di 1-2 mils (25-50micron). Il BLT catalizzato deve essere di almeno 0,8mil (20 micron). Durante la deposizione del collante è consigliato, che il BLT minimo sia raggiunto in tutti i punti.

Si è dimostrato efficace al fine di aumentare la manualità di questa operazione, fare esperienze di deposito di colla, depositando delle gocchine di varie dimensioni e provando stenderle sul substrato. Durante questi esercizi di deposito del materiale adesivo si è riscontrato un vantaggio la proprietà di trixotropicità della pasta (presenta la caratteristica di realizzare una ricostruzione della struttura quando viene lasciato a riposo).

Posizionamento

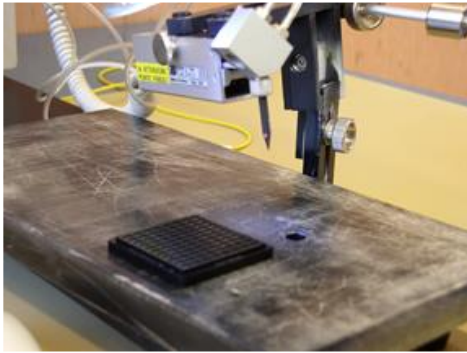


Figura 4 Pantografo Pick&Place.

Date le dimensioni dei componenti si procede al posizionamento degli stessi in ambiente controllato utilizzando un microscopio Wild MZA ATV BE 101 e un manipolatore Pick&Place (Fig.4). Il sistema di demoltiplica manuale dei movimenti monta punte di diversi diametri, 0.1mm, 0.2mm e 0.04 a seconda del pezzo da montare. Le punte permettono di aspirare il componente elettrico e posizionarlo con precisione nella sede meccanica.

Per lavorare col pantografo sullo stesso livello e mantenere il fuoco è utile posizionare la vaschetta porta componenti in uso, sopra due vaschette vuote in modo

che la quota sull'asse verticale sia grossomodo la stessa del FEM.

I moduli FEM, realizzati per il progetto, sono di ottone in finitura galvanica Au e la zona componenti è sabbiata per facilitare la presa dell'incollaggio. Sono state previste, in fase di disegno, delle sedi coniche che servono da appoggio ai condensatori più grandi.

Tali sedi incassate vengono riempite di colla generosamente prestando attenzione a non eccedere al fine di non causare l'onda di risalita.

Preliminare alla fase di incollaggio dei devices elettrici secondo lo schema di Fig. 6 è il posizionamento delle piazzole di saldatura collocate a nord e a sud del FEM tramite il bi-adesivo AiT 5025.



Successivamente a questa operazione si procede al posizionamento dei componenti elettrici che vengono prelevati dai contenitori (tray) delle case produttrici e collocati sul FEM nelle piazzole di pasta adesiva.

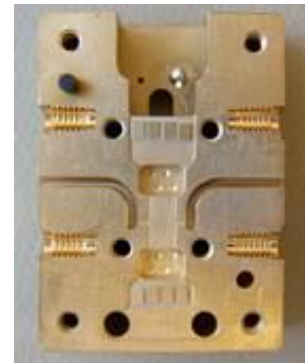


Figura 5 Vista senza componenti

Durante questa fase è molto importante tenere conto dell'*Open time* e dello *Stagin time* e della

Shelf life della colla. Il primo rende conto del tempo dopo l'erogazione del collante e prima di collocare il device sull'adesivo. Tale tempo è limitato dall'evaporazione del solvente contenuto all'interno del collante. Se l'adesivo si indurisce prima di aver bagnato completamente lo strato e il substrato, questo può portare a inibire l'incollaggio stesso, con conseguente scarsa aderenza e prestazioni termiche. Sono quindi sempre consigliati open time limitati all'erogazione.

Il Tempo di sosta (*Stagin time*) è il tempo tra la deposizione della pasta sulla matrice e l'inizio del processo di essiccazione. Se il tempo di sosta è troppo lungo,

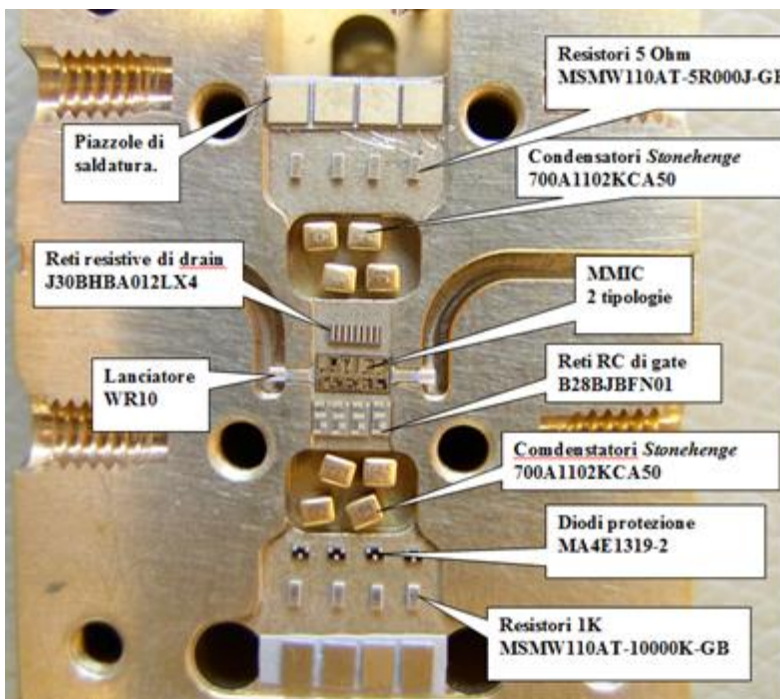


Figura 6 Individuazione sul FEM delle piazzole dei componenti

alcuni ingredienti possono evaporare e migrare dalla linea di incollaggio, e l'adesivo si può seccare e le prestazioni termiche possono diminuire. Minore è la quantità di adesivo erogato, il più veloce si può seccare. Sono stati riscontrati tempi massimi di Shelf life di due ore ma sono raccomandati tempi di esecuzione inferiori a questo limite.

Anche in questa fase sono consigliati esercizi di manualità col sistema Pick&Place prima di procedere al posizionamento.

In *Appendice 1* sono riportate le istruzioni di posizionamento di tutti i componenti sul FEM.

Polimerizzazione

Gli adesivi utilizzati prevedono la polimerizzazione [D2] in temperatura.

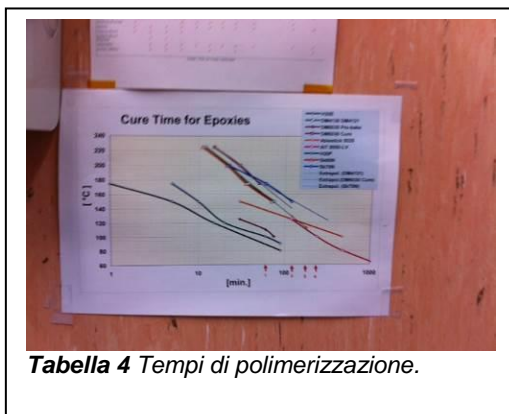
Questo perché i solventi contenuti nelle paste evaporano e dando luogo al bonding entro un profilo di cottura rapida. A questo scopo è sufficiente posizionare i materiali incollati in un forno preriscaldato a circolazione forzata e impostare la temperatura desiderata controllando la velocità di rampa tipica del prodotto.

Ogni adesivo ha una rampa specifica di polimerizzazione in temperatura, di seguito si riporta a titolo di esempio la rampa consigliata per DM4130HT.

Recommended Curing Profiles			
Ramp Rate	Cure Temperature	Dwell Time	Typical Profile
5-20 °C / minute	150 °C	60-90 minutes	Ramp 10 °C/minute; dwell 60 minutes @ 150 °C
5-20 °C / minute	175 °C	30-45 minutes	Ramp 10 °C/minute; dwell 30 minutes @ 175 °C
5-20 °C / minute	200 °C	15-30 minutes	Ramp 10 °C/minute; dwell 15 minutes @ 200 °C
5-20 °C / minute	225 °C	10-15 minutes	Ramp 10 °C/minute; dwell 10 minutes @ 225 °C

Note: Use only one cure temperature/time combination

Uno studio specifico condotto sui tempi di cura dei collanti investigati ha portato alla definizione della tabella 4 a cui ci si è riferiti durante questo lavoro.



Secondo DIEMAT [D3] la convezione forzata dovrebbe garantire:

- una distribuzione uniforme della temperatura all'interno del forno;
- ventilazione continua per consentire la rimozione di eventuali sostanze volatili (principalmente solventi) che vengono rilasciati durante il ciclo di polimerizzazione;
- riscaldamento progressivo in funzione del raggiungimento della temperatura di polimerizzazione di picco impostata.

L'esperienza acquisita durante questa indagine, compatibilmente alle linee guida suggerite dal produttore delle paste adottate, non hanno evidenziato differenze sostanziali tra la polimerizzazione in forno flussato ad azoto e in aria. A questo scopo sono stati identificati i sistemi di Fig. 7, entrambi i jig permettono di impostare rampe di temperature controllate.

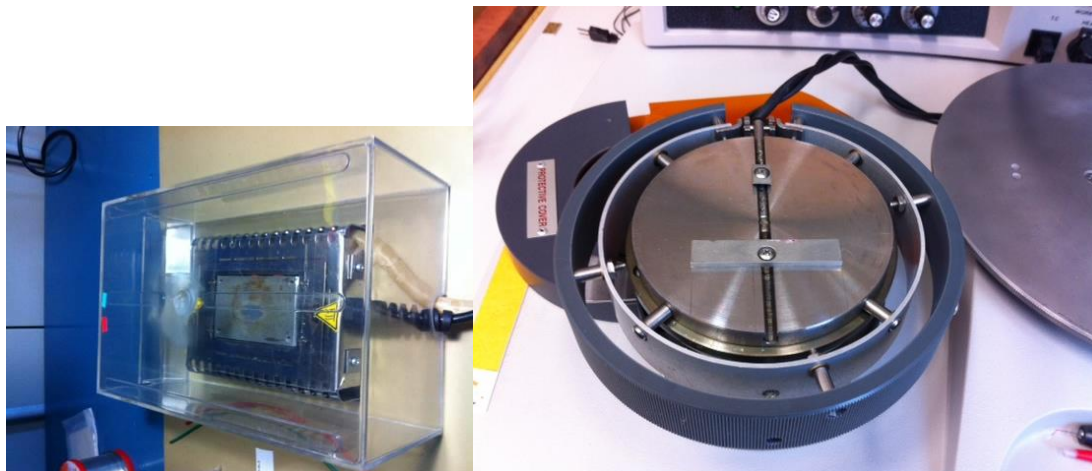


Figura7 Sistemi adottati di essiccazione e polimerizzazione dell'adesivo.
A sinistra fornello flussato in N. A destra piastra termica a temperatura controllata.

Procedura controllo dell'avvenuto incollaggio

In seguito alla fase di polimerizzazione, i campioni incollati vengono ispezionati visivamente al fine di evidenziare anomalie macroscopiche avvenute durante l'essicazione. Le sollecitazioni meccaniche applicate ai devices, dal piccolo diodo fino al voluminoso MMIC rispondono a criteri semplici ma indispensabili, la colla:

- si stacca?
- si sgretola?
- si è polimerizzata sufficientemente?

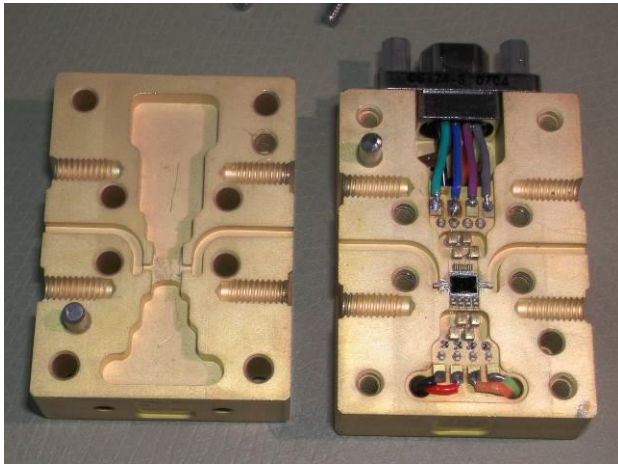


Figura8 Componenti incollati nel carrier.

guida d'onda. La lunghezza di legame tra i due più corta realizzata con la tecnica di incollaggio termosonico, è stata di 150 μm ma si è consapevoli che collegamenti più corti sarebbero più performanti.

La fase di bondatura viene svolta ad elevate temperature (circa 150 $^{\circ}\text{C}$), questo sottopone l'incollaggio ad un periodo di ammorbidimento del cuscinetto di pasta adesiva che sembra non interferire con la bontà del bonding.

Al termine del cablaggio i moduli FEM vengono provati a caldo elettricamente con test DC e RF.

Tale indagine, seppur grossolana, rende conto della robustezza e conseguentemente della confidenza del montaggio eseguito. Successivamente si procede alla realizzazione del circuito elettrico finale e alle connessioni tra i componenti. Questa pratica, particolarmente delicata, viene eseguita al microscopio con l'aiuto della macchina cuneo-bonding termosonico. Un filo d'oro dello spessore di 25 μm tick è stato usato per collegare i circuiti. Nella realizzazione del cablaggio i percorsi di filo più critici sono i collegamenti RF tra gli amplificatori MMIC e gli adattatori di



Figura9 Bondatura e di test elettrici.

Stress termici

I campioni che superano positivamente i test elettrici vengono poi ciclato a freddo con Azoto (N₂) liquido a 300K.

Cicli a freddo @ circa 20 K : eseguite in alcuni campioni. E' una prova da eseguire di routine.

Ciclo lungo a 20K : eseguire un ciclo di durata typ 1 settimana @ 20K

Infine i moduli FEM vengono nuovamente ispezionati visivamente al fine di evidenziare anomalie macroscopiche avvenute durante gli stress termici e sottoposti a piccole sollecitazioni meccaniche che verificano l'affidabilità dell'incollaggio.



Figura10 Bagno in Azoto



Cryo facility

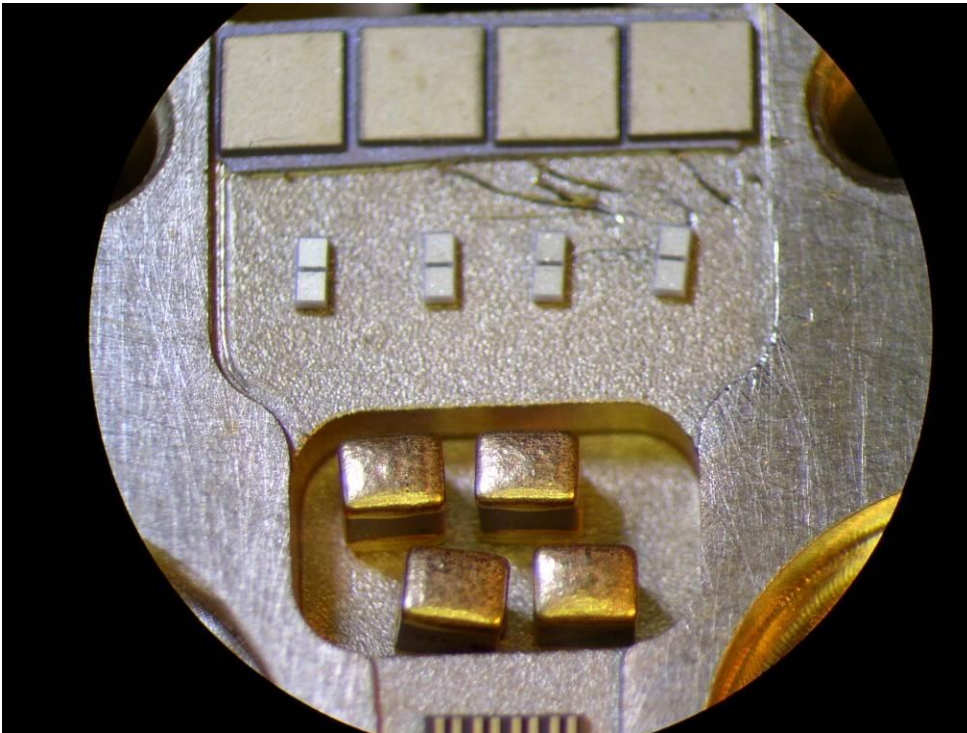
Criticità riscontrate

- Tempi di incollaggio eccessivamente lunghi.
- Cattiva spalmatura della colla.
- Colle scadute.

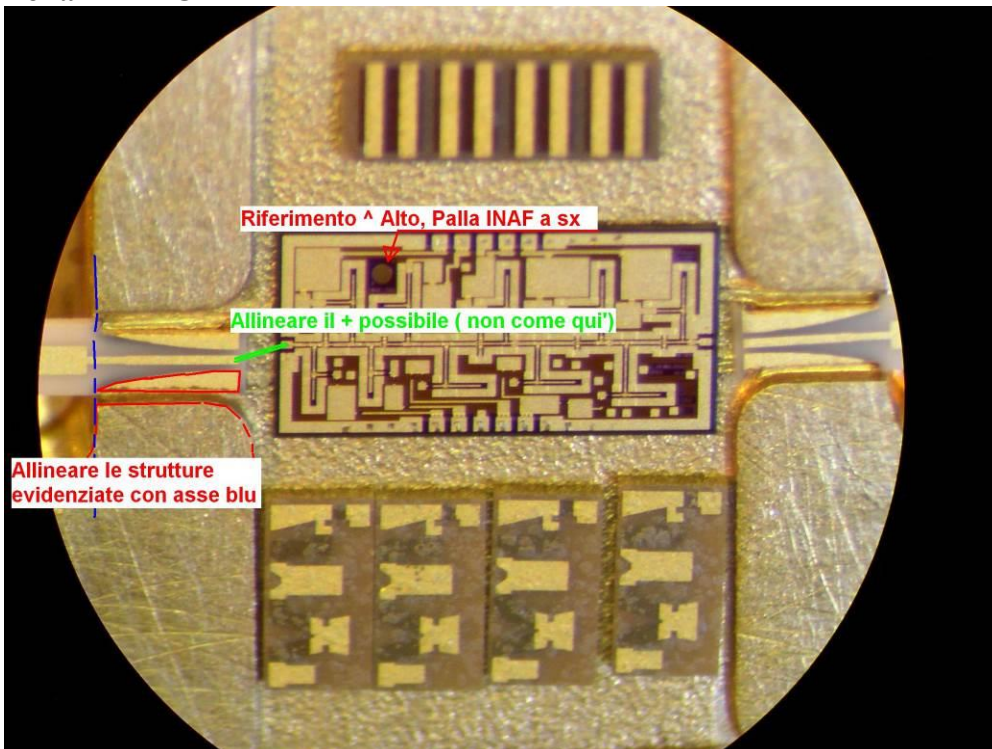
Appendice 1 Posizionamento componenti

Di seguito sono illustrati le istruzioni relative ai particolari del montaggio.

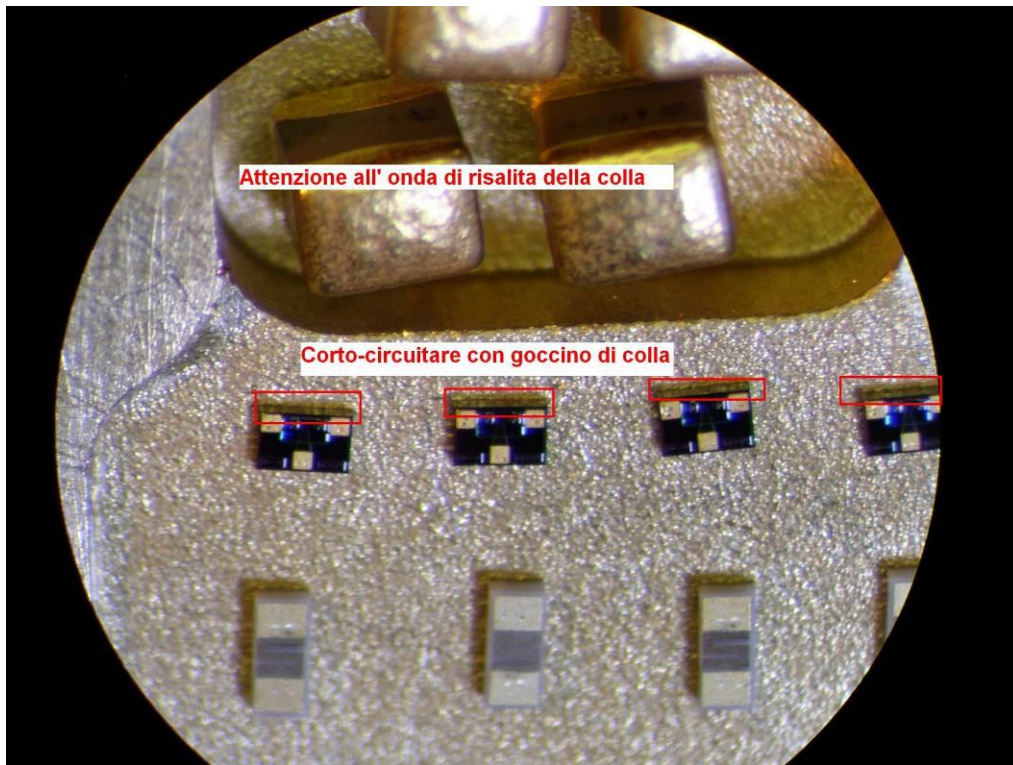
Zona "DRAIN"



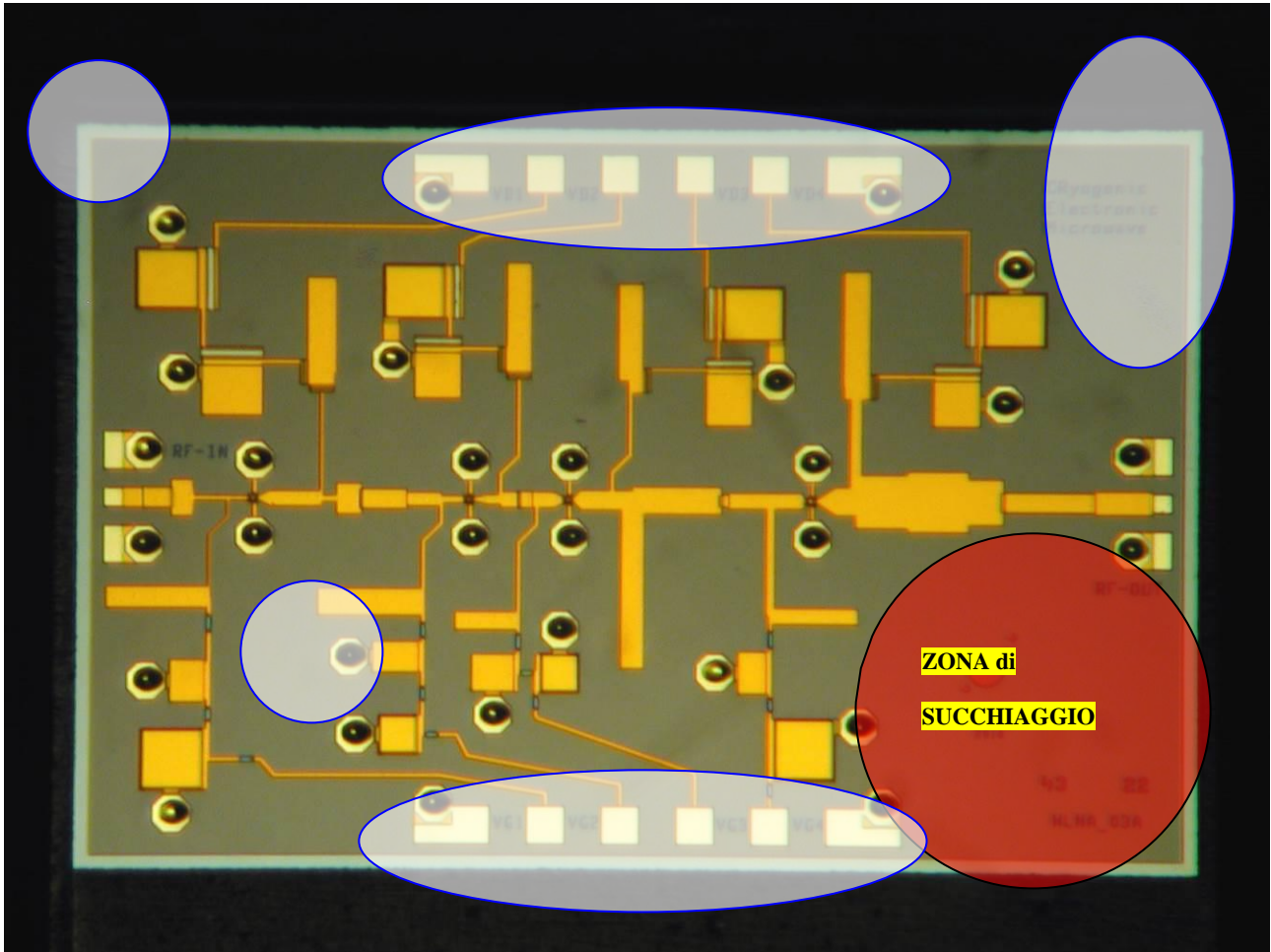
Zona "MMIC"



Zona "GATE"



Montaggio MMIC OMMIC

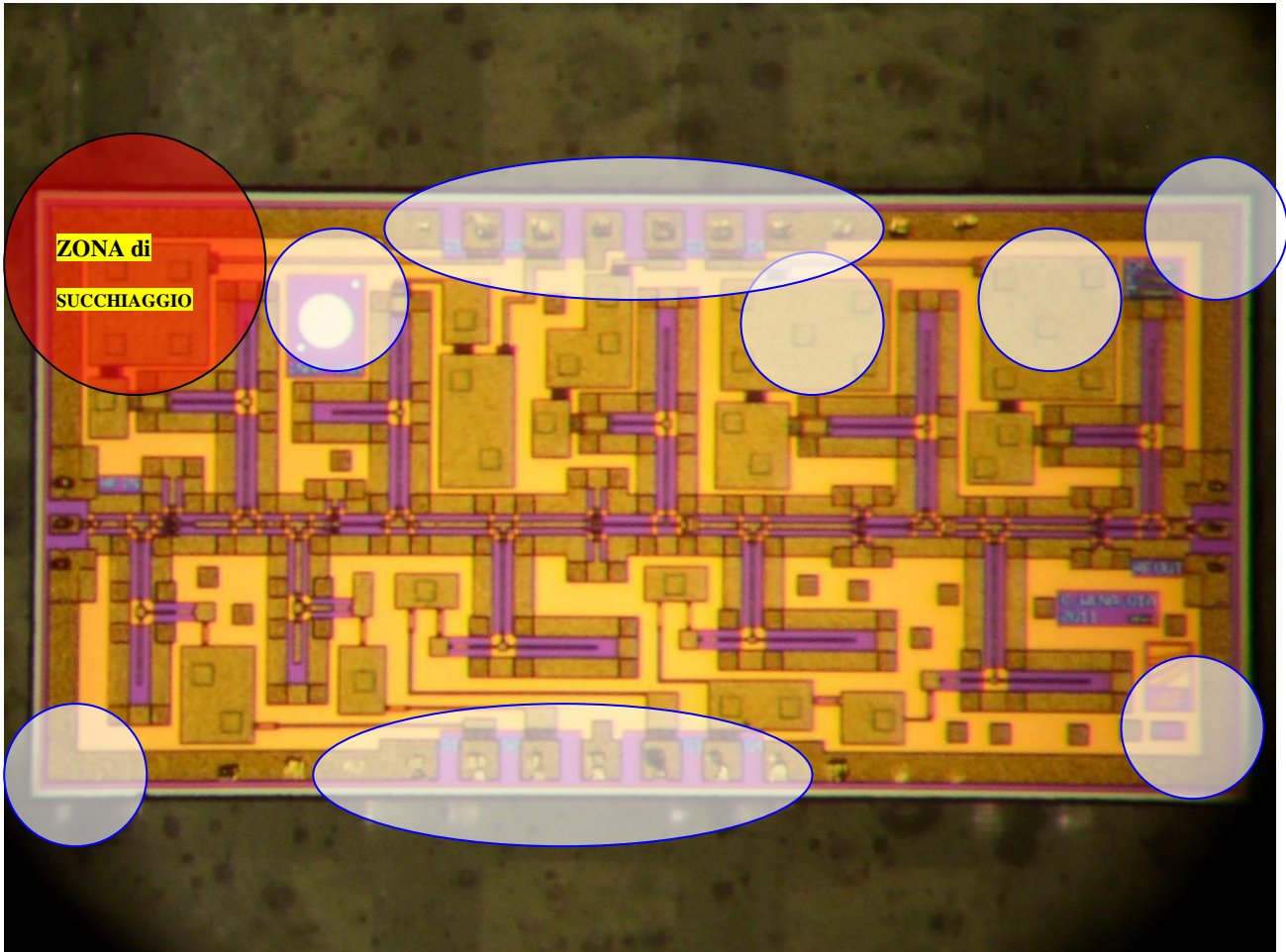


In rosso: zona di succhiaggio Pick&Place

In azzurro : zona di aggiustamento / pressione con tool plastico.

Orientamento: con la zona drain in alto e la zona gate in basso : orientare come questa foto, cioè la palla INAF va in basso a destra. Se la palla INAF non si vede orientarsi con il layout dorato (che si vede meglio).

Montaggio MMIC FRAUNHOFER



In rosso: zona di succhiaggio Pick&Place

In azzurro : zona di aggiustamento / pressione con tool plastico.

Orientamento: con la zona drain in alto e la zona gate in basso.

Appendice 2 Test di deposizione

