

AGENZIA SPAZIALE ITALIANA

Via di Villa Patrizi, 13 - 00161 ROMA
 Tel. 06-8567424 Fax 06-8567267
 E-MAIL: area_ricerca@asirom.rm.asi.it

RISERVATO ALL'ASI

(9.i)

RICHIESTA DI FINANZIAMENTO PER PROGETTO DI RICERCA (1*)

RICERCA FONDAMENTALE '97

TITOLO PROGETTO:

Rivelatore a bolometro superconduttore a struttura sospesa per l' infrarosso

CAMPO DI RICERCA (5*) Scienze dell' Universo

RESPONSABILE SCIENTIFICO E COORDINATORE Vincenzo LACQUANITI

Istituzione o
Unita' di RicercaIstituto Elettrotecnico Nazionale
"Galileo Ferraris"

Citta' Torino

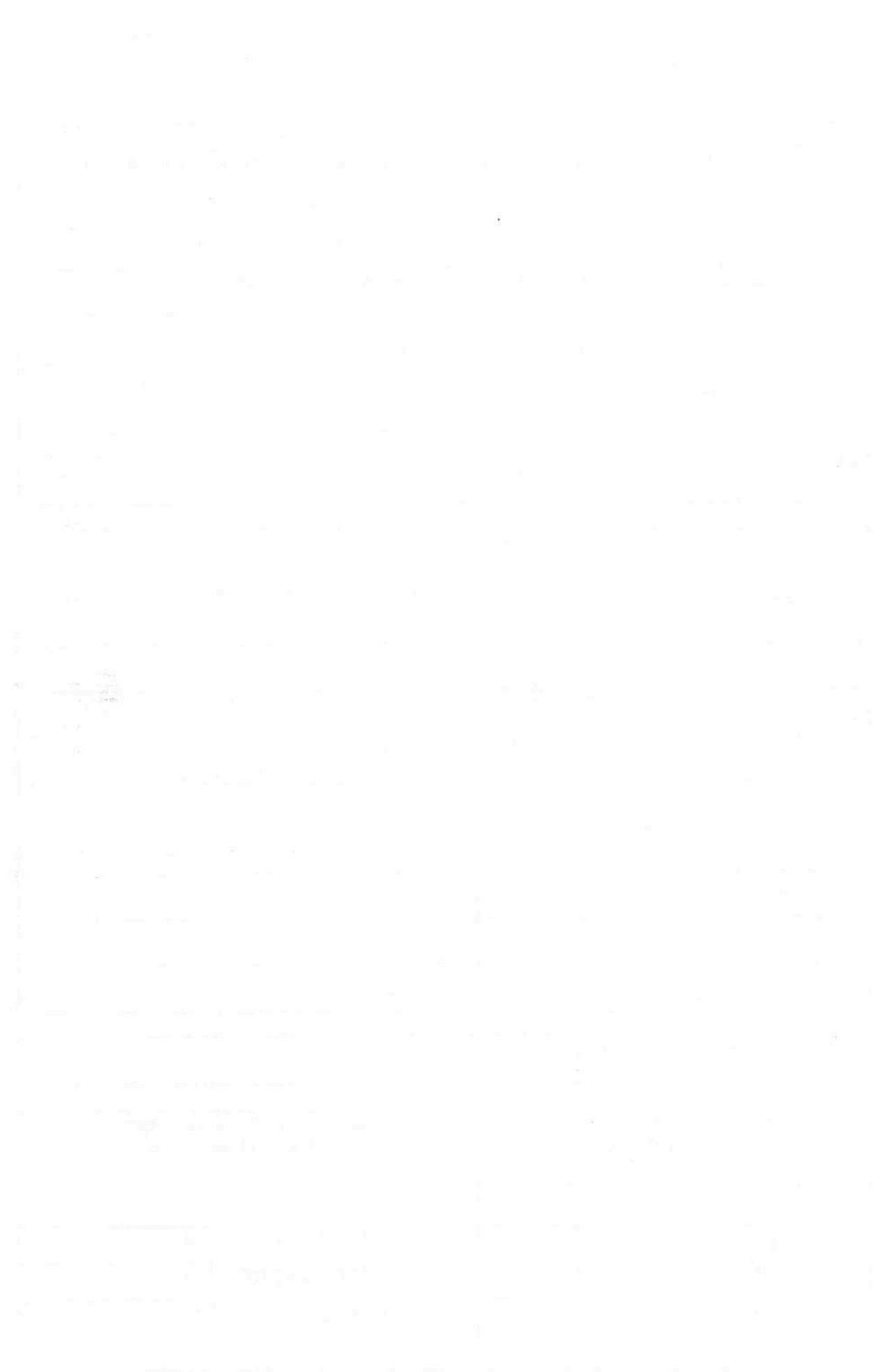
Sottoprogetti coordinati

Responsabile di sottoprogetto

Istituzione o Unita' di Ricerca

Collaborazioni internazionali (4*) :

Personale dedicato all' intero progetto per l' anno di riferimento		Finanziamento dell' intero progetto per l' anno di riferimento	
PERSONALE	TOTALE MESI	INVESTIMENTO	90
Ricercatori	11	Ricercatori	28
Tecnici	0	Tecnici	0
		TOTALE	130



UNITA' CHE COLLABORANO ALLA RICERCA (6*) (17*)

(un foglio per ogni Unità di Ricerca)

RESPONSABILE SCIENTIFICO DEL PROGETTO O SOTTOPROGETTO

Vincenzo LACQUANITI

TITOLO PROGETTO

Rivelatore a bolometro superconduttore a struttura sospesa per l' infrarosso

Per ricerca coordinata indicare:

TITOLO SOTTOPROG.

ISTITUZIONE o (3*)

Unita' di Ricerca

Isituto Elettrotecnico Nazionale "Galileo Ferraris"

DIRETTORE ISTITUZ.

o Unita' di Ricerca

Dott. P.A. Mastroeni

Sigla Istituzione

IEN

INDIRIZZO COMPLETO DELL' Istituzione o Unita' di Ricerca:

Via - Num Corso M. D'Azeglio 42

TEL 011-39191

Citta' / CAP 10125 Torino

FAX 011-346384

E-MAIL

lacquani@ien.it

DENOMINAZIONE UFFICIALE DELL'ENTE (2*):

Isituto Elettrotecnico Nazionale "Galileo Ferraris"

SIGLA ENTE (10*) IEN

cod. fisc. ENTE

01090320019

RETTORE O PRESIDENTE Prof. Sigfrido Leschiutta

INDIRIZZO COMPLETO DELL'ENTE:

Via - Num Corso M. D'Azeglio 42

TEL 011-39191

Citta'/CAP 10125 Torini

FAX 011-346384

Domande di finanziamento all'ASI

SI' NO

Finanziamento del Responsabile Scientifico	
INVESTIMENTO	90
FUNZIONAMENTO	40
TOTALE	130

PERSONALE	TOTALE MESI
Ricercatori 11	Ricercatori 28
Tecnici 0	Tecnici 0

Firma Respons. Scientif. del Progetto o
sottoprogetto
(Specificare statuto o incarico)

Firma Respons. Amministrativo del Progetto o
sottoprogetto
(Specificare statuto o incarico)

MOTIVAZIONI ED OBIETTIVI SCIENTIFICI

La necessità di misurare piccole potenze nel campo delle microonde e delle onde millimetriche ha portato a sviluppare dispositivi bolometrici basati su film sottili depositati.

I bolometri a film sottile sono conosciuti essere i rivelatori più sensibili nell'infrarosso e nelle onde millimetriche e sono largamente usati sia nelle osservazioni astronomiche che per un gran numero di altre applicazioni. I bolometri a superconduttore presentano alcuni vantaggi rispetto ai bolometri a semiconduttore, in particolare nei primi la risposta alla luce ha una larghezza di banda che si estende a diverse centinaia di μm in contrasto ai rivelatori a semiconduttore che tipicamente hanno un limite superiore nel range tra 1 e 20 μm . Oltre a ciò, ordinariamente i dispositivi superconduttori richiedono meno potenza di quelli a semiconduttore.

Esistono due categorie di rivelatori superconduttori a strato depositato:

a) Bolometri a film sottile a transizione resistiva che utilizzano superconduttori metallici sono facilmente fabbricati e possono condurre a prestazioni simili a quelle di bolometri compositi, ma richiedono a causa della bassa impedenza del termometro un sistema di misura più complesso. Questo inconveniente può essere superato con film superconduttori granulari, come nitruro di niobio, di basso spessore (10 nm) dove la resistenza superficiale è di 3-4 ordini di grandezza superiore a quella di film metallici di eguale spessore. Inoltre la responsività di questo tipo di dispositivo può essere accresciuta realizzando il dispositivo su supporti aventi bassa conduttanza termica come membrane di nitruro di silicio di spessore inferiore al μm .

b) Un altro tipo di rivelatore superconduttore avente buone prestazioni è realizzato utilizzando giunzioni Josephson a film sottile. In questo dispositivo la variazione di temperatura dovuta alla radiazione incidente è misurata attraverso la variazione della tensione del gap dell'elettrodo. Contrariamente alla maggior parte dei rivelatori convenzionali la risposta ad una intensità uniforme di luce di una giunzione Josephson non è proporzionale all'area del rivelatore, perciò operando con giunzioni di piccola area ($10-100 \mu\text{m}^2$) si possono ottenere valori di responsività 10^4-10^5 V/W . Questi dispositivi presentano una risposta lineare della tensione con la potenza incidente su almeno 5 ordini di grandezza. Schiere di giunzioni operanti come sopra descritto sono interesse per applicazioni particolari come acquisizione di immagini in un largo range di lunghezze d'onda tra 5 μm e 100 μm .

Entrambi i dispositivi vedono aumentare le loro prestazioni in termini di responsività e Noise Equivalent Power se sono depositati su supporti che minimizzano la conduttanza termica.

Il grande interesse suscitato negli ultimi anni dal Silicio poroso (p-Si) nel campo della fotonica e dell'optoelettronica ha prodotto una vasta conoscenza delle proprietà meccaniche, termiche e morfologiche di questo materiale. Grazie a indagini di tipo più fondamentale, è oggi possibile ideare e sviluppare lavorazioni micromecaniche a basso costo che hanno larga applicazione nella sensoristica.

Uno dei processi più consolidati è la produzione di ponti e membrane ad alto isolamento termico mediante strato sacrificale in p-Si. Il p-Si viene prodotto mediante attacco elettrochimico in soluzioni di HF ed H₂O o alcool.

Grazie alla presenza di una corrente di lacune nel semiconduttore, è possibile la dissociazione dei legami Si-Si all'interfaccia solido-soluzione, e si ha un'enucleazione di pori nel materiale, che procede in modo fortemente direzionale lungo le direzioni di flusso di corrente. In relazione al numero di lacune disponibili durante l'attacco, il silicio poroso presenta caratteristiche morfologiche diverse, che hanno origine nei diversi fenomeni fisici che si verificano nella cella elettrochimica. La grandezza delle strutture che si formano varia di tre ordini di grandezza, da silicio macroporoso in cui le dimensioni dei pori e dei "pilastri" sono dell'ordine dei micron a silicio nanoporoso con dimensioni dei cristalliti dell'ordine dei nanometri.

Le tecniche di lavorazione micromecanica convenzionali utilizzano in genere strati di alluminio di 3-10 micrometri al massimo, che vengono poi rimossi al fine di ottenere uno strato d'aria al di sotto del sensore che ne aumenti l'isolamento termico: il grande vantaggio dell'uso del silicio poroso come strato sacrificale è rappresentato dalla possibilità di realizzare, variando il tempo di attacco, strati anche di notevole spessore, fino a 100 micrometri. Inoltre l'eccellente finitura superficiale di questo materiale è adatta alla deposizione di altri materiali ed in particolare del nitruro di silicio, che è un materiale adatto alla realizzazione di strutture sospese.

E' dunque di grande interesse utilizzare queste tecnologie integrandole con quelle dei dispositivi a film superconduttore precedentemente citate per il conseguimento di bolometri alle frequenze millimetriche in grado di avere responsività tra $10^7-10^8 \Omega/\text{W}$ e NEP minore di $10^{-13} \text{ W/Hz}^{1/2}$.

DESCRIZIONE TECNICA E STATO DI AVANZAMENTO DEL PROGETTO

(fino a 5 pagine)

Il progetto che si intende sviluppare è relativo alla realizzazione e caratterizzazione di bolometri a strato depositato di materiali superconduttori con elevata sensibilità per l'impiego a frequenze dalle microonde all'infrarosso e lontano infrarosso.

I dispositivi sono basati sia su strisce di niobio o nitruro di niobio per i quali si utilizza la transizione superconduttiva, sia su giunzioni Josephson del tipo niobio / ossido di alluminio / niobio in cui si usa come parametro sensibile la variazione della tensione di gap.

In entrambi i casi i film verranno depositati su membrane di silicio opportunamente assottigliate a livelli di pochi micrometri in modo da originare strutture a ponte sospeso.

Utilizzando opportuni processi fotolitografici e chimici si intende da un lato conseguire geometrie di ridottissime dimensioni, alcuni micrometri, dall'altro spessori dei diaframmi anche inferiori.

In tale modo la responsività e la conduttanza termica dei bolometri può ragionevolmente essere portata a 10^{-7} - 10^{-8} Ω/W e 10^{-5} - 10^{-6} W/K rispettivamente, originando cifre di rumore valutate attraverso il noise equivalent power (NEP) di $10^{13}/10^{14}$ W/Hz $^{1/2}$.

In una prima fase si prevede di mettere a punto due distinti processi tecnologici:

- 1) realizzazione di bolometri superconduttori
- 2) conseguimento di strutture a ponte sospeso

Il primo processo a sua volta è relativo a due distinti tipi di dispositivo

a) bolometro a transizione superconduttiva, per il quale si prevede:

la realizzazione di strisce di niobio e nitruro di niobio di dimensioni di pochi micrometri su substrati di silicio policristallino. In particolare occorre per ognuno dei due materiali ottimizzare i parametri del processo di deposizione, sputtering, specialmente nel caso del nitruro dove occorre determinare la esatta composizione del film a partire dai gas di processo oltre che dalla tensione della scarica in plasma. Un ruolo molto importante è anche rivestito dallo stress dei film ottenuti che deve essere minimizzato per cui saranno effettuate caratterizzazioni opportune.

b) bolometro a giunzione Josephson; per esso si prevede:

la realizzazione di giunzioni Josephson niobio/ossido di alluminio/niobio su substrati di silicio con aree di pochi μm^2 . La tecnica che verrà utilizzata è quella della deposizione sequenziale del tristrato con ossidazione in situ e geometrizzazione delle are tramite reactive ion etching (RIE). Si dovrà anche in questo caso ottimizzare le condizioni di stress della struttura; inoltre si valuterà l'impiego di schiere planari di giunzioni al fine di massimizzare l'efficienza del rivelatore; altresì si studieranno dispositivi ad impilamento verticale di almeno due giunzioni.

Il secondo processo verrà sviluppato secondo tre metodologie competitive al fine di scegliere la più adatta.

- a) Utilizzo di p-Si come strato sacrificale per la realizzazione di un (bolometro sospeso di niobio superconduttivo): si tratta, in questo processo, di produrre una "valle di silicio poroso" profonda 50-70 micrometri e di area definita grazie a opportune metodologie di mascheratura (in parte già messe a punto dal gruppo). In seguito si deposita una strip di Nb sulla superficie del p-Si e si rimuove lo strato sacrificale mediante attacco in KOH. Il p-Si realizzato in questo caso dovrà possedere ottima finitura superficiale in modo da consentire la successiva deposizione di Nb
- b) Utilizzo di p-Si come strato sacrificale per la realizzazione di un bolometro superconduttivo su ponte sospeso di Si_3N_4 : La lavorazione è molto simile alla precedente, sfrutta le proprietà del Nitruro di Silicio come strato di mascheratura durante l'attacco in HF, al fine di ottenere una struttura a ponte sospeso in Si_3N_4 che possiede ottime proprietà meccaniche, su cui depositare il bolometro.
- c) Utilizzo di p-Si come strato sacrificale per la realizzazione di un bolometro superconduttivo su ponte sospeso di Si: questo obiettivo è raggiungibile con due processi di diverso tipo, che verranno sviluppati parallelamente: un processo simile ai primi due, ma che si avvale di mascherature ottenute drogando il Silicio di partenza su opportune geometrie, per definire le zone di microlavorazione, e sfrutta il sottoattacco, (l'anisotropia dell'attacco ai bordi delle maschere) per creare un ponte in silicio separato dal materiale bulk di circa 50 micrometri. Al di sopra del ponte è possibile poi depositare la strip di Nb.

Il secondo approccio è un nuovo tipo di attacco elettrochimico in miscela ternaria: HF, HNO₃ e H₂O o alcool. Questo metodo permette la formazione di strutture autoallineate fronte-retro del campione di Silicio, senza bisogno di doppie mascherature: le velocità di attacco sono elevatissime, (400 micrometri di Silicio in 15 min.) ed è possibile controllare lo spessore del silicio restante, fino ad ottenere membrane di pochi micrometri di spessore.

È sufficiente quindi utilizzare un'unica mascheratura per la definizione delle geometrie sul fronte del campione, con semplice fotoresist: segue una deposizione di metallo su tutta la zona mascherata e non, al fine di realizzare un buon contatto ohmico per il seguente attacco elettrochimico. Durante il processo elettrolitico, la rimozione del silicio avviene preferenzialmente lungo le linee di flusso di corrente, ed è possibile arrestare il processo al momento desiderato, in modo da ottenere sia membrane di silicio di vario spessore, che membrane di metallo sospese. Per questo progetto si pensa di realizzare una membrana di Silicio di 20 micrometri di spessore, che verrà resa porosa da un successivo attacco elettrochimico, questa volta in soluzione di HF e alcool, in modo da aumentare l'isolamento termico al di sotto dell'elemento attivo. Questo processo offre la possibilità di depositare il bolometro anche prima dell'attacco elettrochimico, sfruttando quindi la superficie polished della fetta di Silicio di partenza.

Questa fase richiede di progettare e realizzare maschere fotolitografiche con le opportune geometrie relative ad ognuno dei passi di fabbricazione.

La seconda fase della ricerca consiste nell'affrontare il problema della integrazione dei due processi tecnologici e cioè di trasferire e adattare le tecnologie di bolometri a transizione e a giunzione Josephson messe a punto sulle membrane di silicio assottigliate valutando in particolare la corretta sequenza delle fasi di deposizione, attacchi chimici e fotolitografie.

Sia per la prima fase che per la seconda verranno effettuate approfondite caratterizzazioni dei due diversi tipi di bolometro tramite misure all'elio liquido in primo luogo di responsività e conduttanza termica irradiando i dispositivi con sorgenti alle diverse frequenze. Per tale aspetto occorre progettare e realizzare criostati adatti a convogliare il segnale focalizzato sul campione e allocare quest'ultimo nell'opportuna sede termica favorendone inoltre l'adattamento di potenza.

Il progetto è di nuova attuazione ed è la prima richiesta che viene effettuata in sede ASI tuttavia il lavoro è già avviato per quanto concerne la realizzazione dei bolometri a striscia di niobio e le giunzioni Josephson niobio/ossido di alluminio/niobio nonché le tecniche di assottigliamento delle membrane di silicio.

Sono infatti stati ottenuti finora bolometri a striscia di 10-600 micrometri di niobio su kapton spesso 15 micrometri di cui si sono misurate responsività e NEP per applicazioni alla banda di frequenze 26-40 GHz: si sono valutati NEP di 10^{-12} W/Hz^{1/2}.

Sono state realizzate giunzioni Josephson su substrati di vetro Corning con buone caratteristiche elettriche in particolare nonlinearità del gap di tensione con aree di 100-1500 micrometri quadrati per valori di densità di corrente tra 10 e 2000 A/cm², in particolare si sono anche sperimentati dispositivi a doppia giunzione impilati verticalmente con buoni risultati.

Per quanto concerne la tecnologia del silicio si sono sviluppate presso lo IEN elevate competenze sul silicio poroso relativamente alla possibilità di impiego in micromecanica ottenendo primi prototipi di membrane di 40 micrometri di spessore.

L'attività svolta nel corso del primo anno di finanziamento ASI, viene riportata in dettaglio nella scheda dove si parla del resoconto dell'attività.

Qui menzioniamo la produzione dei primi esemplari di bolometri a film singolo su silicio poroso e le misure ottiche irradiando i bolometri, sia quelli a film che quelli a giunzione Josephson, con sorgente laser nel visibile. Tali misure hanno permesso di avere una prima caratterizzazione dei dispositivi.

CONSISTENZA DEL GRUPPO DI RICERCA PROPONENTE (8*)
 (un foglio per ogni Unità di Ricerca)

Responsabile Scientifico Sottoprogetto (9*)

Vincenzo LACQUANITI

Cognome e Nome	Ente (10*)	Qualifica (7*)	Funzioni (11*)	Tempo (12*)	Progetti ASI (15*)
Amato Giampiero	IPU	Ricercatore	Tecn. Silicio	2	0
Andreone Domenico	IPU	Ricercatore	Mis. Microonde	1	1
Boarino Luca	IPU	Ricercatore	Tecn. Silicio	3	0
Brunetti Luciano	IPU	Ricercatore	Mis. Microonde	1	1
Lacquaniti Vincenzo	IPU	Ricercatore	Tecn. Supercond.	4	3
Maggi Sabino	IPU	Ricercatore	Tecn. Supercond.	2	3
Monticone Eugenio	IPU	Ricercatore	Tecn. Supercond.	4	3
Rajteri Mauro	IPU	Borsista	Misure ottiche	2	2
Rastello Maria Luisa	IPU	Ricercatore	Misure ottiche	2	2
Rossi Andrea	IPU	Borsista	Tecn. Silicio	4	0
Steni Raffaella	IPU	Ricercatore	Tecn. Supercond.	3	3

ATTREZZATURE E SERVIZI DISPONIBILI (8*)
(Un foglio per ogni Unità di Ricerca)

Responsabile Scientifico Sottoprogetto (9*)

Vincenzo Lacquaniti

1. Camera pulita di classe 100 dotata di: cappe chimiche, spinner per la deposizione del photoresist (Sulzer Electro Technique), mask-aligner per l'esposizione delle maschere (Karl Suss MJB 3), microscopio Leitz ($\times 1000$) dotato di telecamera ed interfaccia per l'acquisizione delle immagini.
2. Camere grigie (classe 100000) in cui sono posti gli impianti di deposizione e caratterizzazione
3. Sistema di deposizione per sputtering rf-magnetron (Leybold Z400), dotato di catodi di Nb, Al, Ta₂O₅
4. Evaporatore a sorgente termica (Leybold)
5. Sistema di attacco chimico dei film in plasma reattivo (reactive-ion etching) (Leybold)
6. Sistema di Remote Plasma Chemical Vapour Deposition
7. Sistema di Liquid Phase Chemical Vapour Deposition
8. Cella elettrochimica per la produzione del silicio poroso
9. Profilometro per misure di rugosità e spessori di film sottili (Tencor P-10)
10. Sistema di misura comprensivo di criostato per He liquido, banco ottico con sorgente laser nel visibile e strumentazione elettronica.

ATTIVITA' DA AFFIDARE ALL'INDUSTRIA (8*)

Responsabile Scientifico Sottoprogetto (9*)

Vincenzo LACQUANITI

Non si prevede al momento di affidare attività all'industria

**SVILUPPO TEMPORALE, PIANO DI GESTIONE DELLA RICERCA
e
SVILUPPO FINANZIARIO FINO AL COMPLETAMENTO DEL
PROGETTO**

Sviluppo temporale

Il progetto mira al conseguimento di un bolometro superconduttore a struttura sospesa per l' infrarosso e il lontano infrarosso , viene attuato principalmente presso il Galileo Ferraris di Torino e si svolgerà secondo il seguente piano temporale.

Dopo una fase preliminare in cui viene fatta la scelta della tipologia del dispositivo mirata al campo di frequenze di interesse considerando anche la ampiezza di banda si avrà la fase numero 1.

1) Verranno affrontate in parallelo le due differenti tecnologie:

a) su substrati di silicio di spessore normale si metteranno a punto i due tipi di bolometro, quello a striscia di niobio o nitruro di niobio e quello a giunzione Josephson .

Questo implicherà la determinazione degli spessori dei film, la larghezza delle strisce e la minimizzazione dello stress indotto dal processo di deposizione ; nel caso del nitruro, che verrà affrontato in un secondo tempo e subordinatamente alla disponibilità finanziaria si deve anche mettere a punto il processo di deposizione in gas reattivo.

Per il bolometro a giunzione occorre trasferire sul silicio la tecnologia messa a punto su substrati di vetro ottimizzando i parametri a piccole aree. In una seconda fase si procederà allo sviluppo di schiere per favorire la ricezione del segnale ottico.

b) partendo dal silicio policristallino e utilizzando le tecniche descritte in precedenza si effettuerà

- la messa a punto di processi per la mascheratura del silicio in modo da favorire processi di rimozione controllata
- lo sviluppo dei processi di attacco chimico dello strato eccedente
- la ottimizzazione della superficie del silicio ottenuta al fine di renderla adatta alla deposizione dei bolometri.

Questa prima fase ha una durata prevista di 24 mesi.

La seconda fase comprende i seguenti aspetti:

2a) Verranno effettuate prime caratterizzazioni dei dispositivi realizzati nella fase 1) con misure all' elio liquido anche irradiando alle frequenze opportune i bolometri .

2b) Per la tecnica di assottigliamento del silicio prescelta si procederà alla integrazione con il processo di fabbricazione del tipo di bolometro più semplice quindi con la definizione delle maschere fotolitografiche necessarie, la individuazione della corretta sequenza dei processi di deposizione, fotolitografia e attacchi chimici.

2c) Si realizzeranno i dispositivi completi di cui si effettuerà una approfondita caratterizzazione con misure a bassa temperatura irradiando alle frequenze di lavoro.

Questa fase che conclude la ricerca ha una durata presunta di 24 mesi. Un ulteriore proseguimento puo' avvenire interagendo con la comunità dei radioastronomi.

Gestione finanziaria.

La tecnologia richiesta per la fabbricazione dei bolometri basati su strisce di niobio o su giunzioni Josephson niobio-ossido di alluminio-niobio presente presso il Galileo Ferraris.

Per il primo anno occorre disporre dei materiali di funzionamento legati ai processi realizzativi: gas, reagenti chimici, substrati ed elio liquido per le prime prove.

Per i bolometri basati sul nitruro di niobio occorre invece disporre di una camera di deposizione aggiuntiva completa di catodo; questa richiesta viene riferita al secondo anno del progetto.

La realizzazione delle strutture sospese a partire da membrane di silicio richiede da parte sua di completare la messa a punto di un impianto presente presso lo IEN di LPCVD dedicato al nitruro di silicio; questa richiesta viene avanzata per il primo anno.

Le spese di funzionamento precedentemente citate si ritengono estese anche per il secondo biennio della ricerca con in più la voce delle macchine fotolitografiche e di materiale per la realizzazione di criostati per le misure a bassa temperatura.

In conseguenza del funzionamento ricevuto il primo anno, che copre solo in piccola parte le spese di investimento necessarie per il completamento del sistema LPCVD e per l'approntamento della seconda camera di sputtering, questi aspetti vengono rinviati agli anni successivi.

Il progetto tuttavia, come dettagliato nell'ampia relazione sull'attività svolta (scheda XI), procede sugli altri obiettivi. In particolare si è anticipato al primo biennio la caratterizzazione in elio liquido per quei bolometri che si è già riusciti a realizzare, cioè quelli a film di niobio.

RESOCONTO ATTIVITA' SCIENTIFICA NEL BIENNIO PRECEDENTE

Il programma da noi presentato prevedeva lo studio e lo sviluppo di tre diversi tipi di rivelatori bolometrici superconduttori realizzati su strutture a bassa conducibilità termica.

La ricerca si è indirizzata su due tipi di dispositivo, quello a film singolo di niobio ove si impiega la transizione dallo stato superconduttivo allo stato normale come elemento sensibile, e quello a giunzione SIS Josephson Nb/AlOx/Nb, ove si usa la dipendenza dalla temperatura del gap di energia della giunzione.

Infatti le indagini sul dispositivo a film di nitruro di niobio sono al momento state rinviate perché il finanziamento acquisito (10M investimento e 30M funzionamento) non permetteva di implementare il sistema di deposizione di film con una camera addizionale ove far avvenire la deposizione reattiva di questa lega.

Nella relazione descriviamo pertanto il lavoro e i risultati conseguiti relativamente al bolometro a film di niobio e al bolometro a giunzione Josephson.

Per quanto concerne il dispositivo a microbridge di niobio, che costituisce un bolometro risonante in cui la dimensione della striscia determina la lunghezza d'onda di lavoro, abbiamo ottenuto per sputtering r.f. alcuni esemplari su substrato di silicio tradizionale ed altri su substrati di silicio poroso ovvero silicio in cui la densità specifica era variata in modo controllata attraverso il processo di formazione elettrochimica.

Mentre il processo sul silicio normale, già sviluppato in passato ha richiesto solo la corretta individuazione degli spessori e delle dimensioni delle linee, molta cura ha richiesto la messa a punto del processo sul silicio poroso, in quanto tra i parametri da ottimizzare alcuni erano di difficile controllo come ad esempio la rugosità superficiale, fondamentale per depositare film di niobio dello spessore voluto, poche decine di nanometri, con il valore di resistività e temperatura di transizione necessari per il miglior funzionamento come bolometri, quindi elevata pendenza della curva di transizione in temperatura.

A questo proposito sono stati misurati i parametri che individuano la morfologia dei grani dei film depositati in strutture singole e a multistrato; in questi ultimi ha infatti importanza l'evoluzione che la morfologia subisce al crescere del numero degli strati.

Misure effettuate mediante STM hanno permesso di determinare che singoli film depositati per sputtering con basse pressioni di Ar presentano una superficie meno rugosa di quelli depositati con alte pressioni di sputtering e perciò più adatti per la fabbricazione di giunzioni. Nei multistrati Nb/Al-AlOx/Nb la stessa tecnica unita all'AFM ha permesso di stabilire l'effetto planarizzante dell'AlOx. Questa caratteristica risulta determinante nella realizzazione di strutture dove diverse giunzioni sono impilate, poiché evita un rapido incremento della rugosità dei film e conseguentemente un deterioramento dei parametri elettrici.

Lo stress dei film singoli di Nb e multistrati Nb/Al-AlOx/Nb è stato misurato con tecniche interferometriche e profilometriche. Alla pressione di Ar di lavoro in entrambi i casi è stato osservato uno stress di tipo compressivo dello stesso ordine che risulta essere tipico di film di Nb depositati con rf sputtering. Questi film a dispetto del forte stress meccanico hanno comunque buone caratteristiche superficiali che li rendono adatti per la realizzazione di giunzioni. Una riduzione dello stress meccanico, auspicabile quando si debbano realizzare dispositivi su strutture sospese, può essere ottenuta con l'utilizzo di uno sputtering DC.

Per quanto concerne i rivelatori utilizzanti giunzioni Josephson, quindi a larga banda, si sono considerati alcuni aspetti rilevanti del processo di deposizione in sequenza dei film della giunzione nonché della definizione fotolitografica delle geometrie degli elettrodi, sia in giunzioni singole che in stack di due e tre elementi.

In particolare si è intrapreso lo studio della dipendenza della pendenza del gap di energia delle giunzioni multiple dal numero degli strati, dal valore della corrente e dallo spessore dei film e dalla dimensione delle aree dei bolometri.

Le giunzioni stacked possono presentare alcuni importanti vantaggi rispetto alle giunzioni singole come dispositivi bolometrici. Una giunzione stacked composta da n giunzioni in linea di principio risponde ad una potenza incidente con una variazione di gap di energia che risulta n volte maggiore quella di una giunzione singola con identiche caratteristiche ed anche il range di linearità è esteso poiché sono richieste potenze maggiori prima che la giunzione entri in saturazione.

Allo scopo di caratterizzare questi bolometri e quelli a transizione superconduttiva è stato realizzato un descendente in fibra ottica in grado di irradiare il dispositivo in vuoto, in gas di He ed in He liquido. In questo descendente una fibra di 100 μm di diametro viene focalizzata sul campione grazie ad un sistema di movimentazione micrometrico stabile ai cicli termici tra temperatura ambiente e 4.2 K. Come sorgente è stato usato un laser a 633 nm con una potenza di 6 mW. Il fascio è focalizzato usando un micrometro XYZ sulla fibra così da realizzare un accoppiamento maggiore del 70%. Dato il basso livello del segnale generalmente fornito dal rivelatore abbiamo utilizzato un amplificatore lock-in per la misura della tensione modulando il fascio laser tra 10 Hz e 4 KHz. Un generatore di corrente stabile (Keithley 220) è usato infine per la polarizzazione del rivelatore.

Il comportamento del bolometro a giunzione Josephson è stato analizzato misurando la risposta in funzione della corrente di polarizzazione, dell'area, della temperatura di lavoro e della frequenza di modulazione.

La sensibilità tipica per una giunzione di area di $10^3 \mu\text{m}^2$ è tra 50 e 100 V/W a seconda della corrente di polarizzazione e della temperatura di lavoro. Confrontando l'andamento della risposta sulla frequenza con un opportuno modello termico della giunzione abbiamo determinato inoltre il tempo di risposta del dispositivo che varia per le misure in vuoto tra 5 μsec e 50 μsec e la sua conduttanza termica che risulta essere vicina a $5 \cdot 10^{-6} \text{ W/K}$. Dal modello termico utilizzato è possibile prevedere che una riduzione sostanziale dell'area della giunzione a $10 \mu\text{m}^2$ può ridurre il tempo di risposta di almeno un fattore 100 e la conduttanza termica di un fattore 10, incrementando la sensibilità di un fattore 10.

La linearità della risposta del dispositivo sulla potenza incidente, misurata interponendo una serie di filtri sul cammino ottico del fascio laser, si estende per circa quattro ordini di grandezza, limitata a bassi livelli di potenza dal rumore dell'amplificatore e dalla saturazione della giunzione ad alti livelli di potenza.

Il NEP previsto per questo rivelatore è $\sim 10^{-13} \text{ V/W}$ che significa una detectività di $10^{10} \text{ cm}^2\text{Hz}/\text{W}$ comparabile a quella della maggior parte dei bolometri a transizione resistiva operanti in prossimità di 4.2 K. Comunque un bolometro a giunzione presenta caratteristiche di stabilità termica decisamente superiori che ne permettono l'utilizzo senza ricorrere a particolari sistemi di stabilizzazione. Questo rappresenta un vantaggio rilevante quando si debbano realizzare schiere di sensori dove l'uniformità della temperatura tra i differenti componenti è critica.

La caratterizzazione di dispositivi con 2 e 3 giunzioni sovrapposte ha mostrato risultati analoghi a quelli della giunzione singola per quanto riguarda il tempo di risposta come ci si aspetta dal modello termico della giunzione. La valutazione della sensibilità sul numero delle giunzioni impilate nel presente rivelatore rappresenta invece un problema complesso poiché coinvolge effetti di riscaldamento e di non-equilibrio che sono solitamente trascurabili in He liquido ma non in vuoto dove il rivelatore opera. Per una giunzione stacked con 2 giunzioni sovrapposte noi misuriamo una sensibilità di 200 V/W pressoché doppia rispetto ad una giunzione singola avente la stessa area e nelle stesse condizioni sperimentali. Nel caso della giunzione tripla noi valutiamo una sensibilità di circa 380 V/W. In questo caso lo spessore limitato degli elettrodi centrali determina un gap complessivo minore di quanto aspettato e probabilmente un forte incremento della pendenza del gap sulla temperatura che spiegherebbe l'alto valore di sensibilità osservato.

Gli effetti di instabilità termica osservati spesso nelle misure su giunzioni multiple possono essere fortemente ridotti incrementando lo spessore degli elettrodi intermedi e riducendo l'area della giunzione.

Il lavoro svolto sulle tecniche di microlavorazione basate sul silicio poroso (PS) hanno consentito di individuare tra i processi proposti quelli più efficaci dal punto di vista dell'isolamento termico, della consistenza meccanica e della compatibilità del processo con le fasi di lavorazione che riguardano l'elettronica del dispositivo.

Delle tre metodologie inizialmente proposte, quella del punto a) che prevedeva la realizzazione di un film di niobio direttamente sospeso su un canale microlavorato ottenuto con rimozione di uno strato di silicio poroso sacrificale e' parsa la piu' critica a causa della scarse proprietà meccaniche del film di Nb e dell'elevato stress residuo in seguito alla rimozione. Per il processo del punto b), pur presentando alcuni svantaggi tipici degli attacchi anisotropi, (lunghi tempi di attacco, doppio allineamento, consumo di area sul fronte dell'attacco) non hanno fornito strutture di isolamento termico adeguato (conduttanze di un solo ordine di grandezza in meno rispetto al Silicio bulk). Ulteriore riduzione della conduttanza termica di queste strutture e' raggiungibile rendendo porose le membrane, a costo pero' della semplicità del processo.

L'ipotesi b) e' sicuramente la piu' perseguitibile, dal punto di vista dell'efficienza di isolamento termico e della semplicità dell'approccio. A tale scopo presso l'IEN G.Ferraris e' stata progettata una cella per attacchi anisotropi in KOH e si stanno ultimando i lavori di messa a punto di un sistema LPCVD per la deposizione del Nitruro di Silicio su fette da 4".

Un prototipo di bolometro a membrana è stato realizzato sfruttando fette di silicio già nitrurato, ed i risultati di caratterizzazione termica ed elettrica indicano l'efficacia, anche a basse temperature e pressioni di tale metodologia.

Una nuova ipotesi di processo fortemente innovativa che si propone come un'interessante alternativa alle microlavorazioni di bulk e di superficie basate sulla rimozione di uno strato sacrificale, è la realizzazione di uno strato massivo di silicio altamente poroso (silicon aerogel) che presenta proprietà termiche notevoli, (conducibilità termica dello strato poroso oltre tre ordini di grandezza inferiore a quella del silicio cristallino) rapidità di lavorazione (poche decine di minuti) finitura superficiale ottima (grazie anche ad un sistema di asciugatura freeze-drying appositamente realizzato).

Bolometri di Nb su silicio e silicio poroso sono stati caratterizzati determinando la loro sensibilità a metà della transizione resistiva ed il tempo di risposta misurando la risposta in funzione della frequenza. Per queste misure noi abbiamo utilizzato strip di Nb di 600 μm di larghezza con spessore tra 20 e 100 nm. Questi film mostrano una temperatura di transizione tra 7 e 8 K, una resistività residua tra 10 e 15 $\mu\Omega\text{cm}$ ed una larghezza di transizione tra 0.05 e 0.02 K. Il tempo di risposta di questi bolometri è dell'ordine di qualche secondo dovuta alla dimensione dell'area della strip mentre la sensibilità è 2-3 V/W a 10 Hz. Da queste misure osserviamo che le proprietà elettriche dei film di Nb non vengono sostanzialmente deteriorate utilizzando come strato isolante il Si poroso. Per questi dispositivi valutiamo una conduttanza termica di circa 0.3 W/K per il bolometro su Si e circa 0.2 W/K per quello su Si poroso. Questa riduzione della conduttanza è modesta soprattutto a causa delle estese dimensioni della strip rispetto allo spessore dello strato di poroso $\sim 70\mu\text{m}$ e della bassa porosità dello strato poroso 50-60%. Incrementando la porosità a circa l'80% e utilizzando larghezze di strip di qualche decina di μm l'effetto isolante dello strato di poroso dovrebbe aumentare consistentemente.

ELENCO PUBBLICAZIONI NEL TRIENNIO PRECEDENTE (8*)

(Autori, titolo, riferimento bibliografico)

(Un foglio per ogni Unità di Ricerca)

Responsabile Scientifico Sottoprogetto (9*)

Vincenzo LACQUANITI

D Andreone, L Brunetti, V Lacquaniti, S Maggi, F Rosso, R Steni, *Development of a Nb/Al-AlOx/Nb SIS mixer at 100 GHz*, Proceedings of the 2th European Conference on Applied Superconductivity (1995) 1689-1692

V Lacquaniti, S Maggi, E Monticone, G Picotto, R Steni, *STM and AFM analysis of stacked Nb/Al-AlOx/Nb Josephson junctions*, Proceedings of the 2th European Conference on Applied Superconductivity (1995) 1451-1454

S. Maggi, *Rf-induced steps in a pulse driven Josephson junction*, Proceedings of the 2th European Conference on Applied Superconductivity (1995) 1243-1246

Lacquaniti, E. Monticone, R. Steni, *Superconducting transition edge bolometer for microwave power measurements*, Proceedings of 7th IMEKO TC-4 Symposium (1995) 38-42

V. Lacquaniti, D. Andreone, S. Maggi, E. Monticone, *Development of single and vertically stacked Josephson junctions for electrical precision measurement*, Proceedings of 7th IMEKO TC-4 Symposium (1995) 400-404

V. Lacquaniti, S.Maggi, E.Monticone, R.Steni, *Thickness dependence of electrical and structural properties of Nb thin films*, Phys. Stat. Sol. (a) 151 (1995) 335-344

V.Lacquaniti, S.Maggi, E.Monticone, R.Steni, *Properties of rf sputtered Nb/Al-AlOx/Nb Josephson SNAP junctions*, IEEE Trans. Appl. Superconduct. 6 (1996) 24-31.

D. Andreone, V. Lacquaniti, S. Maggi, E. Monticone, R. Steni, *Magnetic Field Behavior of Vertical Stacks of Josephson Junctions with Large Idle Regions*, to appear on IEEE Transactions on Appl. Supercond.

V. Lacquaniti, S. Maggi, E. Monticone, and R. Steni, *Analysis of the Interfaces of Stacked Josephson Junctions by Atomic Force Microscopy*, to appear on IEEE Transactions on Appl. Supercond.

S. Maggi and V. Lacquaniti, *Analysis of Magnetic Field Patterns of Single Josephson Tunnel Junctions with Large Idle Regions*, to appear on Journal of Low Temperature Physics.

S. Maggi, *Enhanced Phase Locking in a Josephson Junction Driven by Current Pulses*, to appear on Journal of Low Temperature Physics.

V. Lacquaniti, S. Maggi, E. Monticone, R. Steni and A. Vaccari, *Magnetic field dependence of the critical current of single and stacked Josephson junctions with large idle regions*, to appear on Il Nuovo Cimento.

D. Andreone, L. Brunetti, V. Lacquaniti, S. Maggi, E. Monticone, and R. Steni, *Superconductive thin film devices for microwave applications*, to appear on Il Nuovo Cimento.

S. Maggi, *Step width enhancement in a pulse-driven Josephson junction*, Journ. of Appl. Phys., 79 (1996) 7860-3

V. Lacquaniti, S. Maggi, R. Steni, *Area reduction process for Nb/Al-AlOx/Nb Josephson junctions for SIS mixer applications*, Proceedings of 30th ESLAB Symposium on Submillimetre and Far-Infrared Space Instrumentation (1996) 223-226.

G.Sironi, G.Boella, M.Gervasi, A.Vaccari, D.Andreone, V.Lacquaniti, S.Maggi, R.Steni, U.Pisani, G.P.Bava, E.Bava, G.Bonelli, V.Natale, G.Tofani, Development of SIS junctions for astrophysical observations, Proceedings of 30th ESLAB Symposium on Submillimetre and Far-Infrared Space Instrumentation, (1996) 219-222.

V. Lacquaniti, E. Monticone and G.B. Picotto, *Structural and surface properties of sputtered Nb films for multilayer devices*, to appear on Surface Science.

G. Amato, L. Boarino, N. Brunetto, A. M. Rossi, and A. Parisini, *Investigation of the Non-Radiative Processes in Porous Silicon*, Thin Solid Films 276, 51, (1996).

- G. Amato, and N. Brunetto, *Porous Silicon via Freeze Drying*, Mater. Letters, 26, 295, (1996).
- G. Amato and N. Brunetto, *New Applications of Porous Silicon*, Defects and Diffusion Forum, 134/135, 15, (1996).
- G. Amato, A. Cannazza, G. Benedetto, L. Boarino, N. Brunetto, V. Lacquaniti, S. Maggi, E. Monticone, G. Piperno, R. Spagnolo and R. Steni, *Advanced bulk micromachining of silicon for thermal insulation of sensors*, to be published on Atti della Societa' Italiana di Fisica, proc. SAA 96, Brescia, May 1996.
- A. Parisini, N. Brunetto, and G. Amato, *TEM Investigation on Porous Silicon from heavily doped substrates*, to be published on Nuovo Cimento D.
- G. Amato, L. Boarino, N. Brunetto, A. Bellone, L. Schirone and G. Sotgiu, *Application of Porous Silicon in colour sensing*, to be published on Atti della Societa' Italiana di Fisica, proc. SAA 96, Brescia, May 1996.
- G. Amato and N. Brunetto, *Characterization of Freeze dried Porous Silicon*, to be published on Thin Sol. Films.
- G. Amato, L. Boarino, N. Brunetto, and M. Turnaturi, *Deep 'Cold' Junctions by Porous Silicon impregnation*, to be published on Thin Sol. Films.

DESCRIZIONE DEL PRODOTTO DEL PROGETTO (8*) (16*)

Dovra' contenere la descrizione sintetica degli obiettivi e dei risultati attesi
(Un foglio per ogni Unità di Ricerca)

Responsabile Scientifico Sottoprogetto (9*)

Vincenzo LACQUANITI

Un primo obiettivo è rappresentato dalla messa a punto delle tecnologie specifiche citate nella descrizione del progetto:

- 1) Bolometri a film superconduttore di niobio o nitruro di niobio su substrato a bassa conduttanza termica per le microonde e le onde millimetriche. Si depositeranno su substrati di silicio film sottili di qualche micrometro di ampiezza con spessori in grado di fornire alta responsività e buon adattamento alle frequenze utilizzate, minimizzando lo stress.
- 2) Bolometri costituiti da giunzioni Josephson singole o in schiera planare per l' infrarosso e lontano infrarosso. Per questo dispositivo si realizzeranno elementi di aree micrometriche sia singole che doppie e si formeranno schiere planari adatte alla ricezione di segnali ottici.
- 3) Realizzazione di membrane sospese sul silicio policristallino e poroso utili per strutture a bassa dissipazione termica. Verranno implementati tre diversi tipi di struttura sospesa: su supporto di nitruro di silicio, su strato sacrificale di silicio poroso e su silicio poroso ottenuto dal substrato di silicio.

Il secondo prodotto è la realizzazione della struttura integrata dove i bolometri dei punti 1) e 2) vengono ottenuti su diaframmi di cui al punto 3) del primo obiettivo. Tali dispositivi per la loro potenziale alta responsività e bassissimo NEP sono di grande interesse per la radioastronomia oltre che per altre applicazioni.

PREVISIONE DI SPESA PER L'ANNO 1997 (8*)

(Un foglio per ogni Unità di Ricerca)

Responsabile Scientifico Sottoprogetto (9*)

Vincenzo LACQUANITI

	Importo (ML)
Investimento (13*)	
Camera di deposizione con load-lock e riscaldamento	50
Complettamento sistema LPCVD	20
Sistema con lock in per misura ottica di precisione	20
	<hr/>
Tot. INV.	90
Funzionamento	
MATERIALI E SERVIZI _____ gas reagenti, substrati, maschere fotolitografiche	20 _____
COLLABORAZIONI _____ per tecnologie speciali con Politecnico di Torino e Lamel di Bologna	10 _____
SPESE DI CALCOLO _____	<hr/>
CONTRATTI INDUSTRIALI _____	<hr/>
MISSIONI _____	10 _____
	<hr/>
Tot. FUNZ.	40
TOTALE	130

**RENDICONTO SCHEMATICO DEI FONDI GIA' ASSEGNAZI AL
PROGETTO FINO ALLA DATA DI PRESENTAZIONE (8*)**
(Voci generali per Investimento e Funzionamento)
(Un foglio per ogni Unità di Ricerca)

Responsabile Scientifico Sottoprogetto (9*)

Vincenzo LACQUANITI

Il progetto è stato finanziato nel 1996 in sede ASI per un ammontare di 40 ML totali: 10 ML investimento e 30 ML funzionamento.

Per quanto concerne le voci che si sono individuate sono relative a :

Investimento

Componenti per la realizzazione dei bolometri	5 ML
Componenti per la misura	5 ML

Funzionamento

Materiale per deposizione e crescita	13 ML
Funzionamento laboratori	4 ML
Materiale per fotolitografia	4 ML
Materiale per misure	3 ML
Missioni	4 ML
Spese per il personale	2 ML

FINANZIAMENTI ASI
Quadro economico relativo all'intero programma
(in ML)

ANNO	I ANNO	II ANNO	III ANNO	IV ANNO	V ANNO
<u>INVESTIMENTO</u>	10	90	50	0	
	assegnati	richiesti	richiesti	richiesti	
<u>FUNZIONAMENTO</u>					
Materiali e servizi	26	20	50	50	
Collaborazioni		10	5	5	
Spese di calcolo					
Contratti industriali					
Missioni	4	10	5	5	
TOTALE	30	40	60	60	
	assegnati	richiesti	richiesti	richiesti	
<u>TOTALE</u>	40	130	110	60	

TRADUZIONE IN INGLESE DELLE MOTIVAZIONI ED OBIETTIVI SCIENTIFICI

The need for measuring low powers in the field of micro and millimetric wavelengths has led to develop bolometric thin film devices.

Thin film bolometers are known as the most sensitive detectors for the infrared and the millimetric waves and are widely used both for astrophysical observations and for many others space applications. Superconductive bolometers on the other hand show several advantages with respect to semiconductive devices: for instance the radiation response of superconductive detectors has a bandwidth hundreds of micrometers wide, while for semiconductors it is limited to 1-20 μm . Moreover, usually superconductive devices need less power than the semiconductive ones.

Two different families of superconductive detectors can be considered:

a) resistive transition thin film bolometers made of metallic superconductors are easily fabricated and can show performances comparable with those of composite film bolometers, but they need a more complicate measuring apparatus due to the lower thermometer impedance. This fact can be overcome if granular superconductive films such as niobium nitride of low thickness (10 nm) are used: these films have a surface resistance 3-4 times the surface resistance of metallic films of the same thickness. Moreover the responsivity of this device can be further improved if the films are deposited over a low thermal conductance substrate as, for instance, silicon nitride membranes less than 1 μm thick.

b) A second type of detector is represented by the thin film Josephson tunnel junction. In this device the temperature change originated by the incoming power is measured through the junction electrode gap voltage change. Different from almost all other detectors the response of a Josephson junction to uniform light intensity does not depend from the detector area, therefore using small area junctions ($10-100 \mu\text{m}^2$) responsivity as high as 10^4-10^5 V/W can be obtained. These devices have a linear response of the voltage as function of the incoming power over at least 5 order of magnitude.. Arrays of junctions are used for peculiar applications such as imaging over a wide wavelength range (5-100 μm).

Both the mentioned devices increase their performances as regard responsivity and noise equivalent power (NEP) when are deposited over substrates which minimize thermal conductance.

The great interest that porous Silicon (p-Si) has aroused in the last years in the field of photonics and optoelectronics has caused a wide knowledge of the mechanical, thermal and morphological properties of this material. It is therefore possible nowadays, thanks to more fundamental studies, to design and develop micromechanical manifacturings (micromachining) at low cost which find large applications in the sensor world.

One of the most consolidated process is the realization of bridges and cantilevers of high thermal insulation through P-Si sacrificial layer. P-Si is obtained by electrochemical etching in solutions of HF and H₂O or alcohol.

Due to the presence of an hole current in the semiconductor, the dissociation of Si-Si links at the solid -liquid interface is possible, this causes an nucleation of the pores in the material, which proceeds quite directionally along the current flow direction.

Porous Silicon shows different morphological characteristics depending from the number of available holes during the etching process and these characteristics are related to the different physical phenomena which happen in the electrochemical cell.. The form of the grown structure can vary of three order of magnitude, from macroporous silicon where the pores and "pilasters" dimensions are a few micrometers, to a nanoporous silicon where the crystallites are in the nanometer range.

The conventional micromachining techniques usually exploit aluminum layers of 3-10 micrometers, which are then removed in order to achieve an air gap under the sensor to increase its thermal insulation. In this sense, the great advantage of using porous silicon as sacrificial layer is the possibility of realizing layers up to 100 micrometer thick, by changing the etching time. Moreover the excellent surface texture of this material allows the deposition of other materials especially of silicon nitride, which is a suitable material for the realization of suspended structures.

It is therefore extremely interesting to use these technologies integrated with those of the superconductive film devices mentioned above to achieve bolometers for the millimetric wavelengths with responsivities up to $10^7-10^8 \Omega/\text{W}$ and NEP lower than $10^{-13} \text{ W/Hz}^{1/2}$.

FONDI DI FINANZIAMENTO NON ASI (8*)

(CNR, MPI 40% - 60%, Progetti Speciali, Contratti di altri Enti) (14*)
(Un foglio per ogni Unità di Ricerca)

Responsabile Scientifico Sottoprogetto (9*)

Vincenzo LACQUANITI

Il progetto si è giovato in parte di un finanziamento relativo ad un Progetto Strategico CNR (circa 5 ML), e di fondi ordinari dello IEN per le linee di attività relative ai film sottili e alla fotometria (circa 10 ML).

I firmatari assicurano che tutte le informazioni fornite nell'intera domanda corrispondono a verità'

Fatto a : il:

Firma Responsabile Scientifico

(Specificare statuto o incarico)

Firma Responsabile Amministrativo

(Specificare statuto o incarico)

ISTRUZIONI

(1*) La proposta va indirizzata all'ASI , Segreteria Comitato Scientifico, Via di Villa Patrizi, 13 - 00161 Roma e dovrà essere inviata in 13 (tredici) copie per posta o per corriere.

(2*) Indicare se: CNR, Università, Osservatori, Consorzi Industriali, Consorzi Pubblici, Enti Pubblici (per Consorzi ed Enti Pubblici allegare copia dello Statuto), Altri (specificare).

(3*) Indicare se: Dipartimento, Istituto, Centro, altro(specificare).

(4*) Indicare nome Organismi Internazionali ed Esteri.

(5*) Indicare un campo:

1- *Scienze dell'Universo*

2- *Scienze della Terra*

3- *Scienze della Vita*

4- *Scienze dell'Ingegneria*

(6*) Le domande coordinate dovranno essere presentate dal coordinatore del programma e contenere nelle pagg. II i dati relativi ad ogni responsabile del sottoprogetto, inclusi quelli del programma centrale.

(7*) Prof. Ord.; Prof. Ass.; Ricercatore; Dottorando; Altri (specificare)

(8*) In caso di ricerca coordinata, dovrà essere redatto un foglio analogo per ogni Responsabile Scientifico partecipante al progetto di ricerca ed incluso nel presente modulo di richiesta.

(9*) In caso di ricerca coordinata, ripetere il nome del coordinatore e/o del responsabile scientifico.

(10*) Usare le seguenti sigle: CNR = (CNR); CORI = (Consorzio di Ricerca); CORIN (Consorzio di Ricerca a partecipazione industriale); IND = (Industrie); IPU = (Altre Istituzioni Pubbliche); OIN = (Organizzazioni Internazionali); OPR = (Organizzazioni Private); OSS = (Osservatorio); UNI = (Università); Altri (specificare).

(11*) Indicare la funzione specifica nell'ambito del programma.

(12*) Dare la stima del tempo che si intende dedicare in mesi all'anno.

(13*) Esplicitare nella relazione le ragioni tecniche che giustificano l'acquisto.

(14*) Indicare i fondi richiesti e ricevuti inerenti il tema specifico, ovvero l'area scientifica entro cui il progetto si colloca.

(15*) Indicare il numero di altri progetti ASI a cui il ricercatore partecipa.

(16*) Si noti che la pagina XI ("Descrizione del prodotto del progetto) costituira', in caso di finanziamento del programma, l'allegato tecnico al contratto ASI.

(17*) Eventuali variazioni nei dati dovranno essere tempestivamente notificate all'ASI a cura dei proponenti.

ISTRUZIONI

(1*) La proposta va indirizzata all'ASI , Segreteria Comitato Scientifico, Via di Villa Patrizi, 13 - 00161 Roma e dovrà essere inviata in 13 (tredici) copie per posta o per corriere.

(2*) Indicare se: CNR, Università, Osservatori, Consorzi Industriali, Consorzi Pubblici, Enti Pubblici (per Consorzi ed Enti Pubblici allegare copia dello Statuto), Altri (specificare).

(3*) Indicare se: Dipartimento, Istituto, Centro, altro(specificare).

(4*) Indicare nome Organismi Internazionali ed Esteri.

(5*) Indicare un campo:

1- *Scienze dell'Universo*

2- *Scienze della Terra*

3- *Scienze della Vita*

4- *Scienze dell'Ingegneria*

(6*) Le domande coordinate dovranno essere presentate dal coordinatore del programma e contenere nelle pagg. II i dati relativi ad ogni responsabile del sottoprogetto, inclusi quelli del programma centrale.

(7*) Prof. Ord.; Prof. Ass.; Ricercatore; Dottorando; Altri (specificare)

(8*) In caso di ricerca coordinata, dovrà essere redatto un foglio analogo per ogni Responsabile Scientifico partecipante al progetto di ricerca ed incluso nel presente modulo di richiesta.

(9*) In caso di ricerca coordinata, ripetere il nome del coordinatore e/o del responsabile scientifico.

(10*) Usare le seguenti sigle: CNR= (CNR); CORI = (Consorzio di Ricerca); CORIN (Consorzio di Ricerca a partecipazione industriale); IND = (Industrie); IPU = (Altre Istituzioni Pubbliche); OIN = (Organizzazioni Internazionali); OPR = (Organizzazioni Private); OSS = (Osservatorio); UNI = (Università); Altri (specificare).

(11*) Indicare la funzione specifica nell'ambito del programma.

(12*) Dare la stima del tempo che si intende dedicare in mesi all'anno.

(13*) Esplicitare nella relazione le ragioni tecniche che giustificano l'acquisto.

(14*) Indicare i fondi richiesti e ricevuti inerenti il tema specifico, ovvero l'area scientifica entro cui il progetto si colloca.

(15*) Indicare il numero di altri progetti ASI a cui il ricercatore partecipa.

(16*) Si noti che la pagina XI ("Descrizione del prodotto del progetto) costituira', in caso di finanziamento del programma, l'allegato tecnico al contratto ASI.

(17*) Eventuali variazioni nei dati dovranno essere tempestivamente notificate all'ASI a cura dei proponenti.