SIMP: single microwave photon detection

INFN
Istituto Nazionale di Fisica Nucleare
Laboratori Nazionali di Frascati

INFN PISA
Istituto Nazionale di Fisica Nucleare
Sezione di Pisa

WP1: Coordination

WP2: Current Biased Josephson Junction

WP3: Transition Edge Sensors Single Photon Counter

WP4: RF Cavities, Guides, Antennas and Integration

IFN
Consiglio Nazionale delle Ricerche
Istituto di Fotonica e Nanotecnologie

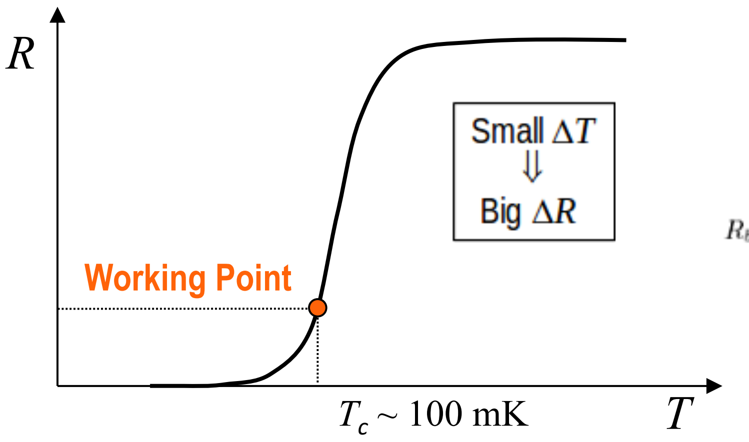
CNR NANO PISA NEST

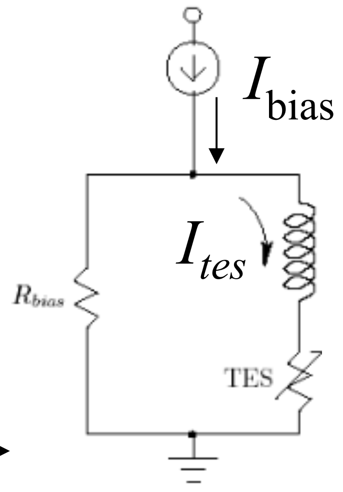
INRiM
ISTITUTO NAZIONALE DI RICERCA METROLOGICA

TIFPA
Trento Institute for Fundamental Physics and Applications

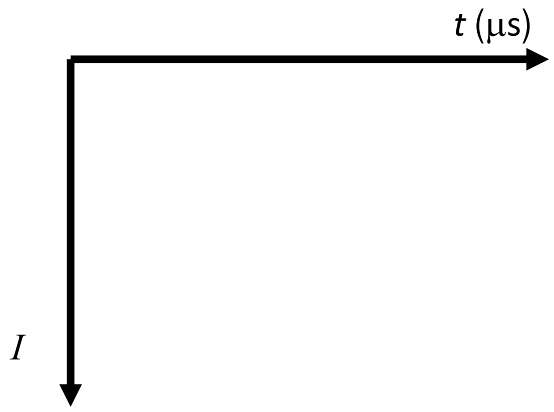
INFN
Gruppo Collegato di Salerno
Sezione di Napoli
Istituto Nazionale di Fisica Nucleare

Principio di funzionamento

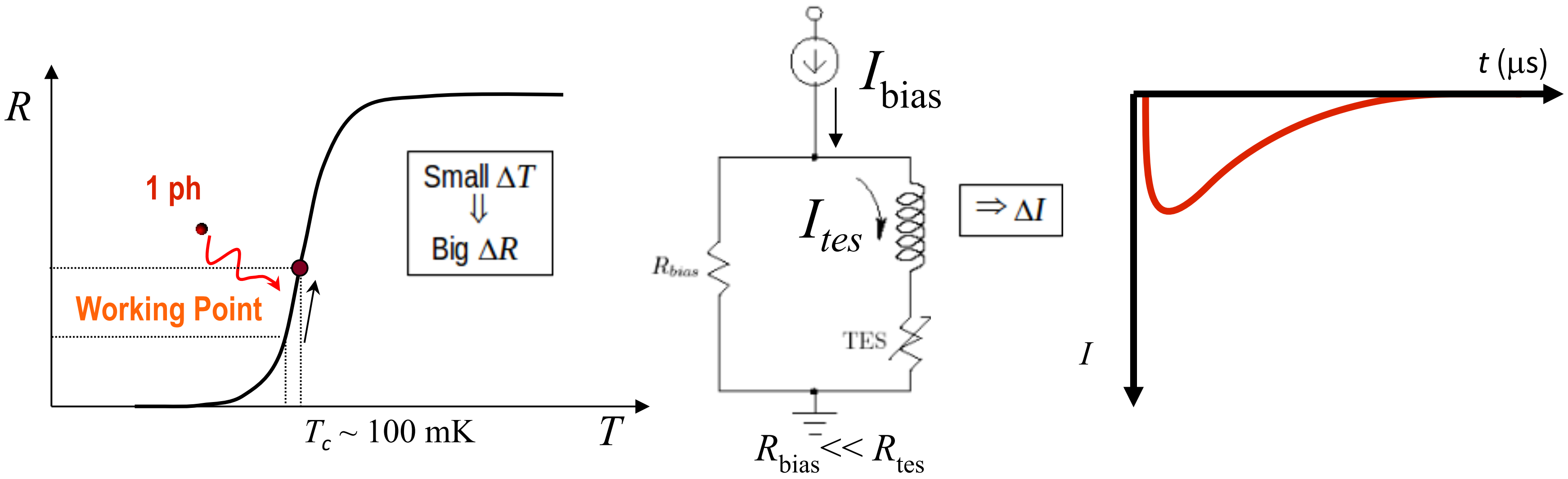




$R_{bias} << R_{tes}$

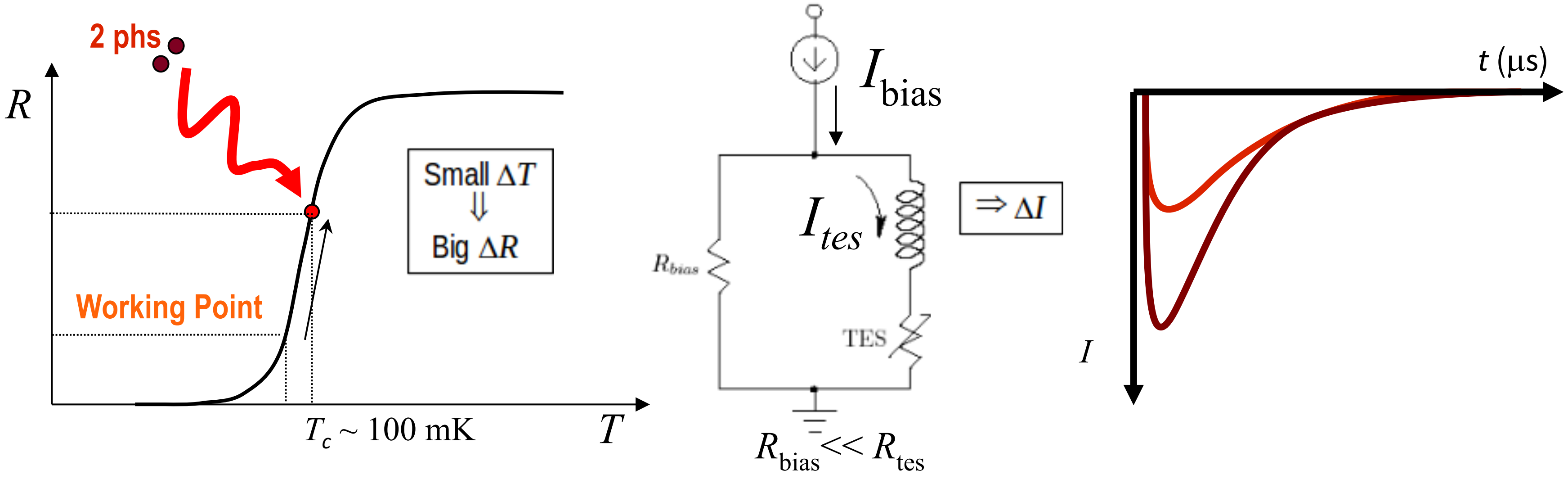


Principio di funzionamento



$\Delta T \Rightarrow \Delta R$ @ Voltage bias $\Rightarrow$ ΔI

Principio di funzionamento



ΔT ⇨ ΔR @ Voltage bias ⇨ ΔI

Principio di funzionamento

$$\tau_{eff} = \tau_{th} \left\{ 1 + \frac{\alpha}{n} \left(1 - \frac{T_s^n}{T_c^n} \right) \right\}^{-1} \approx \frac{n}{\alpha} \tau_{th} \approx \frac{C}{G} \propto T_c^{-3}$$

Tempo di risposta
(non importante per noi)

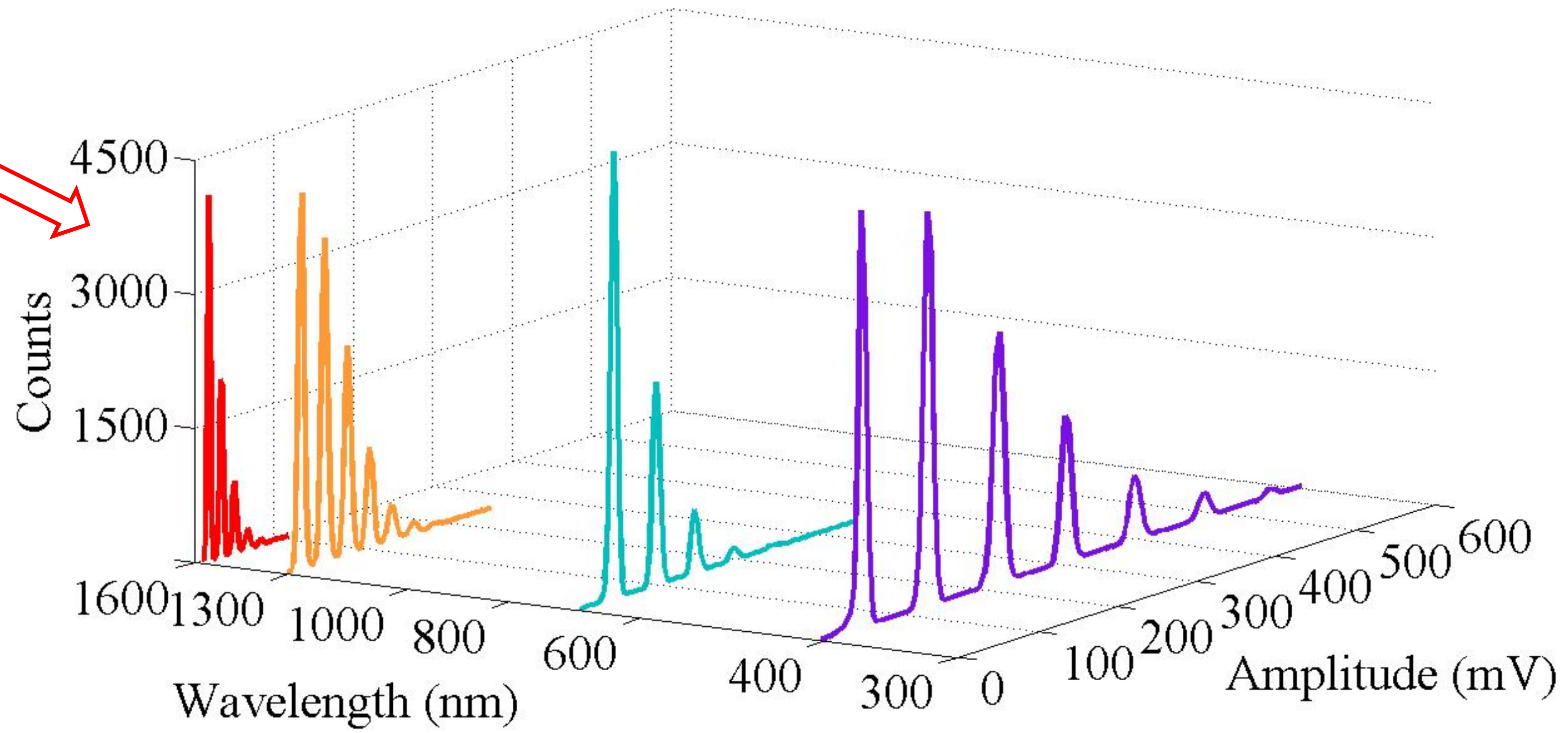
$$\Delta E_{FWHM} \approx 2.36 \sqrt{4kT_0^2 \frac{C_e}{\alpha} \sqrt{n/2}} \propto T_c^{3/2} V^{1/2}$$

Risoluzione in energia

Dove siamo

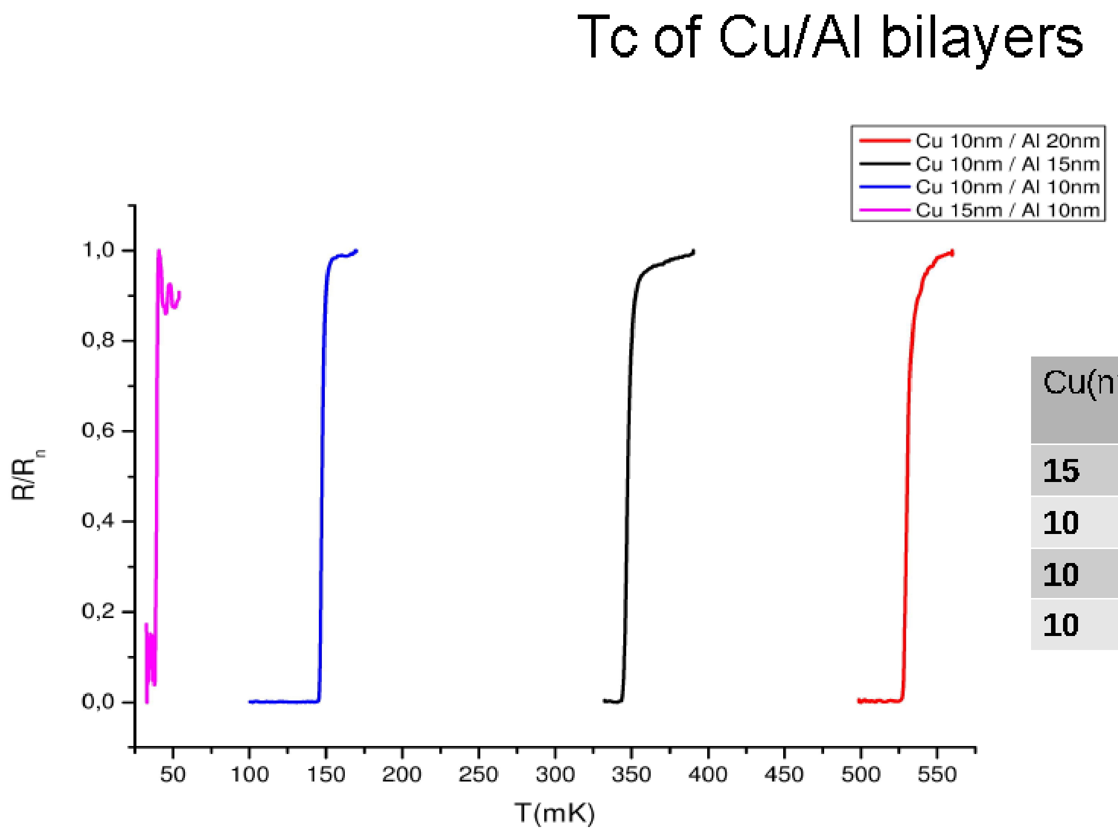
Miglior risultato (TiAu)
ΔE = (0.113 ± 0.001) eV (=> 27 THz)

A circa 2.5 ordini di grandezza dal goal (100 GHz)



(Esperimento Stax - INFN)

Dove siamo



alpha=MAX(T/R dR/dT)

Cu(nm)	Al(nm)	Tc (mK)	Rn (ohm)	alpha
15	**10**	40	70	100
10	**10**	147	165	420
10	**15**	347	115	500
10	**20**	530	75	900

tional Enterprise for nanoScience and nanoTechnology

NEST National Enterprise for nanoScience and nanoTechnology

WP3 - Transition Edge Sensors Single Photon Counter (30-100 GHz)

(Esperimento Stax - INFN)

Dove siamo

- i) Choice of a superconducing bridge with low Tc ($\leq$ 20mK) (α-W, Ti/Cu, Al/Cu bilayers)
- ii) Reduced TES active volume (down to 10^{-3}-10^{-4} μm^3)
- iii) EBL to downsize TES lateral dimensions to a few tens of nm
- iv) Highly-efficient log-period spiral antennas (NbTi, Nb, or V)
- v) ultra-low noise dc SQUID amplifiers ($n_I \sim 10$ fAHz$^{-1/2}$ @100mK)

STAX TES calorimeters expected performance:

Operation frequency ν (GHz)	Operative temperature (K)	Energy resolution σ_E/h (MHz)	DCR (1/year)	Efficiency η (%)	Absorber volume (μm^3)	Speed τ_{eff} (s)
30 -100	$\leq$ **0.01**	**500 - 1000**	**10^{-5}**	$\geq$ **99**	**$10^{-3} - 10^{-4}$**	**$10^{-3} - 10^{-1}$**

Attività WP3 (in rosso il 2019)

1. Selection of the best material as single or multi-layer with proper thicknesses and optimization of deposition process on different substrate types
2. Design and fabrication of antenna-coupled TES by micro/nano lithographic techniques
3. Test down to 5 mK of the antenna-coupled TES with dc-SQUID readout

Task 3.1 Materials investigation for TES (M1-M18)
Task 3.2 Design and fabrication of TESs for microwaves (M12-M24)
Task 3.3 Design and Fabrication of an antenna-coupled TES (M1-M24)
Task 3.4 TES microwave characterization (M18-M36)

Deliverables
D3.1 Selection of practical TES materials (M12)
D3.2 Fabrication of TES with Tc=40 mK (M18)
D3.3 Fabrication of TES with Tc=20 mK (M24)
D3.4 Fully characterized antenna-coupled TES operating in the 30-100 GHz band (M36)

Milestones
M3.1 Design of TES with microwave antenna in the 30-100 GHz band (M14)
M3.2 Sensitivity measurement of TES (M30)

Nessun task si conclude nel 2019

Deliverable a fine 2019

Milestone a inizio 2020

Pbm: taglio budget 2019
Richiesti per WP3 47k€
Assegnati 20k€

Le sorgenti del segnale di calibrazione indicate nel proposal

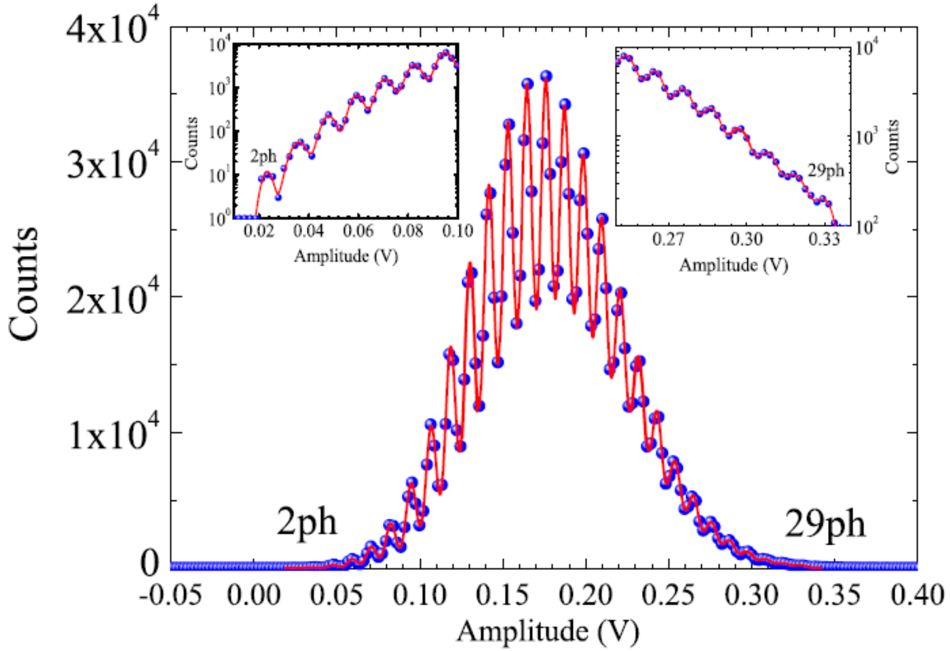
- Generatore esterno al criostato
- Sorgente a giunzione Josephson (ac J effect)
- Corpo nero

191 THz	1.57 μm	0.79 eV	✓	Laser (usato per calibrazione miglior TES INRIM, ΔE=0.11 eV)
100-25 THz	3-12 μm	0.4-0.1 eV		Quantum Cascade Laser (es. Mirsense)
10-1 THz	30-300 μm	40-4 meV		JJ HTc Superconductors (es. $Bi_2Sr_2CaCu_2O_8$ "Bisko")
2-0.2 THz	150-1500 μm	8-0.8 meV		Frequency multipliers
700-30 GHz	0.4-10 mm	3-0.1 meV		JJ BCS Superconductors (es. Nb T_c=9K => 0.7 THz)
100-1 GHz	3-300 mm	400-4 μeV	✓	Generatore Microonde

Fino a che sensibilità del TES possiamo calibrare con un laser a 1570 nm?

1570 nm => 0.79 eV, ΔE = 0.32 eV

Range dinamico = $E_{max}/\Delta E$ = 29x0.79/0.32 = 72



L. Lolli, et al. J. Low Temp. Phys., vol. 167, pp. 803-808, 2012.

Significa che sarebbe stato possibile calibrare anche con un laser da
≈ 15x0.79 ≈ 12 eV => ≈ 100 nm?

?

Con laser a 1570 nm posso calibrare TES con ΔE fino a 20 meV?

DOMANDE

- Come porto il segnale di calibrazione dalla sorgente al TES?
- Per la calibrazione del TES serve un’antenna? Da che frequenza (in giù)?
- Come posso produrre impulsi da una sorgente di corpo nero?
- Come valuto la detection efficiency?
- Fondi sufficienti per fibre/guide, filtri e ottiche THz, movimentazione micrometrica a freddo etc.?

FINE

		ultraviolet			
Visible			300 THz	1 μm	1.24 eV
	NIR	Near infrared	30 THz	10 μm	124 meV
	MIR	Mid infrared	3 THz	100 μm	12.4 meV
	FIR	Far infrared	300 GHz	1 mm	1.24 meV
	EHF	Extremely high frequency	30 GHz	1 cm	124 μeV
	SHF	Super high frequency	3 GHz	1 dm	12.4 μeV
Micro-waves	UHF	Ultra high frequency	300 MHz	1 m	1.24 μeV

Per E/ΔE=70

Sorgenti segnale di calibrazione

191 THz 1.57 μm 0.79 eV ---------------- Laser per Calibrazione miglior TES INRIM (ΔE=0.11 eV)
Possiamo usarlo per calibrare TES con ΔE-> 0.01eV
Vantaggio: tecnica ben nota

100-25 THz 3-12 μm 0.4-0.1 eV, ------------ Quantum Cascade Laser (es. Mirsense)
Possiamo usarlo per calibrare TES con ΔE-> 1.5meV
Vantaggi: commerciale
Svantaggi: costoso, difficile da mettere in fibra

10-1 THz 30-300 μm 40-4 meV ------------- JJ HTc Superconductors (es. $Bi_2Sr_2CaCu_2O_8$ "Bisko")
Possiamo usarlo per calibrare TES con ΔE-> 0.06meV (quindi nel range del generatore microonde commerciale)
Vantaggi: opera vicino al TES
Svantaggi: non commerciale -> cercare collaboratori

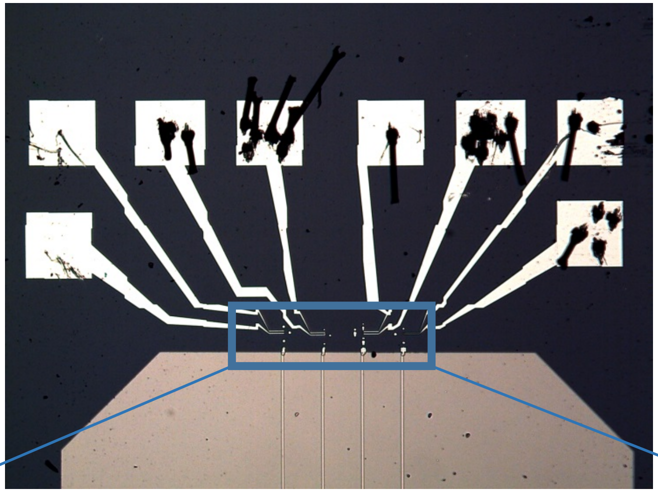
2-0.2 THz 150-1500 μm 8-0.8 meV ------------ Frequency multipliers
Possiamo usarlo per calibrare TES con ΔE-> 0.01meV (quindi nel range del generatore microonde commerciale)
Vantaggi: commerciale
Svantaggi: costoso-> cercare collaboratori, trasmissione "in aria" del segnale -> finestre, filtri, attenuatori al THz

700-30 GHz 0.4-10 mm 3-0.1 meV ------------ JJ BCS Superconductors (es. Nb Tc=9K => 0.7 THz)
Possiamo usarlo per calibrare TES con ΔE-> 1.5μeV (quindi nel range del generatore microonde commerciale)
Vantaggi: NEST le produce fino a 2-300GHz, IFN le può produrre in Nb?
100-1 GHz 3-300 mm 0.4-0.004 meV ------ generatore commerciale

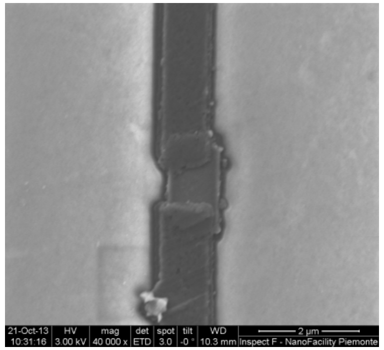
Towards submicron TESs

TES - WP5
(il nostro)

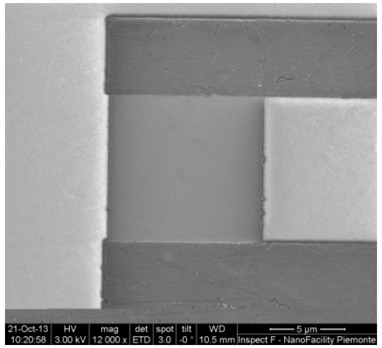
Titanium based
TES



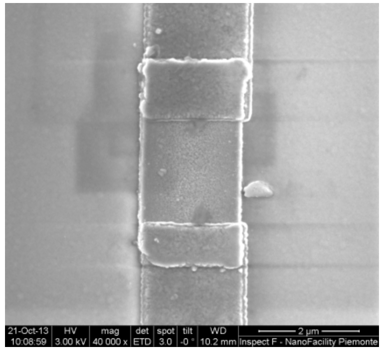
1μm × 1 μm



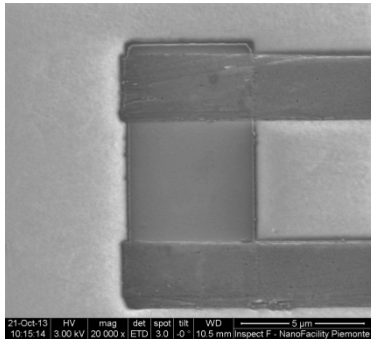
10 μm × 10 μm



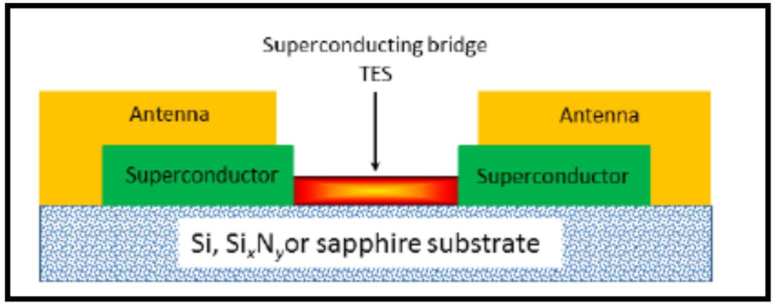
2μm × 2 μm



5 μm × 5 μm



Dove siamo



STAX: TES operating in the 30 GHz-150 GHz range

TES energy resolution $\boxed{\sigma_E \approx 0.3\sqrt{k_B T_c^2 C_e}} \propto T^{3/2}\text{Volume}^{1/2}$