

Technologie przyrządów nadprzewodnikowych

W. Słysz, M. Guzewicz,

Institut technologii Elektronowej Warszawa.

NADPRZEWODNIKI NISKOTEMPERATUROWE-NbN

Detektor pojedynczych fotonów

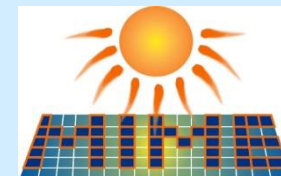
M. Cieplak , P.Gierłowski, A. Malinowski

Institut Fizyki PAN, Warszawa

NADPRZEWODNIKI WYSOKOTEMPERATUROWE-YBaCuO

Filtr, Ogranicznik prądowy

Projekt współfinansowany ze środków Europejskiego
Funduszu Rozwoju Regionalnego w ramach Programu
Operacyjnego Innowacyjna Gospodarka



NADPRZEWODNIKI NISKOTEMPERATUROWE-NbN

Fabrication

NbTiN film deposition by magnetron sputtering
Surrey Nanosystem 1000C

- Nb target (99,99%, \varnothing 75 mm), $P_{pDC} = 220$ W
- base pressure $p_o = 1 \cdot 10^{-8}$ mbar,
- $p = 8 \cdot 10^{-3}$ mbar, Ar flow 10 sccm,
N₂ flow in range 4 ÷ 10 sccm
- Ti target (99,99%, \varnothing 75 mm), $P_{DC} = 70$ W, 80 W

Substrate: sapphire(0001), Si(001)

$T_{\text{substr.}} = 850^{\circ}\text{C}$, $P_{pDC} = 220$ W

Heat treatments

RTP, Ar, N₂, T = 1000°C, t = 3-20 min.



Characterization

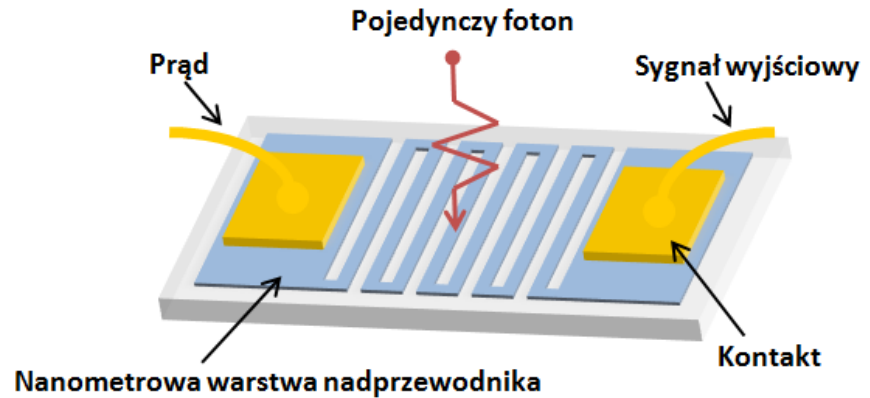
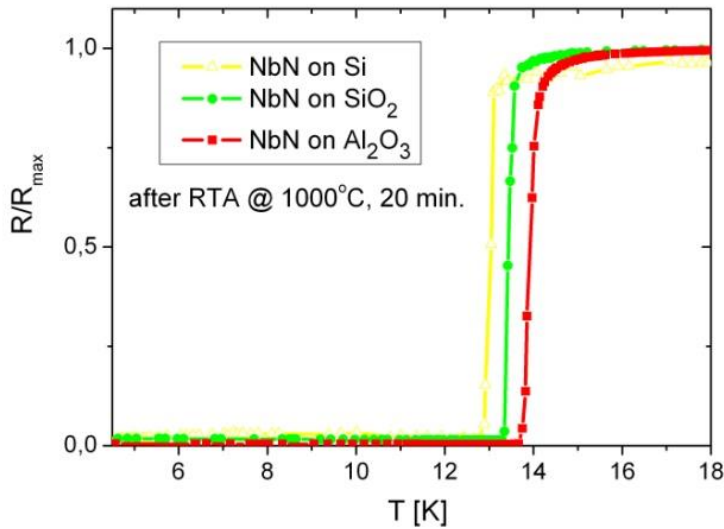
Structure: HR XRD Philips X'Pert (Cu K α), XAS, TEM (JEOL 2100)

Composition: XPS

Electrical: critical T_C and critical current density j_C

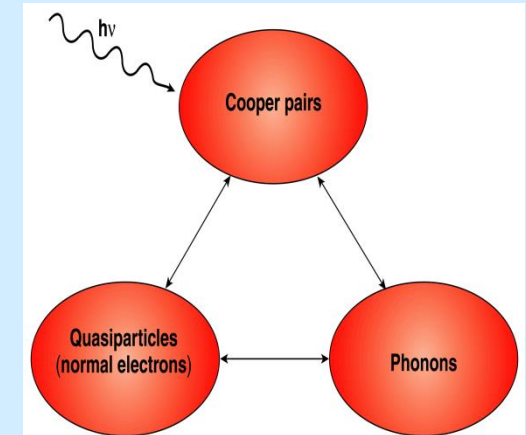
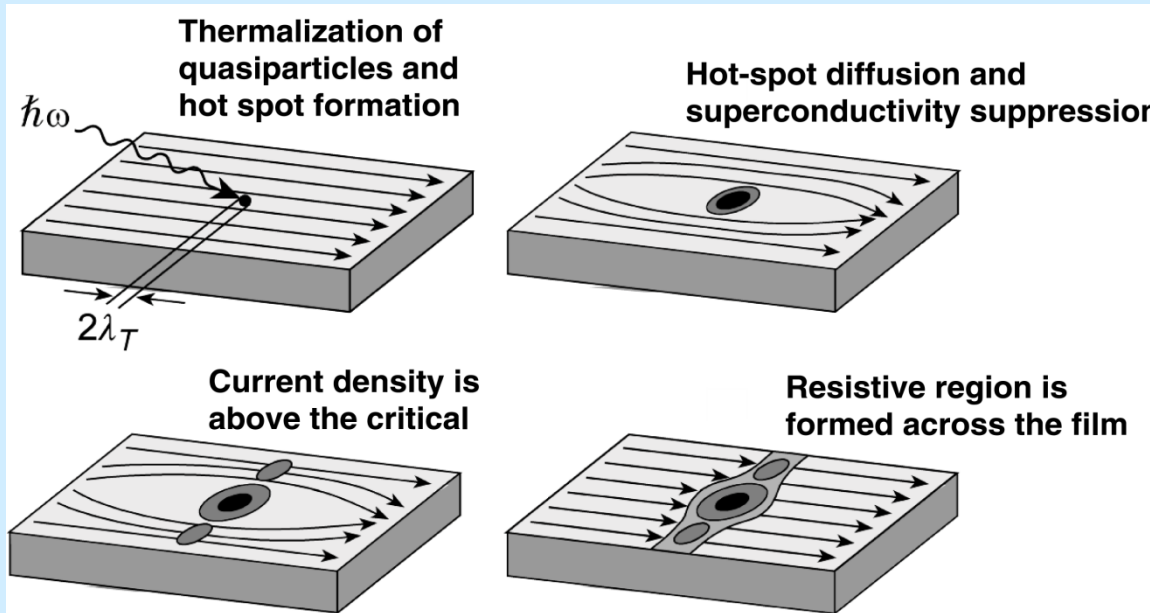
NADPRZEWODNIKI NISKOTEMPERATUROWE-NbN

2



NADPRZEWODNIKI NISKOTEMPERATUROWE-NbN

Single-photon response is based on current-assisted hotspot formation in ultrathin NbN nanostripe



Golt'sman *et al.*, Appl. Phys. Lett, (2001)

1 optical photon can create a hotspot of up to ~ 1500 quasiparticles.
 Hotspot formation time ~ 30 ps for ultrathin NbN.
 Hotspot relaxation $\sim 150-300$ ps.

NbN and NbTiN are the materials of choice for implementation of SSPDs

NADPRZEWODNIKI NISKOTEMPERATUROWE-NbN

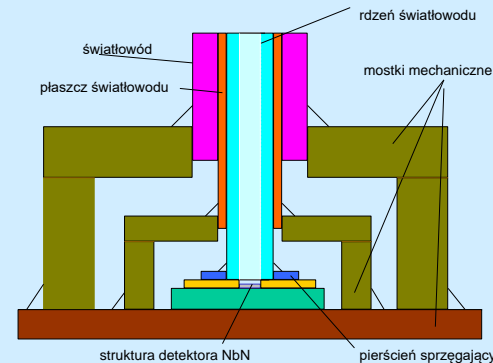
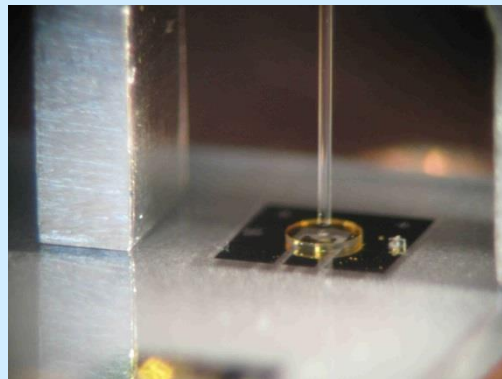
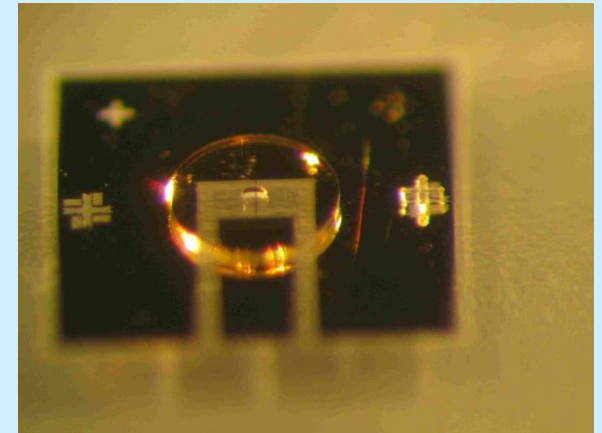
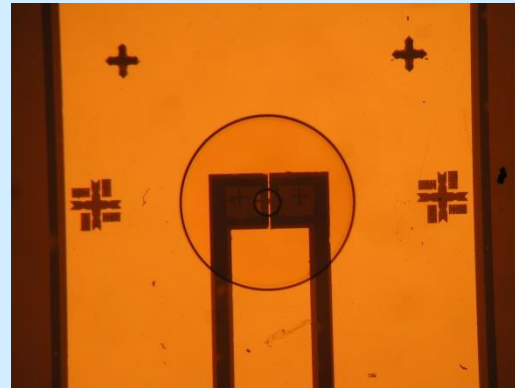
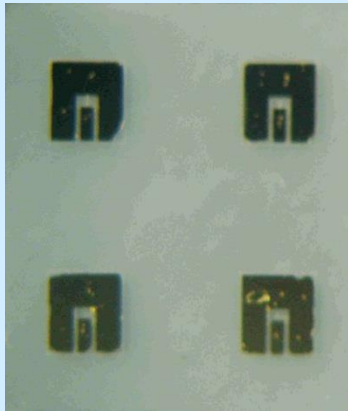
NbN application in Superconducting Single-Photon Detectors (SSPDs)

Why Superconductors?

- **One optical photon creates $\sim 100-1000$ excited electrons (superconducting gap ~ 2 meV for NbN).**
- **Response times are picoseconds.**
- **Extremely low dark counts.**
- **No gating required, simple biasing source.**

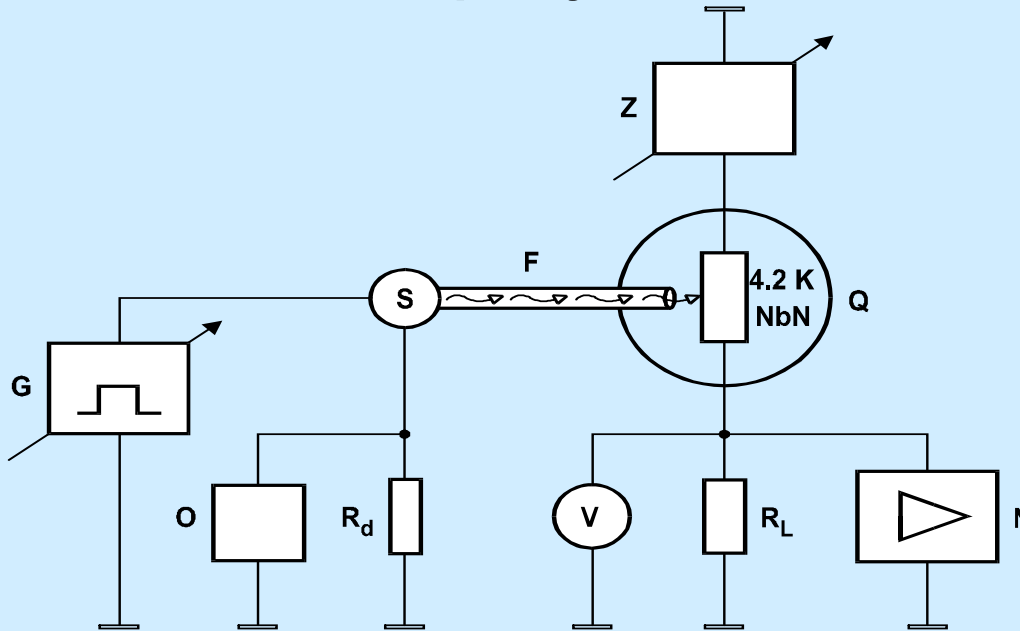
NADPRZEWODNIKI NISKOTEMPERATUROWE-NbN

Sprzężenie światłowodu ze strukturą nadprzewodnikową detektora



NADPRZEWODNIKI NISKOTEMPERATUROWE-NbN

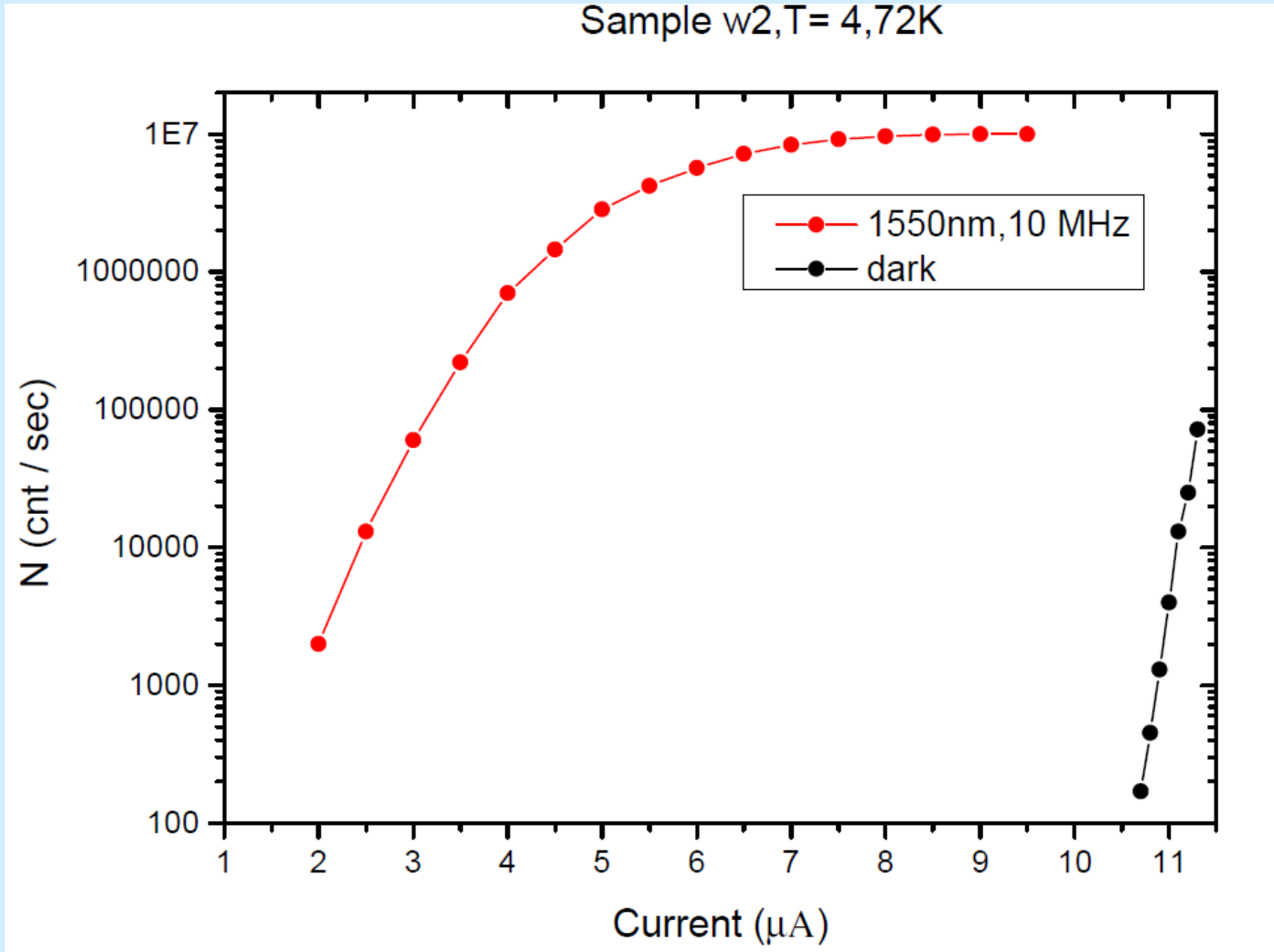
Układ pracy detektora



Blokowy układ pracy detektorów nadprzewodnikowego

Oznaczenia elementów układu: G – układ zasilający źródło promieniowania, O – oscyloskop kontrolny, S – źródło promieniowania, F – światłowód, NbN – badany detektor, Z – układ zasilający detektor, Q – kriostat (zbiornik helu), V – miernik (woltomierz), N – miernik sygnału (oscyloskop z przedwzmacniaczem lub miernik zliczający impulsy detektora)

NADPRZEWODNIKI NISKOTEMPERATUROWE-NbN





NADPRZEWODNIKI NISKOTEMPERATUROWE-NbN

Odpowiedzi na pytania

1. Projekty

POIG 01.01.02-00-108/09-00 (2009 - 2014)

Nowoczesne Materiały i Innowacyjne Metody dla przetwarzania i Monitorowania Energii

2. Zaplecze aparaturowe

Kompletna linia technologiczna zakładu Z3 umożliwiającą wytwarzanie demonstratorów przyrządów mikroelektronicznych, powierzchnia 600 m², klasa czystości ISO5, ISO6 i ISO7
Dostęp do badań struktury i składu warstw metodami **XRD, SEM, TEM, RBS**.

Zasady udostępniania aparatury: zlecenia i kooperacje naukowe

3. Kadra:

inżynierska i techniczna zabezpieczająca pracę linii technologicznej

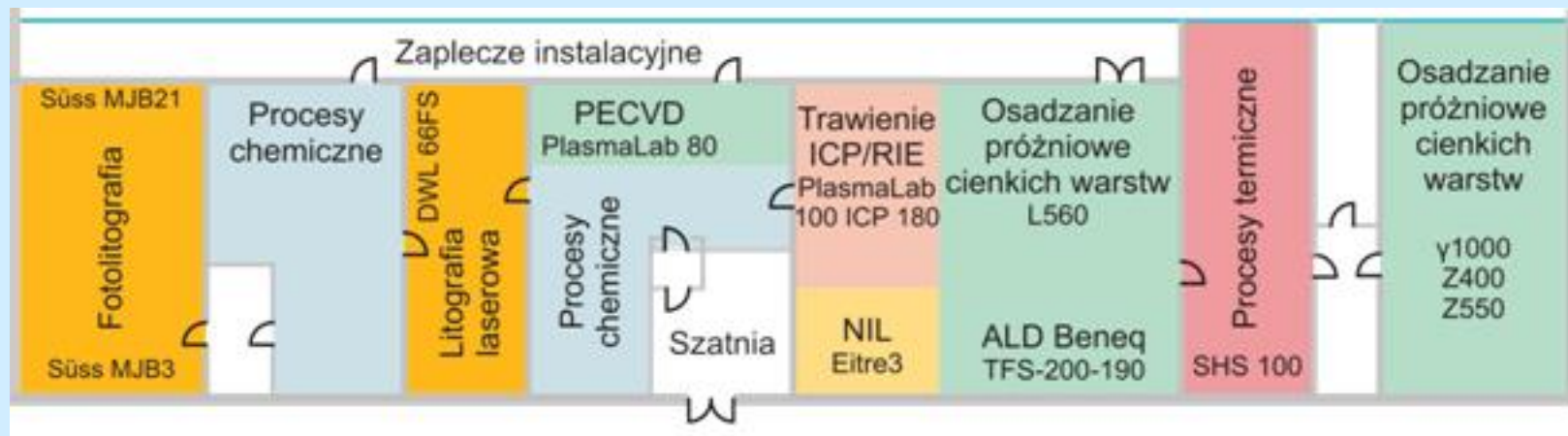
Kadra naukowa dr W.Słysz, dr M.Guziewicz, dr A.Klimov, dr A.Łaszc...

4. Potrzeby w zakresie wsparcia ekspertów, aparatury, itp.

5. Gotowość-oferta (ludzie, aparatura) do realizacji wspólnych projektów

ITE poszukuje partnerów realizujących zaawansowane technologicznie projekty wdrożeniowe

Zakład Mikro- i Nanotechnologii Półprzewodników Szerokoprzerwowych

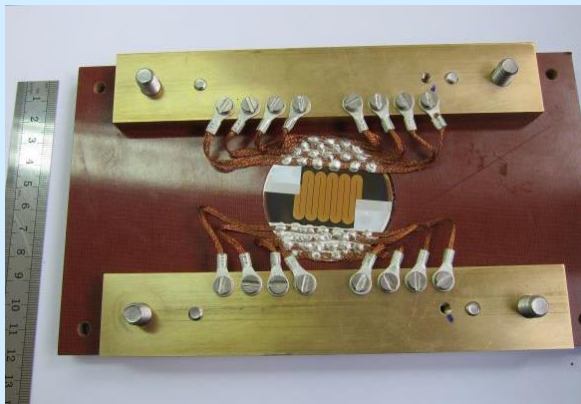


Linia technologiczna składa się na nią pięć gniazd technologicznych:

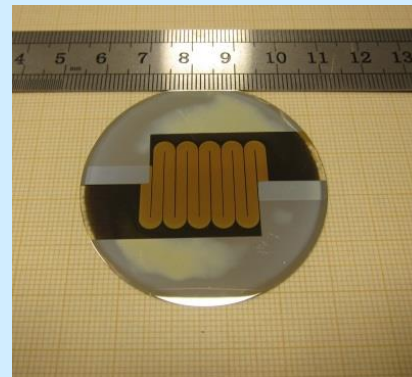
- osadzanie cienkich warstw nad- i pół-przewodników, metali i dielektryków o niskim/wysokim ϵ (**ALD, PECVD, rozpylanie katodowe, z działa elektronowego**)
- litografia (fotolitografia DUV, litografia laserowa, elektronolitografia, nanostemplowanie)
- trawienia plazmowe RIE/ICP
- implantacja jonów
- procesy termiczne (RTA i wygrzewanie konwencjonalne)

Laboratorium pomiarowe charakteryzacja właściwości strukturalnych, optycznych, chemicznych i elektrycznych materiałów i przyrządów metodami **XRD, AFM, SEM**, spektroskopii **RBS** i RBSC, pomiary charakterystyk **I-V** i **C-V** oraz pomiary woltametryczne

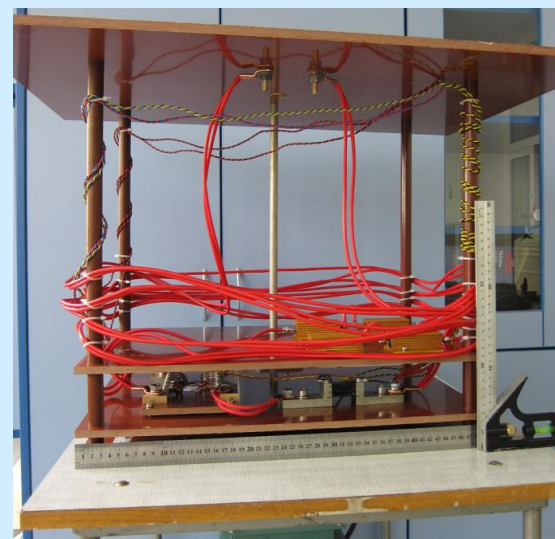
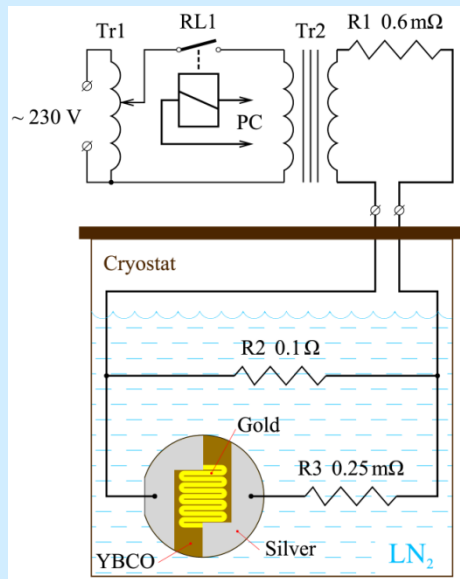
Nadprzewodzący ogranicznik prądu zakłóceń



Element czynny NOPZ w oprawie

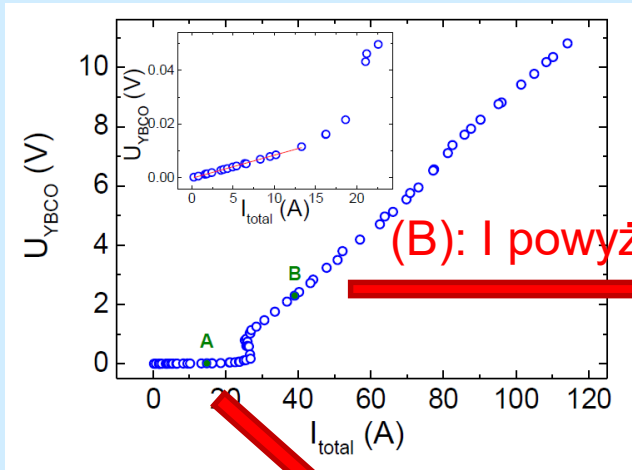


Warstwa YBCO ze ścieżką meandra Au i z polami kontaktowymi Ag



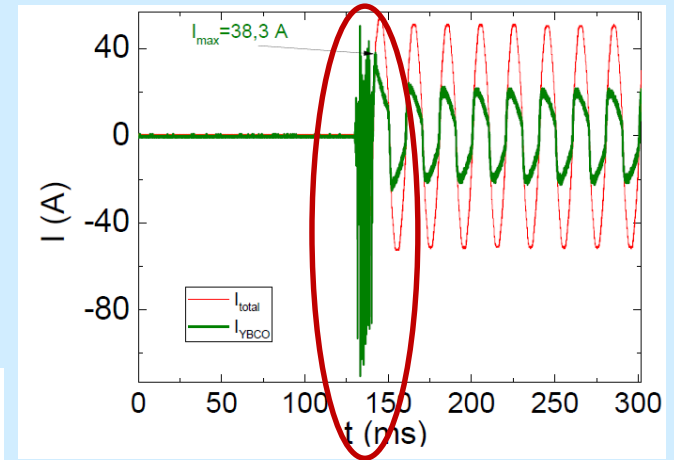
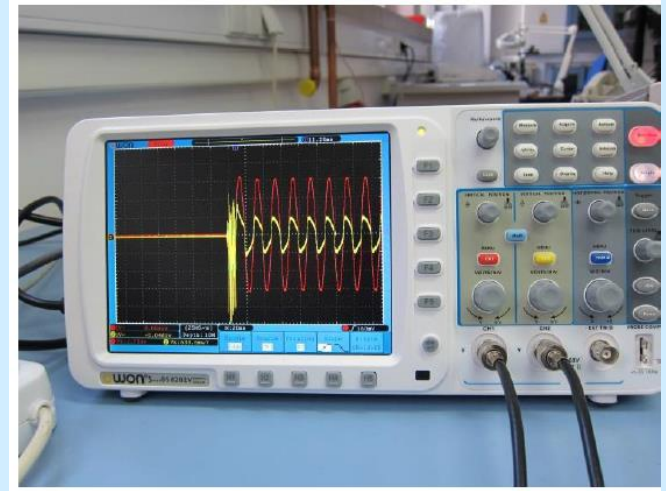
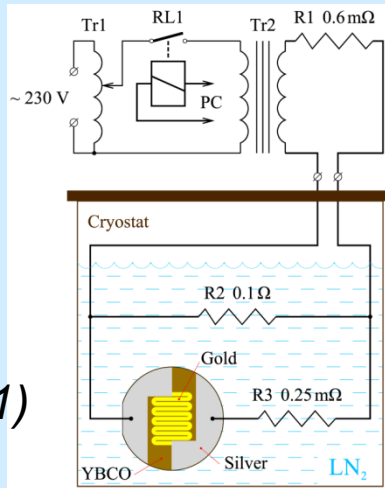
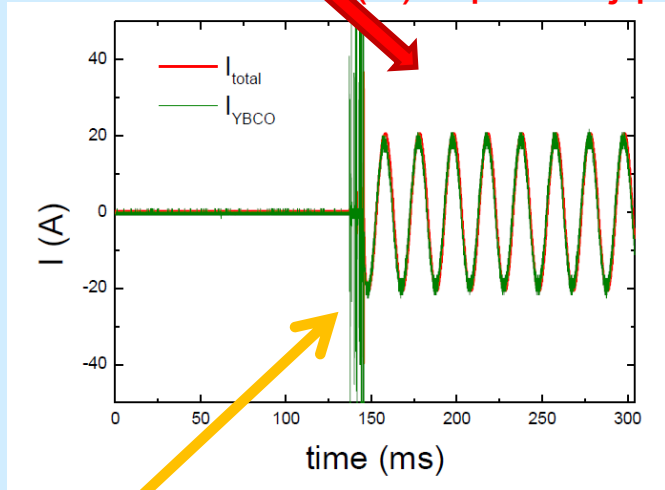
Schemat i zdjęcie demonstratora NOPZ wykonanego w IF PAN w Warszawie

NOPZ – charakterystyki



(B): I powyżej progu zadziałania

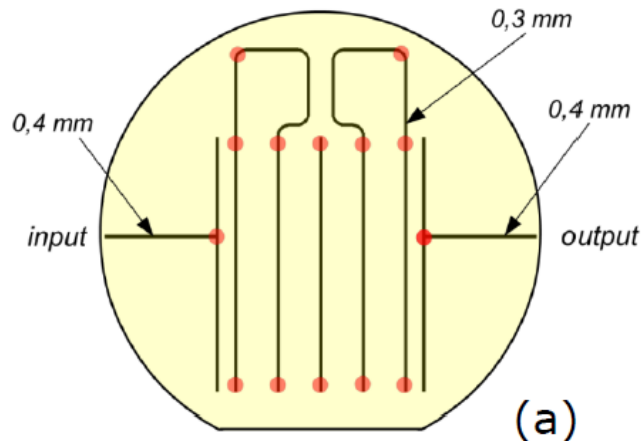
(A): I poniżej progu zadziałania



Otrzymane parametry NOPZ
 I_c (prąd zadziałania) = 26 A
 t_n (czas przełączania) = 10-30 ms

Efekty włączeniowe (stycznik $RL1$)

Nadprzewodzący filtr mikrofalowy (NFM)

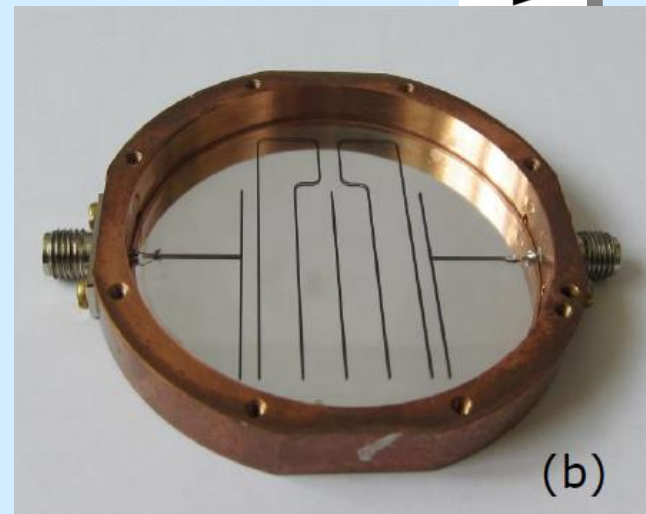


(a)

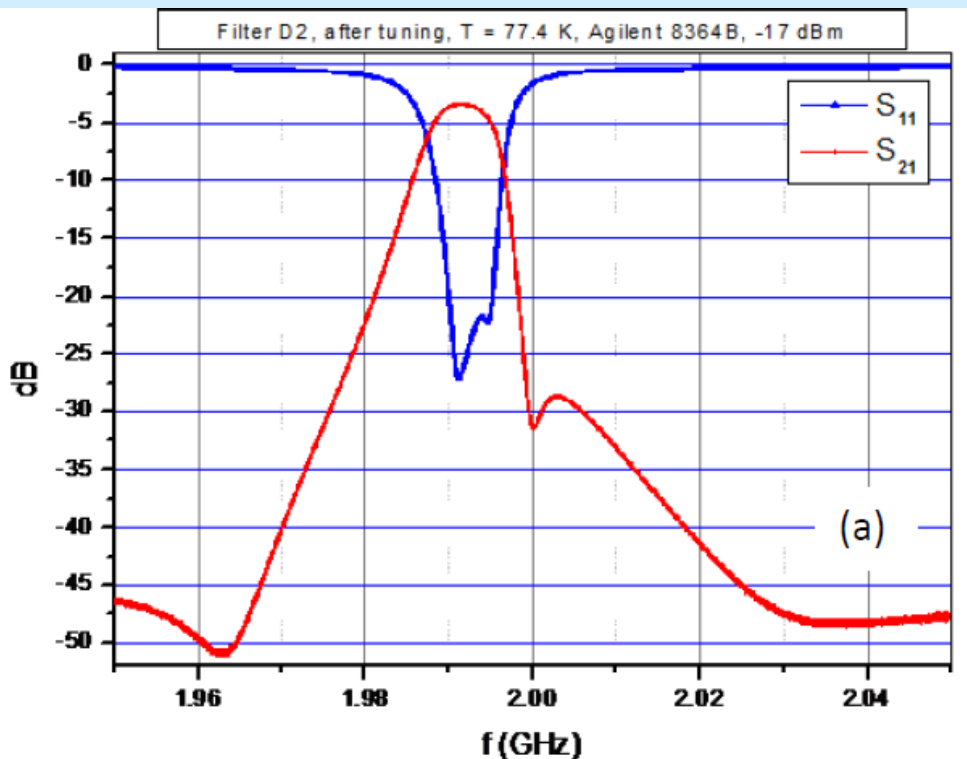
Filtr pięciorezonatorowy pracujący na zakresie ok. 2 GHz utworzony na warstwach YBCO ϕ 48,2 nm

⇐ schemat zdjęcie ⇒

IFPAN w Warszawie



(b)



(a)

Współczynniki odbicia (S_{11}) oraz transmisji (S_{21}) dla filtru pracującego w $T=77.4K$, i mocy mikrofal $-17dBm$

Parametry NFM

środek pasma	1991 MHz
szerokość pasma	8,4 MHz
dopasowanie w środku pasma	-3.4 dB



Odpowiedzi na pytania

1. Instytut Fizyki PAN, Zespół fizyki materiałów silnie skorelowanych ON2.4
(Oddział Fizyki Promieniowania i Spektroskopii ON2)

2. POIG 1.1.2

Nowoczesne materiały i innowacyjne metody dla przetwarzania i monitorowania energii MIME (2010-2014), pakiet Z. „Cienkie warstwy nadprzewodzące o dużej gęstości prądu krytycznego”;

Grant NCN 2014/15/B/ST3/03889

„Wpływ niejednorodności materiałowych na diagram fazowy nadprzewodników żelazowych” (2015-2018).

3. Aparatura:

- **Układ do wzrostu cienkich warstw metodą ablacji laserowej**
(laser impulsowy Nd:YAG z 4tą harmoniczną, komora wzrostu);
- **Układ do obrazowania magnetoptycznego w świetle spolaryzowanym**
(mikroskop polaryzacyjny, kriostat przepływowy 3.5 -300K, pole magnetyczne do 600 Gs);
- **System PPMS do badań transportowych**
(pole magnetyczne 0-9T, temperatury 1.9-400K; He3 chłodziarka 0.5-2K)
- **Magnes nadprzewodzący do 14T, T=1.5-300K do badań transportowych**
- **Układ mikrofalowy do badań powierzchniowej rezystancji**
(pomiar głębokości wnikania w T=4-100K).
- **Układ do badań lokalnego pola magnetycznego metodą miniaturowych sond Halla - w budowie.**
- **Zasady udostępniania aparatury:** współpraca naukowa.

4.Kadra: prof. Marta Z. Cieplak, prof. Marek Jaworski, dr Piotr Gierłowski, dr Artur Malinowski, dr Aleksander Abaloszew, dr Irina Abaloszewa, dr Iryna Zaytseva, dr Bruno Camargo

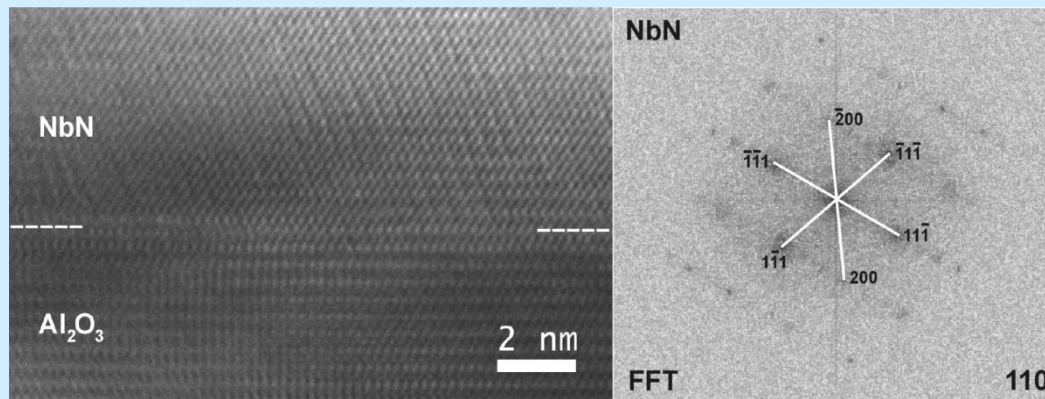
5.Potrzeby: inne metody eksperymentalne, wsparcie teoretyczne do uzgodnienia



Dziękuję

Crystal structure of the film annealed @ 1000°C, Ar, 10⁻⁴

TEM



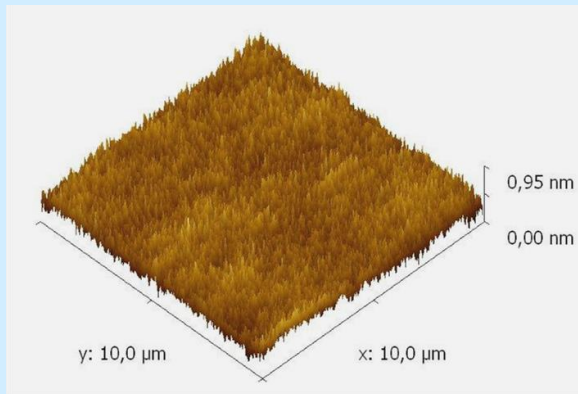
Crosssection of (5nm)NbN/sapphire at 1M; Fourier transformation

$$\langle 11-20 \rangle \text{ Al}_2\text{O}_3 \parallel \langle 2-1-1 \rangle \text{ NbN}$$

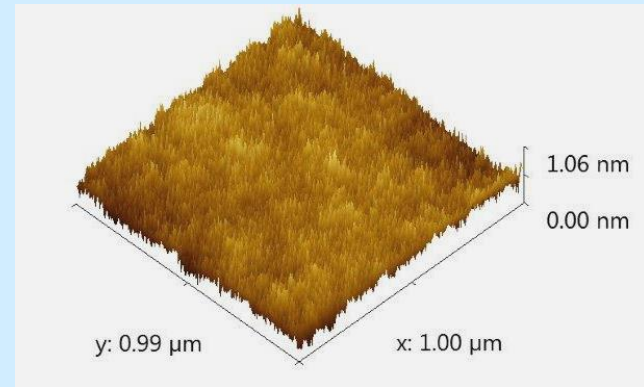
Morphology

AFM

(5 nm)NbN film



(4 nm)NbTiN film



after RTA @ 1000°C, Ar, 10 min.

