

SCIENZA DEI MATERIALI E NANOTECNOLOGIE

Linea 1

Materiali per energetica

Coordinatore Prof. Giorgio Flor

Linea 2

Materiali per sensori e biosensori

Coordinatore Prof. Giorgio Guizzetti

Linea 3

Materiali e dispositivi per ottica, fotonica e biofotonica

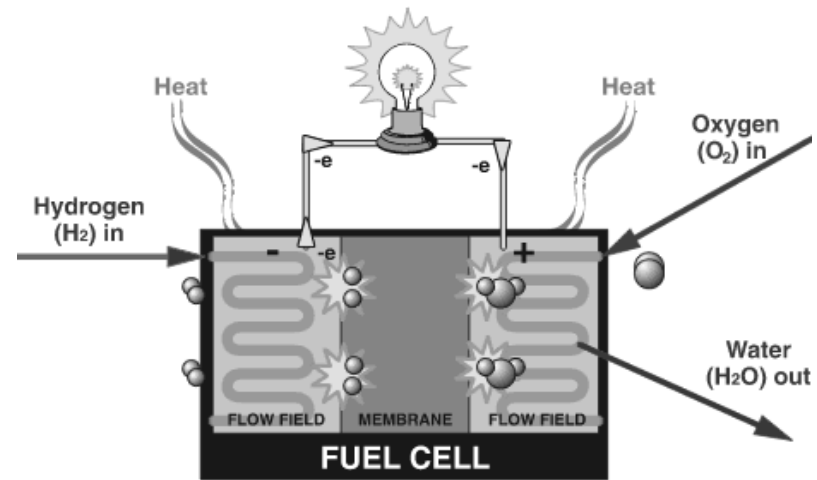
Coordinatore Prof. Vittorio Degiorgio

Linea 4

Metodologie innovative per la caratterizzazione funzionale e strutturale di materiali e dispositivi

Biomateriali per ingegneria tissutale

Linea 1 – WP 1

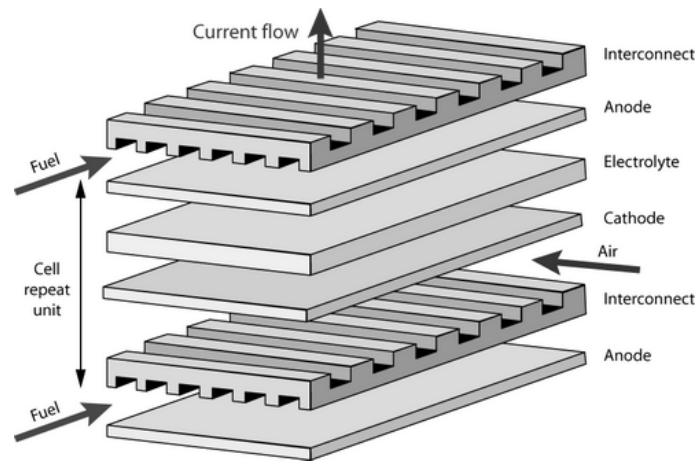


- Solid Oxide Fuel Cells (SOFC)
- Proton Exchange Membrane Fuel Cells (PEMFC)

- Energia distribuita
- Utenze domestiche
- Autotrazione

Linea 1 – WP 1

Solid Oxide Fuel Cells (SOFC)



✓ **preparazione e caratterizzazione dei materiali** che costituiscono i tre “strati funzionali” (anodo, catodo e elettrolita) in una cella a combustibile ad ossidi solidi.

✓ **assemblaggio di elettrodo/elettrolita** per la preparazione di celle singole

In particolare, l’attenzione è rivolta a IT-SOFC

(temperature di utilizzo nell’intervallo 500-700°C)

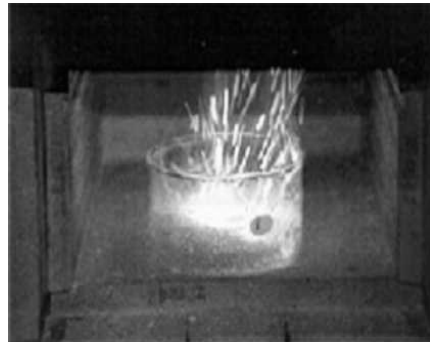
- elettrolita $\text{Ce}_{0.8}\text{Gd}_{0.2}\text{O}_{2-\delta}$ (CGO)

- anodo Ni-CGO cermet

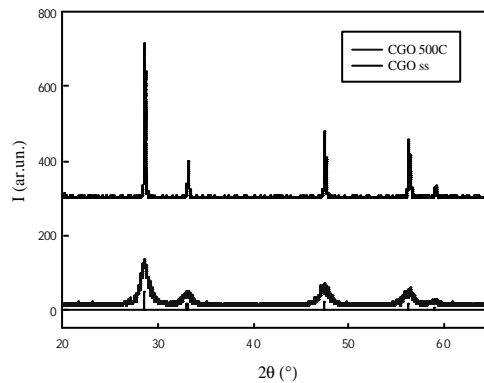
- catodo $\text{La}_{1-x}\text{Sr}_x\text{Fe}_{1-y}\text{Co}_y\text{O}_3$ (LSFCO)

Linea 1 – WP 1

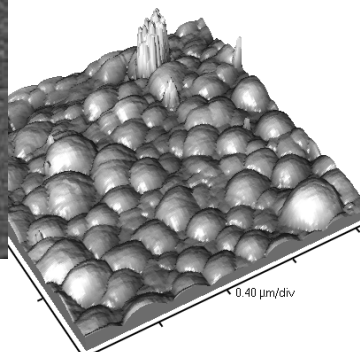
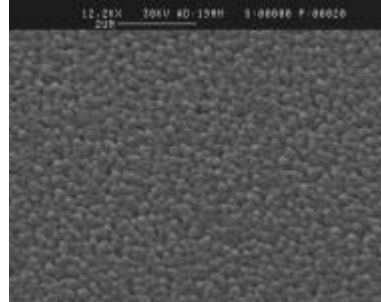
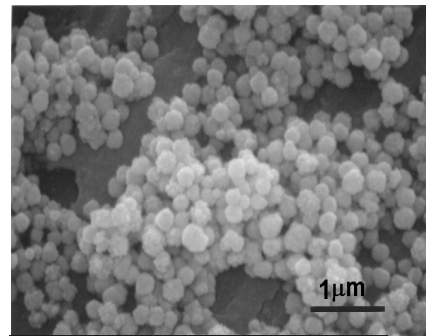
Solid Oxide Fuel Cells (SOFC)



1. Sintesi di ossidi in forma nanometrica

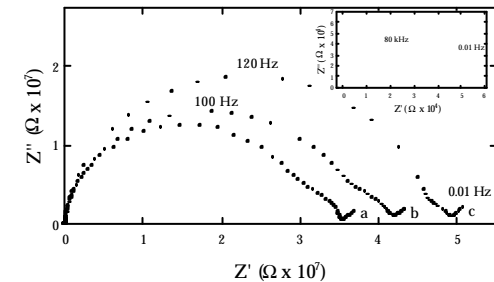
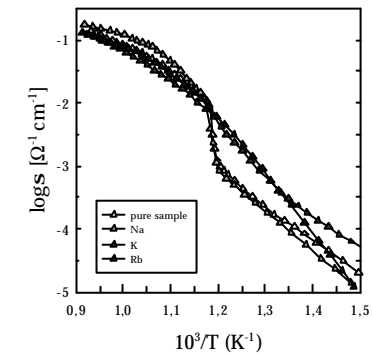
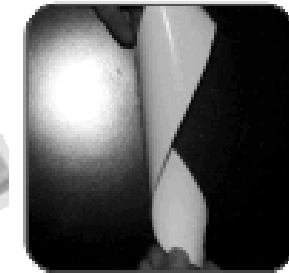
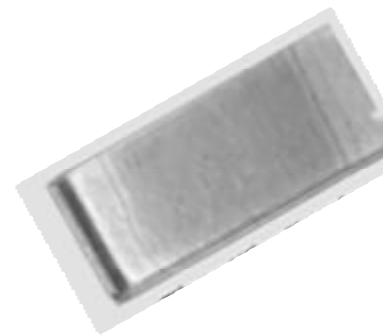


3. Caratterizzazione strutturale (diffrazione di raggi X e neutronica)



4. Caratterizzazione morfologica (AFM, SEM)

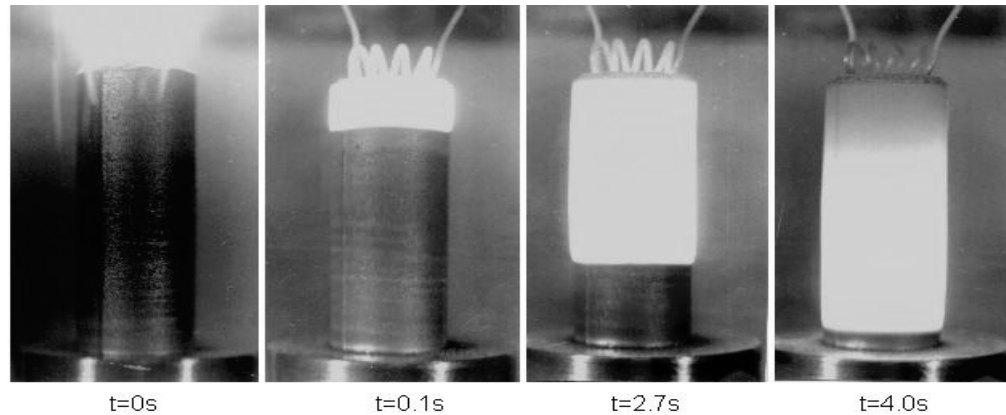
2. Deposizione di film di ossidi per RF-sputtering, screen-printing o tape-casting



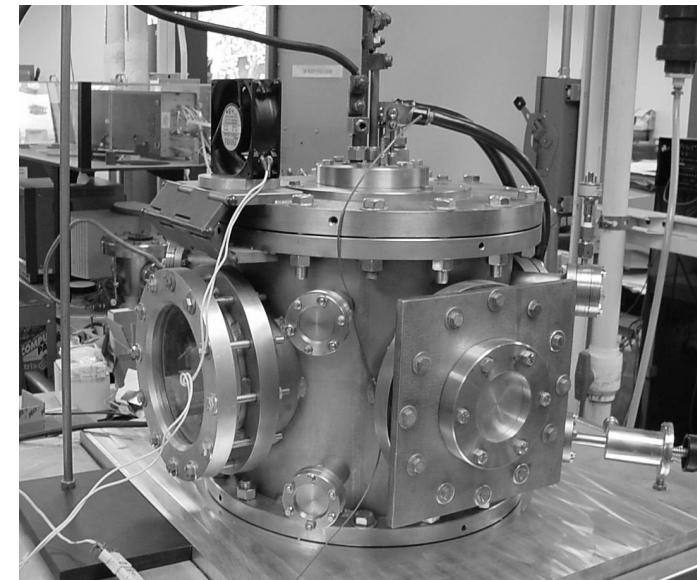
5. Caratterizzazione elettrica (spettroscopia di impedenza, corrente continua)

Linea 1 – WP 1

Self-Propagating High-Temperature Synthesis (SHS)



Semplice apparato
Produzione veloce
Bassi costi
Prodotti di alta purezza

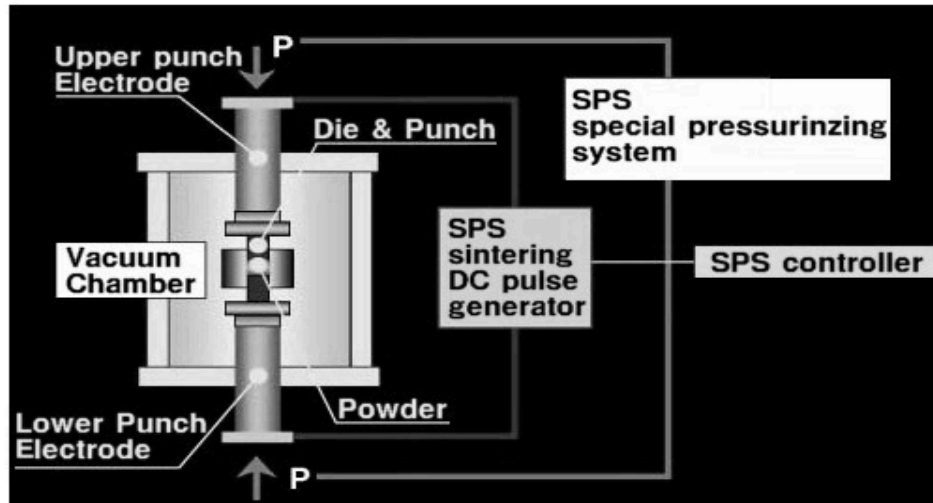


SHS autocostruito con controllo dell'atmosfera e delle modalità di raffreddamento.

Lavori sperimentali e di simulazione su materiali a base di zirconia, ossidi semplici e complessi, cermet, siliciuri, etc.

Linea 1 – WP 1

Spark Plasma Sintering di nanopolveri (SPS)



Zirconia, ceria,

$\text{La}_{1-x}\text{M}_x\text{MnO}_3$ (M = Na, Ca, Sr)

Carburo di boro

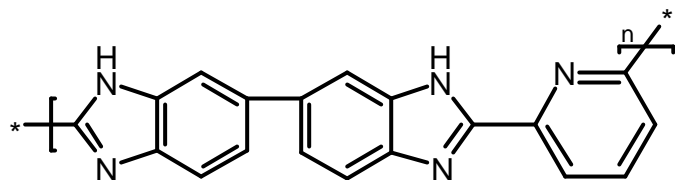
zirconati di bario drogati

Boruri di metalli di transizione

Es: la zirconia cubica in bulk (dimensione di grano ~ 15 nm, $\rho > 98\%$) mostra un cambio del meccanismo di conduzione se esposta ad umidità. La riduzione di resistività a bassa temperatura la rende confrontabile con altri conduttori protonici, con il vantaggio di superiore stabilità meccanica e chimica.

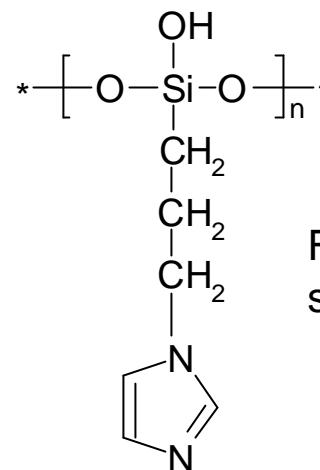
Linea 1 – WP 2

Proton Exchange Membrane Fuel Cells (PEMFC)

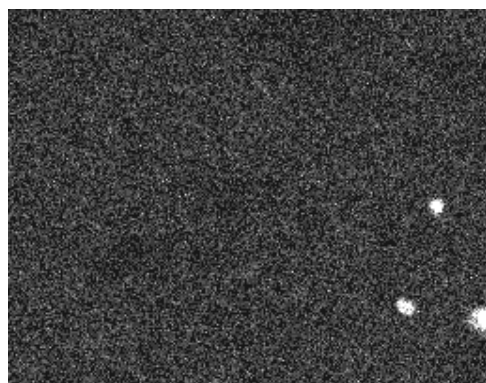


Poly-2,2'-(2,6-pyridine)-5,5'-bibenzimidazole

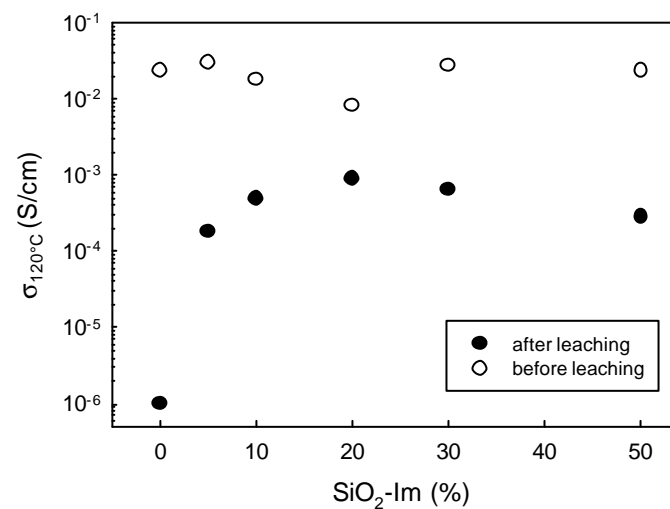
Collaborazione con Chimica Organica



Filler basico attivo
sintesi sol-gel



SEM – Mappa Si

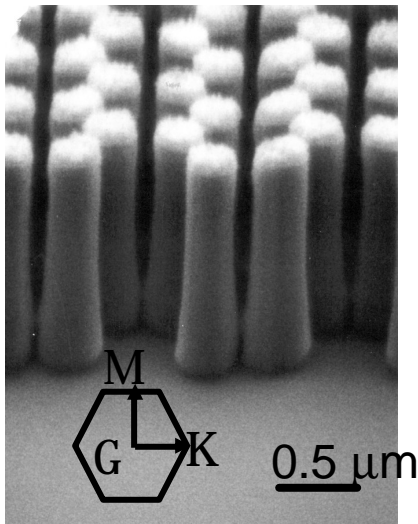


L'aggiunta del filler determina un incremento di
conducibilità dopo lavaggio di un fattore 10³!

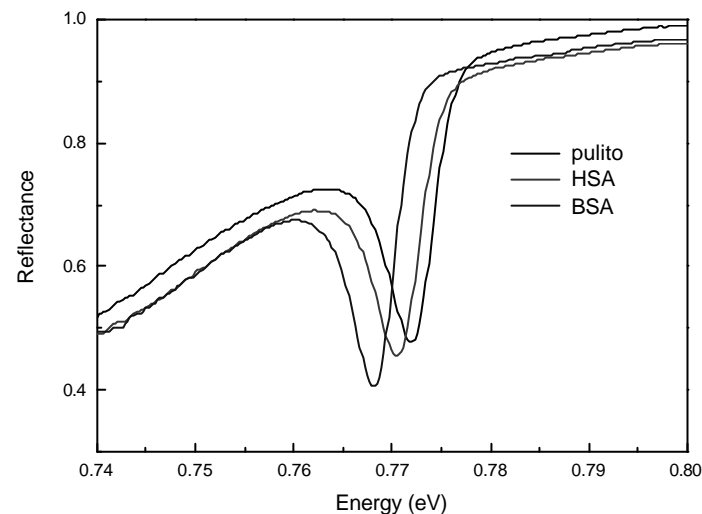
Linea 2 – WP 3

Biosensori

Cristalli fotonici (PhC) di piccola superficie ($100 \times 100 \mu\text{m}^2$) possono essere utilizzati come biosensori grazie alla presenza di intense risonanze estremamente sensibili alle condizioni ambientali (es.: risonanze plasmoniche di superficie, SPR, o SERS)



Graphite lattice of silicon pillars



La risonanza fotonica di un PhC silicio-su-isolante (SOI) mostra rilevanti shift in energia in seguito a esposizione a differenti analiti

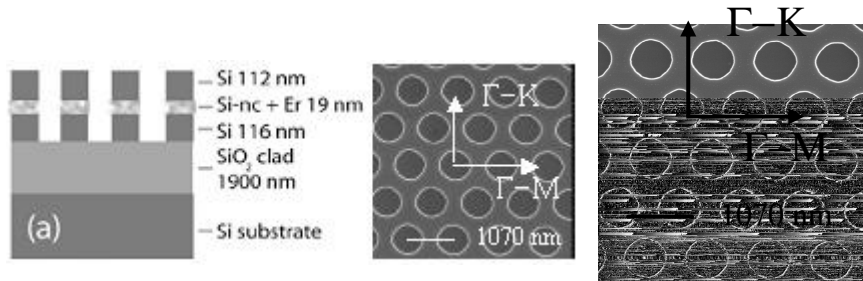
Analisi di proteine, frammenti di DNA e oligonucleotidi.

N.B. Cristalli fotonici: dielettrici artificiali con indice di rifrazione periodico su scala sub-micrometrica

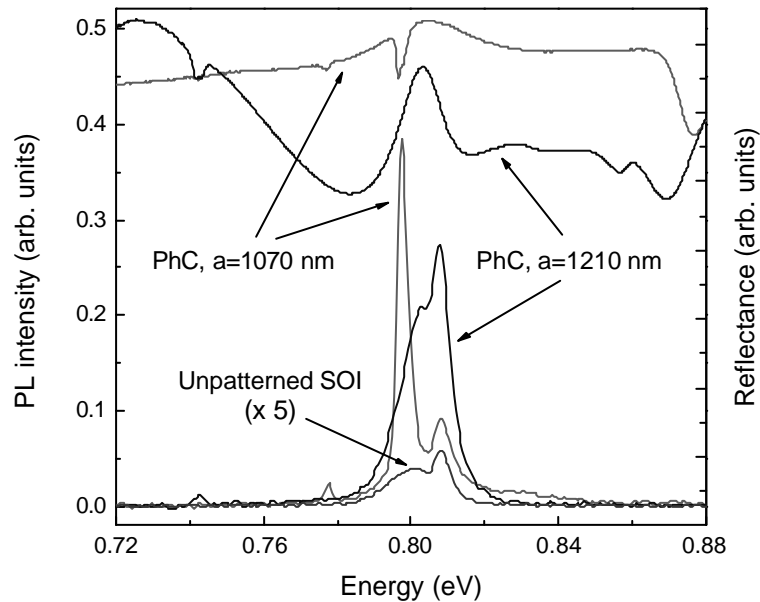


Linea 3 – WP 1 e 2

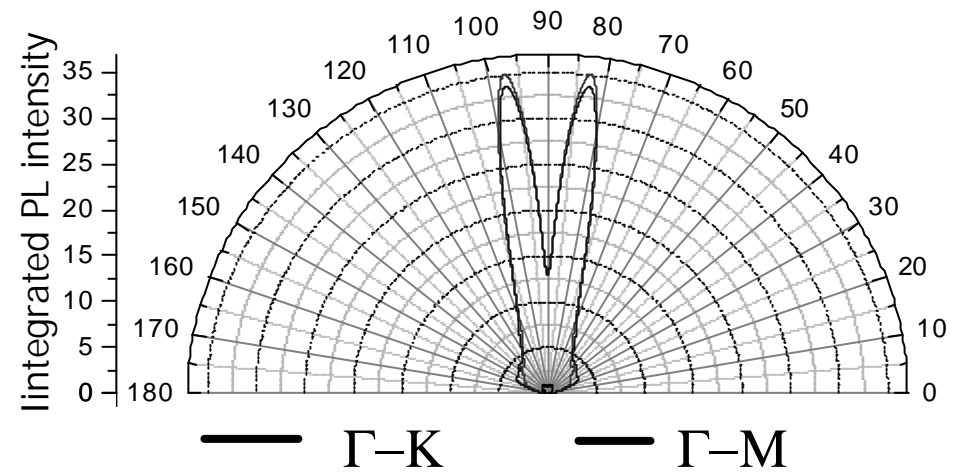
Fotonica in sistemi nanostrutturati



Nanostrutture di cristalli fotonici consentono di modulare e incrementare fortemente l'emissione di luce alla lunghezza d'onda strategica di 1.5 μm (telecomunicazioni).



Misura di emissione di luce Si-Er



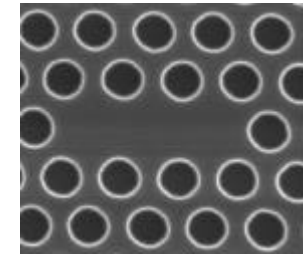
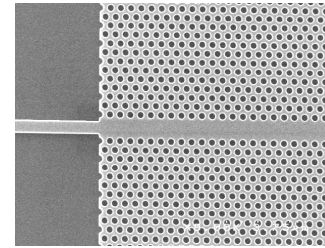
Direzioni preferenziali del cristallo fotonico

Linea 3 – WP 1 e 2

Fotonica in sistemi nanostrutturati

Obiettivi

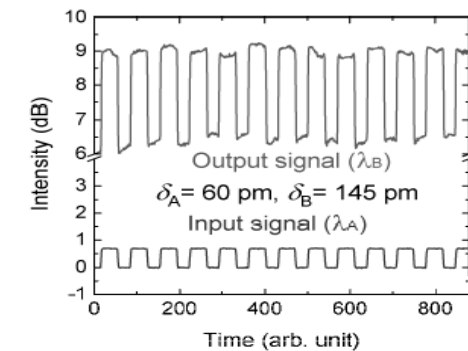
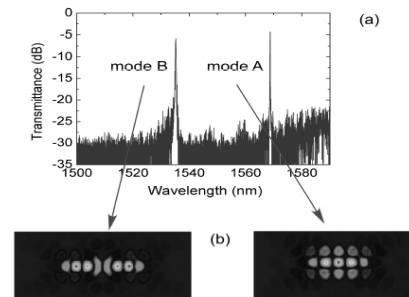
Progettazione, fabbricazione e studio di una nuova classe di nano-dispositivi fotonici avanzati per le interconnessioni ottiche e i circuiti fotonici integrati



Realizzazione dello switching ottico (commutazione) di segnali ottici per mezzo di un fascio di pompa a bassa potenza



Transistor ottico

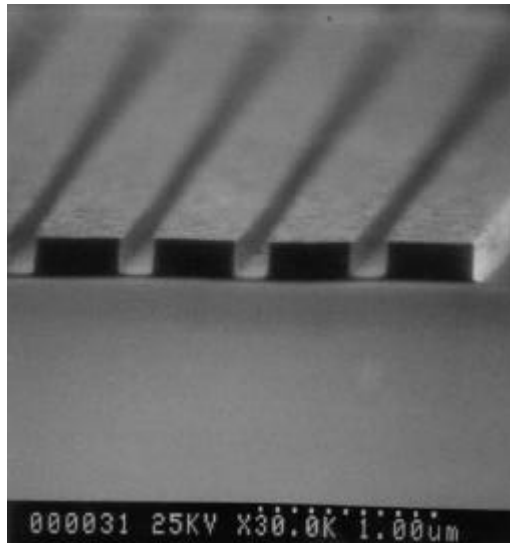


Linea 3 – WP 2

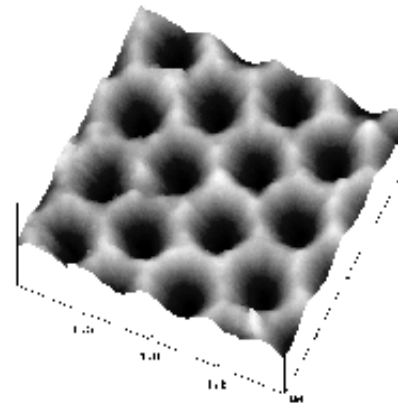
Fotonica in sistemi nanostrutturati

Nanostrutture ordinate possono incrementare la generazione di armoniche (seconda, SH, e terza, TH) della frequenza della luce incidente di almeno 3 ordini di grandezza rispetto alle strutture a superficie piana.

Poiché la generazione di armoniche è fortemente dipendente dalle condizioni di interfaccia, si ha anche maggiore selettività verso i materiali assorbiti.

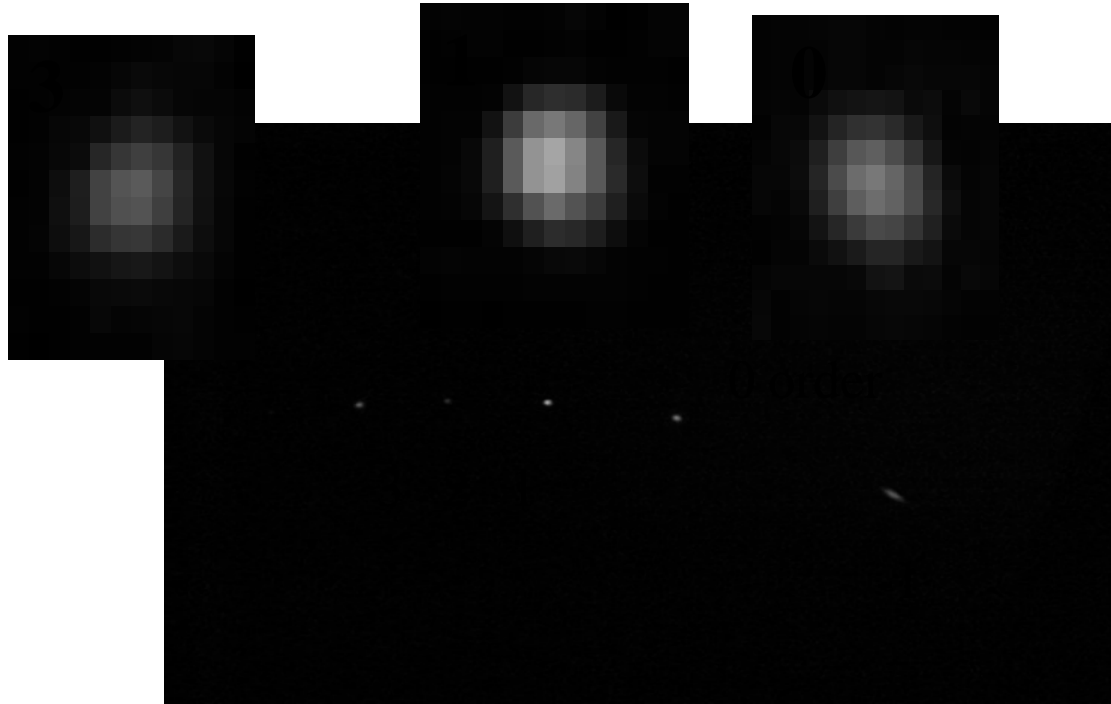


Silicon
Pattern
on
sapphire



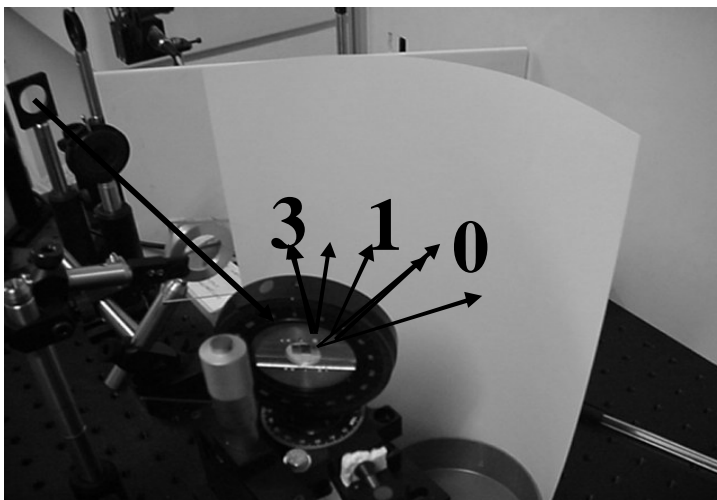
Hole pattern
in a Gallium
Nitride
film

Linea 3 – WP 2
Fotonica in sistemi nanostrutturati



**sapphire pump 810 nm
third harmonic 270 nm**

Colpendo un SOI
con un impulso di
luce nel rosso si
genera luce
ultravioletta per
diffrazione. La luce è
rivelata nel blu su
carta.



***0th and 3rd diffracted orders:
pump and TH superimposed***

Linea 3 – WP 2

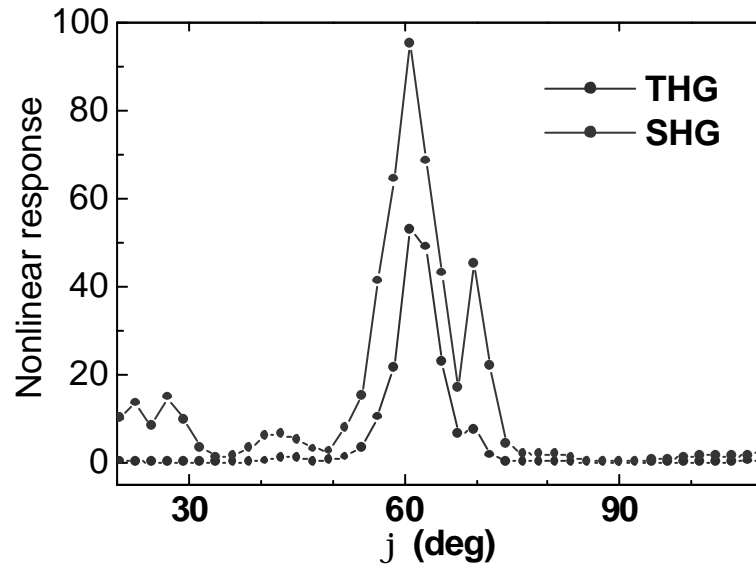
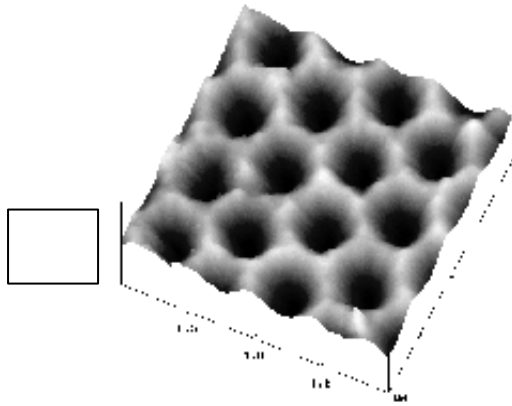
Fotonica in sistemi nanostrutturati

La nanostruttura di GaN genera simultaneamente seconda e terza armonica

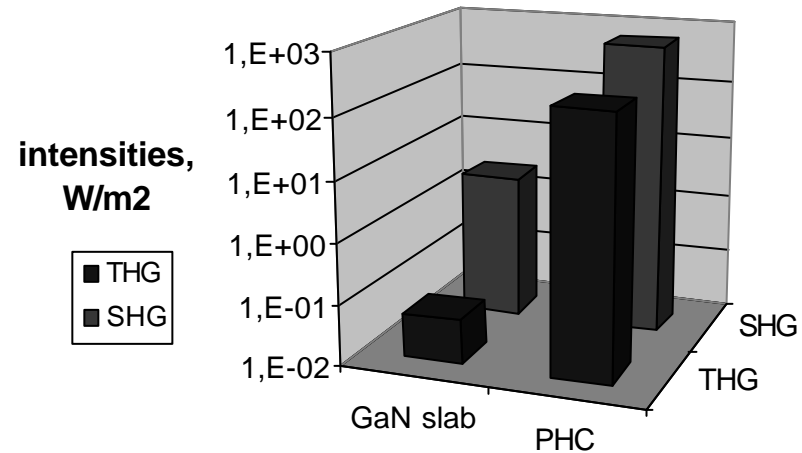
Fattori di amplificazione rispetto a superficie piana di GaN :

SHG: x 260

THG: x 3400

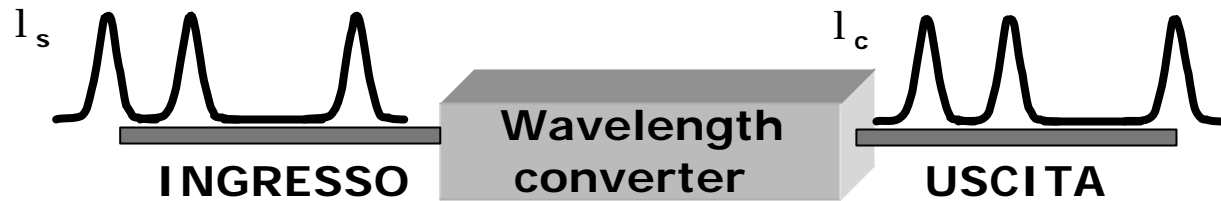


NL intensities @ 3.5 TW/m² pump



Linea 3 – WP 3

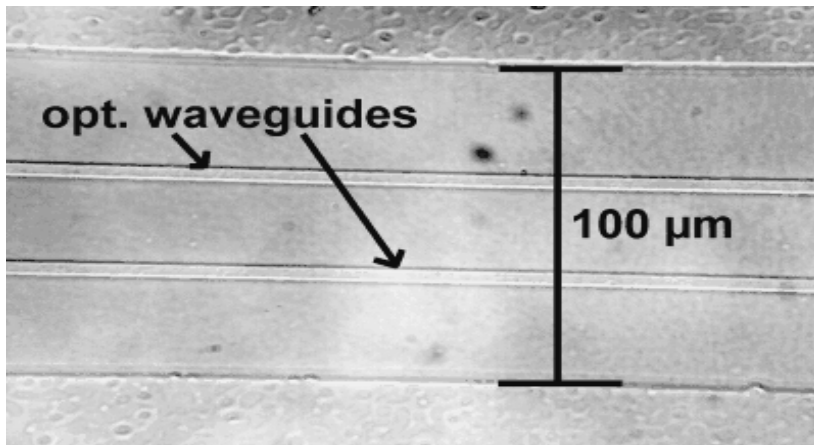
Conversione di lunghezza d'onda per comunicazioni ottiche



Per la conversione ottica si utilizza il processo nonlineare di cascading
Ora è una tecnica universalmente utilizzata, sviluppata dal nostro gruppo
(Banfi et al, Appl. Phys. Lett. 1993)

Servono materiali con proprietà ottiche e fisiche particolari per la realizzazione di dispositivi.

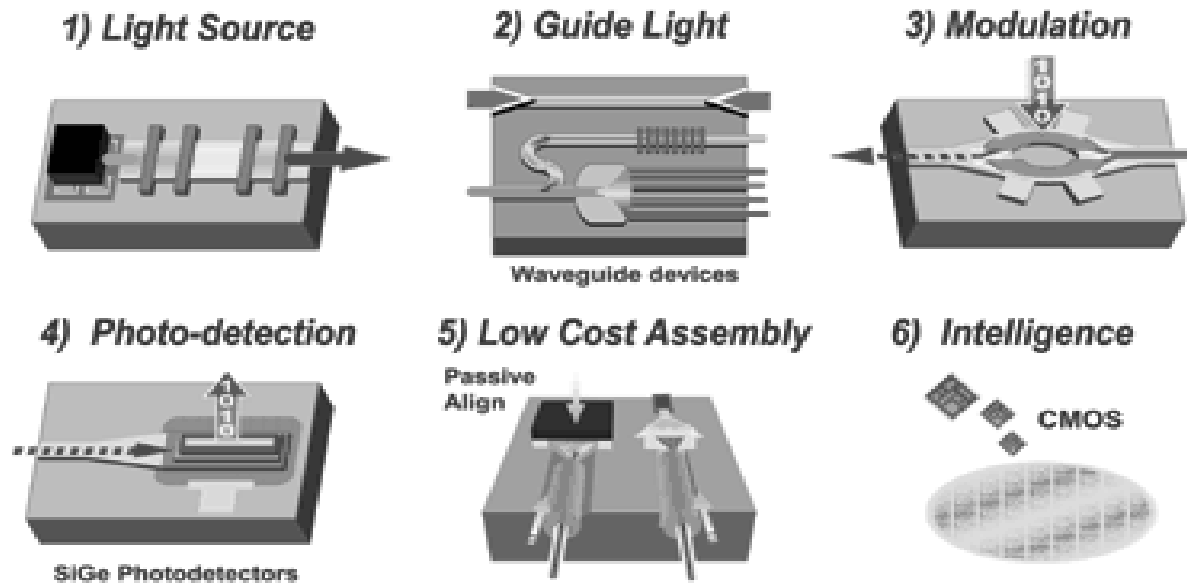
Cristalli ferroelectrici: LiNbO_3



Nostro progetto: Stiamo studiando e sviluppando materiali innovativi ad alta efficienza non-lineare e basso danneggiamento ottico
(comunicazioni a lunga distanza)

Linea 3 – WP 5
Guide d'onda in Si-Ge

Circuiti optoelettronici integrati: fondamentali per sistemi fotonici di prossima generazione



Fotonica su silicio:
Fusione tra dispositivi fotonici e tecnologia microelettronica.

Elevata precisione
($<0.00001\text{mm}$)

Gruppi internazionali attivi:
Intel, UCLA,
Cornell University

Nostro progetto: utilizzo di strutture Silicio Germanio

Vantaggi:

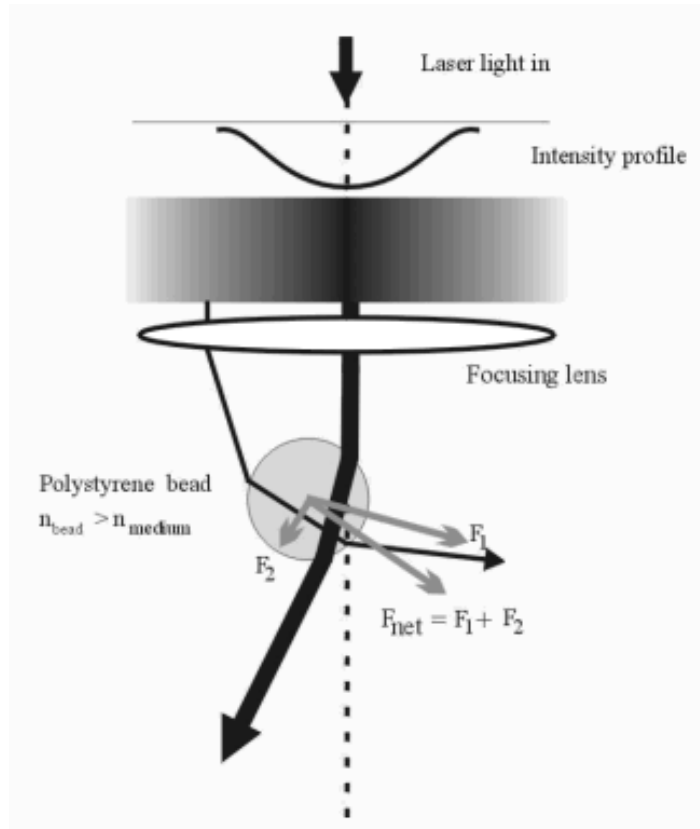
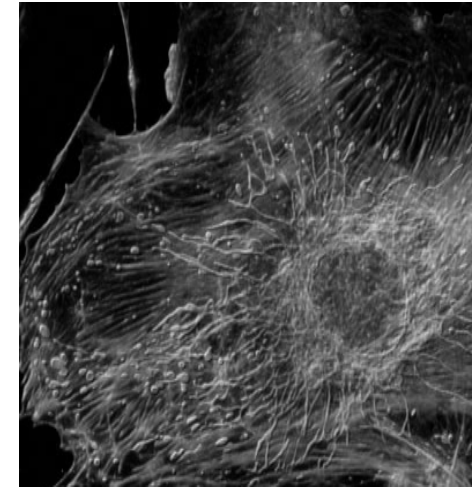
- ingegnerizzazione delle guide (scelta del drogaggio di Ge)
- elevata nonlinearietà
- elevata compatibilità con le fibre ottiche

Linea 3 – WP 6

Bio-Fotonica: “pinza” ottica in fibra

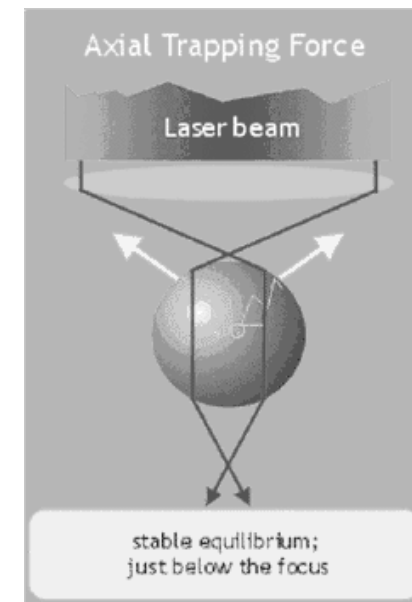
Optical Tweezers: “pinzette ottiche” x l’analisi e la manipolazione di materiale biologico... SENZA CONTATTO!

Applicazione: intrappolamento e analisi delle proprietà di cellule e macromolecole biologiche.



Forze derivate dallo scambio di quantità di moto tra fotoni e particella

(Punto di equilibrio nello spazio realizzato tramite pressione di radiazione ottica)

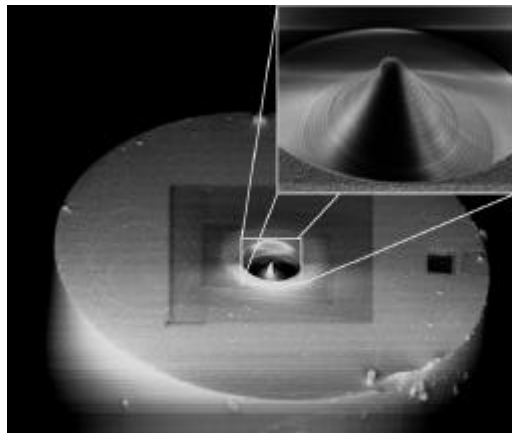
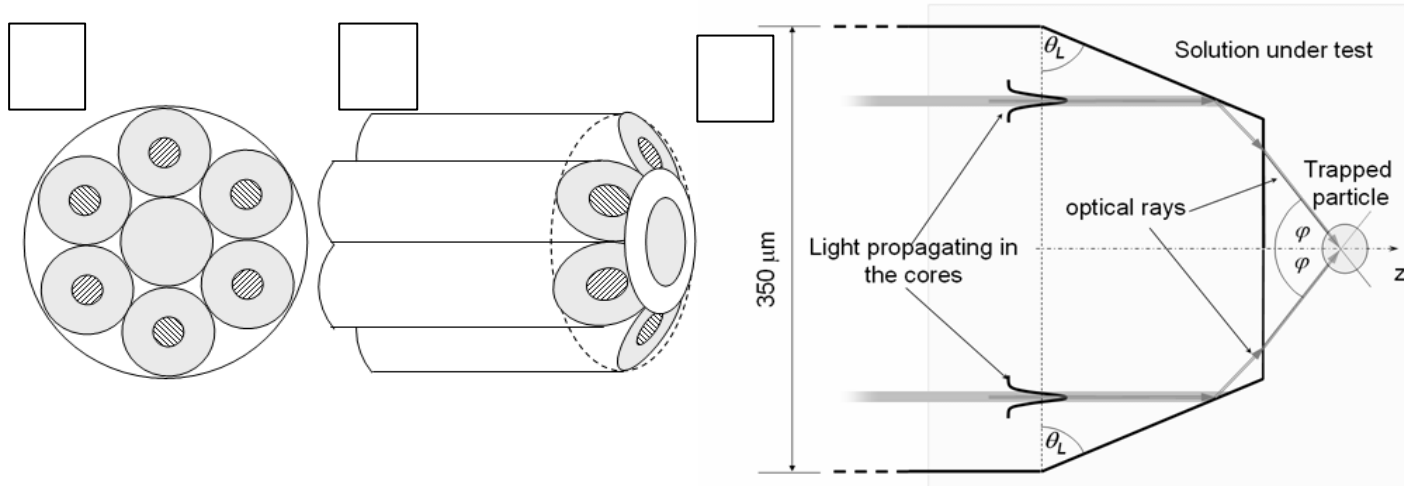


Linea 3 – WP 6

Bio-Fotonica: “pinza” ottica in fibra

Progetto innovativo in campo internazionale: pinza ottica miniaturizzata basata su una struttura in fibra.

Lo sviluppo di questo strumento aprirà nuove frontiere per l’analisi biologica ‘*in vivo*’

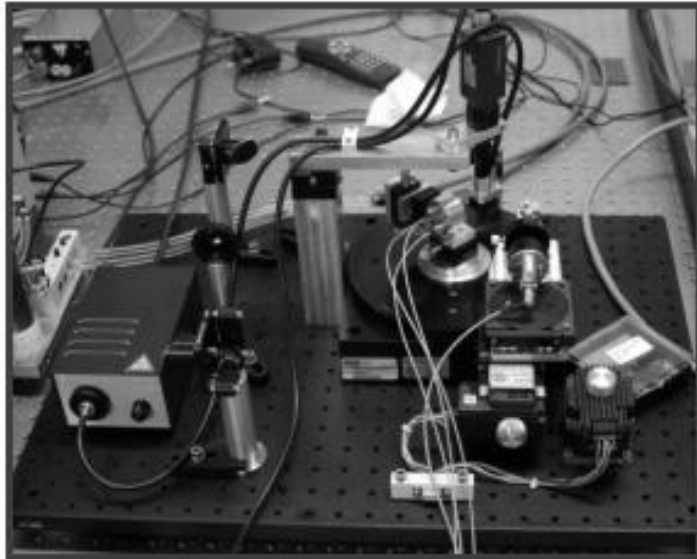


La fabbricazione richiede nano-lavorazioni sulla testa della fibra

Linea 4 – WP 3

Applicazioni della spettroscopia ottica allo stato solido alla scienza dei materiali

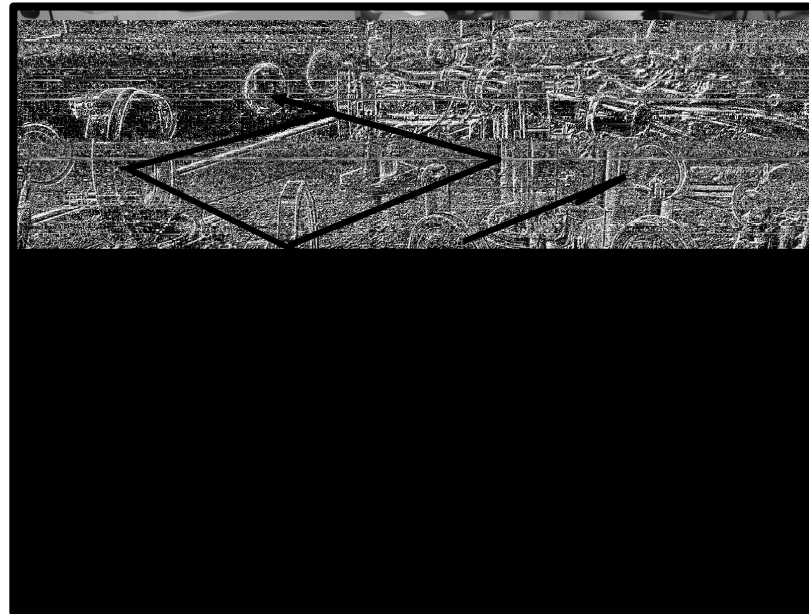
Angle-resolved μ -spectroscopy setup



Caratterizzazione ottica completa di campioni microscopici:

- μ -transmittanza & riflettanza
- μ -fotoluminescenza
- μ -ATR spettroscopia

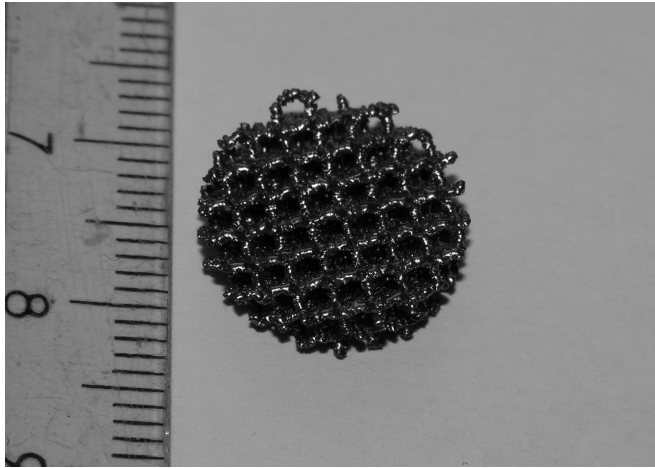
White-light Mach-Zehnder Interferometry



Misura dello sfasamento della luce

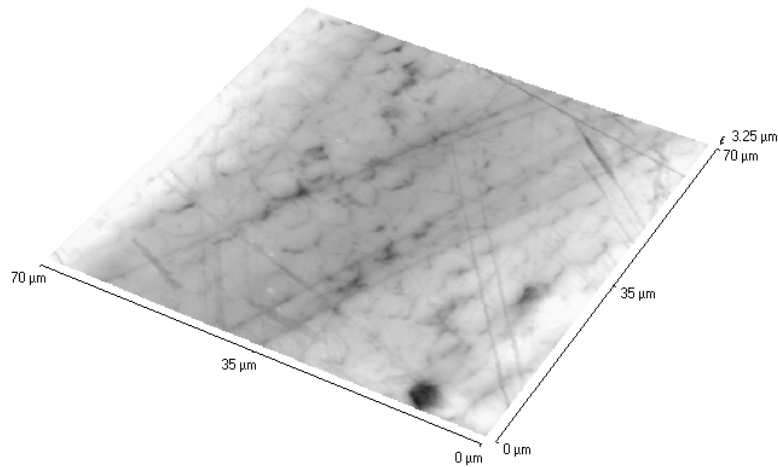
Permette la determinazione dell'indice di rifrazione e velocità di gruppo con accuratezza molto elevata.

Biomateriali per ingegneria tissutale

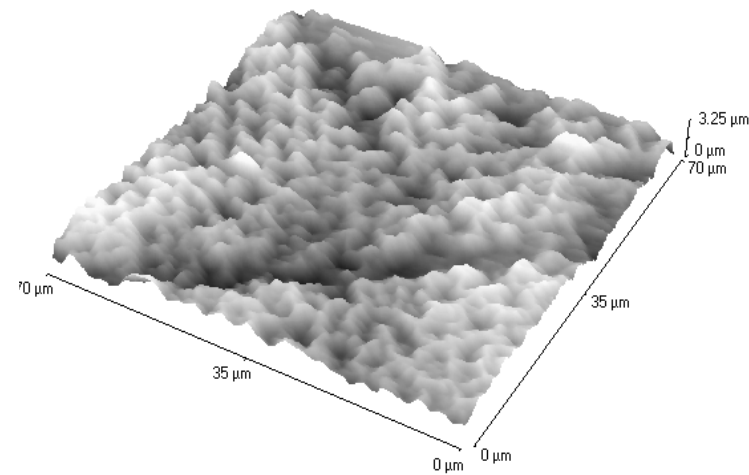


Protesi di titanio microlavorato da fasci elettronici su cui è depositato un film di biovetro ($\text{SiO}_2/\text{P}_2\text{O}_5/\text{CaO}/\text{Na}_2\text{O}$, $h \sim 10\mu\text{m}$) mediante RF sputtering

Collaborazione con CIT



Incisivo non trattato



Incisivo immerso in bibita gasata

Ricercatori attualmente coinvolti

Chimica Fisica

Giorgio FLOR
Aldo MAGISTRIS
Giorgio SPINOLO
Umberto ANSELMI TAMBURINI
Piercarlo MUSTARELLI
Filippo MAGLIA

Fisica "A. Volta"

Giorgio GUIZZETTI
Angiolino STELLA
Claudio ANDREANI
Franco MARABELLI
Maddalena PATRINI
Gianbattista PARRAVICINI
Pietro GALINETTO
Matteo GALLI

Ingegneria Elettronica

Vittorio DEGIORGIO
Marco MALVEZZI
Ilaria CRISTIANI
Daniela GRANDO
Luca TARTARA

Dottorandi attualmente inseriti nel progetto di ricerca e formazione

Tiziana CIABATTONI

Marta FILIBIAN

Ettore BERNARDI

Valentina MORANDI

Davide MASCOLI

Maria MONTAGNA

Jacopo PARRAVICINI

Andrea TRITA

(Luca PASOTTI)

(Davide DACARRO)