

I Laboratori del Dipartimento di Fisica

Il Dipartimento di Fisica ospita laboratori sperimentali che operano nel settore della Fisica Applicata e in particolare della Fisica della Materia. I Laboratori dispongono di strumentazione rilevante dal punto di vista sia scientifico che tecnologico in settori avanzati di ricerca quali: la Fotonica, la Fisica dei solidi micro e nano strutturati e la Fisica delle superfici. Qui di seguito viene riportata una descrizione sintetica delle attività e delle principali attrezzature presenti nei laboratori in relazione alle linee di ricerca del Dipartimento.

INDICE

Laboratorio Mid-IR for Strong-field Physics	2
Laboratorio High Energy Attosecond Pulses	3
Laboratorio XUV Ultrafast Spectroscopy	4
Laboratorio Ultrashort Pulse Developments	5
Laboratorio Advanced Research of Organic Conjugated Materials (ARCO)	6
Laboratorio Attosecond Reaction Microscope	7
Laboratorio Two-dimensional (2D) Electronic Spectroscopy	8
Laboratorio Ultrafast Spectroscopy in IR-VIS	9
Laboratorio OPTICS – OPTIcal frequency CombS	10
Laboratorio SOLid-state LAsERs (SOLAR)	11
Laboratorio Coherent rAman spectRoScopy (CARS)	12
Laboratorio COmb-assisted MOlecular Spectroscopy (COSMOS)	13
Laboratorio Fabrication by Infrared laser Radiation Exposure (FIRE)	14
Laboratorio Light Integrated with Fluidic Experiments (LIFE)	15
Laboratorio Development and Inscription by Additive Manufacturing of Nano Devices (DIAMOND)	16
Laboratorio: Advanced QUantum Applications (AQUA)	17
Laboratorio Imaging Spectroscopy for Cultural Heritage (ArtIS)	18
Laboratorio Functional Near Infrared Spectroscopy (fNIRS)	19
Laboratorio Phantom	20
Laboratorio Diffuse Optical Spectroscopy (DOS)	21
Laboratorio Gated photon counting (GAP)	22
Laboratorio Photonics for Food (PHOOD)	23
Laboratorio Fluorescence spectroscopy (FLUO)	24
Laboratorio Optical Mammography (MAMMOT)	25
Laboratorio Fast Fluorescence Molecular Tomography (fastFMT)	26
Laboratorio Optical Projection Tomography (OPT)	27
Laboratorio Versatile Electron Spectroscopy Instrumentation (VESI)	28
Laboratorio Scanning Tunneling Microscopy (STM)	29
Laboratorio Spin properties in Semiconductors (SemiSpin)	30
Laboratorio Silicon-Germanium epitaxy (SiGe)	31
Laboratorio Clean Room	32
Laboratorio Layered Artificial Structures for Spin Electronics (LASSE)	33
Laboratorio Electron Beam Lithography (EBL)	34
Laboratorio Electrical, Magnetic and Optical Characterization (EMOC)	35
Laboratorio Scanning Near field Optical Microscopy (SNOM)	36
Laboratorio Variable Energy Positron Annihilation Spectroscopy (VEPAS)	37
Laboratorio Ultrafast Photoemission and Optical Spectroscopy (UPhOS)	38
Laboratorio TARatura Vacuometri (TAV)	39
Laboratorio Spectre	40
Laboratorio Electron microscopy laboratory (EMlab)	41
Laboratorio Resonant Inelastic X-ray Scattering (RIXS)	42
Laboratorio Magneto-Optical Kerr Effect (MOKE)	43

Laboratorio Mid-IR for Strong-field Physics

RESPONSABILI

Salvatore Stagira

Caterina Vozzi (IFN-CNR)

ATTIVITÀ SPERIMENTALI

Il laboratorio è dedicato all'impiego di sorgenti laser parametriche nel medio infrarosso per applicazioni di spettroscopia atomica e molecolare mediante generazione di armoniche di ordine elevato nell'estremo ultravioletto (XUV).

Le proprietà chimico-fisiche delle molecole sono in larga parte dettate dalla struttura elettronica esterna, che viene rappresentata usualmente in termini di orbitale molecolare (Highest Occupied Molecular Orbital - HOMO). Visualizzare la struttura dell'HOMO e seguirne l'evoluzione temporale a seguito di eccitazione elettronica o vibrazionale, consentirebbe di comprendere il modo con cui la molecola interagisce con l'ambiente circostante. In questo laboratorio, tale obiettivo viene perseguito mediante la tecnica di Tomografia Molecolare XUV, che consiste nell'ottenere un'immagine dell'HOMO attraverso un processo ottico nonlineare, noto come emissione di armoniche di ordine elevato, indotto in un gas molecolare mediante un impulso laser intenso ed ultrabreve.

Lo spettro di armoniche XUV generato nel gas è strettamente dipendente dalla forma dell'HOMO e da come le molecole sono disposte nello spazio rispetto alla direzione di polarizzazione dell'impulso laser.

Allineando l'asse delle molecole del gas a differenti angoli rispetto alla polarizzazione dell'impulso laser generante (processo ottenibile mediante un altro impulso laser ultrabreve), si osserveranno in genere spettri XUV di forma differente. L'insieme degli spettri XUV così generati può essere elaborato ed interpretato in termini della trasformata di Fourier dell'HOMO nel dominio dello spazio. Mediante un algoritmo di antitrasformazione, è dunque possibile ottenere una immagine dell'orbitale considerato.

ATTREZZATURE

Nel laboratorio sono presenti sorgenti laser sincronizzate di impulsi ultrabrevi ed intensi, caratterizzati da diversa lunghezza d'onda e durata temporale per l'eccitazione rotazionale, vibrazionale ed elettronica di campioni molecolari in fase gassosa.

In particolare, il laboratorio è dotato di un sistema laser di classe terawatt a Ti:zaffiro (800 nm) che genera impulsi da 60 fs con una energia fino a 120 mJ e frequenza di ripetizione di 10 Hz.

A partire da questo sistema laser è stata sviluppata una sorgente parametrica accordabile nel medio infrarosso fra 1.2 e 1.9 μm con un'energia di 1.5 mJ, durata 20 fs e fase assoluta stabilizzata passivamente.

Sono inoltre presenti linee di luce ausiliarie sincronizzate con la sorgente infrarossa, con energie per impulso dell'ordine del mJ, lunghezza d'onda centrale ad 800 nm e durate di impulso tra i 10 ed i 100 fs.

Nel laboratorio è presente una camera da vuoto per la generazione di armoniche di ordine elevato. Le armoniche sono prodotte focalizzando la sorgente laser su di un getto di gas impulsato e sincronizzato con il laser stesso. La radiazione XUV generata viene poi analizzata per mezzo di uno spettrometro a campo piatto nella regione spettrale fra 16 e 200 eV.

LINEA DI RICERCA AFFERENTE

1. Generazione di impulsi ultrabrevi e loro applicazioni alla fisica della materia

SITO WEB

https://www.fisi.polimi.it/it/ricerca/strutture_di_ricerca/laboratori/54124

Laboratorio High Energy Attosecond Pulses

RESPONSABILE

Mauro Nisoli

ATTIVITÀ SPERIMENTALI

L'obiettivo di questo laboratorio è la generazione e l'applicazione di impulsi ad attosecondi di elevata energia, prodotti mediante il processo di generazione di armoniche di ordine elevato (HHG) in gas nobili. Impulsi isolati ad attosecondi, con durate fino a 130 as, sono prodotti utilizzando varie tecniche di *gating temporale*, in combinazione con impulsi di eccitazione da pochi cicli ottici e fase assoluta stabile. La risoluzione temporale fornita da tali impulsi permette di seguire la dinamica elettronica in atomi, molecole e nanostrutture. I settori di ricerca principali del laboratorio sono i seguenti:

(i) Fisica molecolare: studio dei processi di rilassamento elettronico in molecole (H_2 , N_2 , O_2 , CO, etc.). (ii) Studio dei processi elettronici ultraveloci in molecole di interesse biologico, come aminoacidi e basi del DNA. In particolare si studiano i processi di trasferimento di carica che giocano un ruolo importante in meccanismi biologici di interesse fondamentale come la trasmissione dei segnali biologici in proteine e DNA. (iii) Studio e controllo della dinamica elettronica in nanoparticelle dielettriche e metalliche.

ATTREZZATURE

Sorgente laser

La sorgente laser è costituita da un sistema amplificato a Ti: zaffiro che genera impulsi da 25 fs con una energia di 6 mJ, frequenza di ripetizione di 1 kHz e fase assoluta stabile. Questi impulsi vengono poi compressi mediante la *tecnica della fibra cava*, in combinazione con chirped mirrors a larga banda, fino a 4 fs con una energia di 2.5 mJ. A causa dell'elevata energia degli impulsi laser, è stata implementata la tecnica di *pressure gradient* nel setup della fibra cava.

Beamline ad attosecondi

Impulsi ad attosecondi nella regione spettrale dell'estremo ultravioletto (XUV) sono prodotti focalizzando gli impulsi ad alta energia e da pochi cicli ottici in una cella contenente gas nobili. La radiazione XUV generata viene poi focalizzata da uno specchio toroidale nella camera di interazione in cui si pone il campione oggetto di indagine. La linea ad attosecondi permette di eseguire misure di *pump-probe* con risoluzione temporale ad attosecondi e di caratterizzare completamente gli impulsi XUV. Le caratteristiche spettrali della radiazione XUV vengono misurate utilizzando uno spettrometro flat-field ad incidenza radente. Uno spettrometro di tipo *velocity map imaging (VMI)* viene utilizzato nella linea ad attosecondi per misurare la quantità di moto di elettroni e ioni generati dagli impulsi ad attosecondi focalizzati sul campione in fase gassosa.

LINEA DI RICERCA AFFERENTE

1. Generazione di impulsi ultrabrevi e loro applicazioni alla fisica della materia

SITO WEB

https://www.fisi.polimi.it/it/ricerca/strutture_di_ricerca/laboratori/54128

Laboratorio XUV Ultrafast Spectroscopy

RESPONSABILE

Mauro Nisoli

ATTIVITÀ SPERIMENTALI

L'obiettivo del laboratorio è lo studio sperimentale, con risoluzione temporale a femtosecondi, di processi elettronici in atomi e molecole eccitate da impulsi nella regione spettrale dell'ultravioletto estremo (XUV) prodotti mediante il processo di generazione di armoniche di ordine elevato. Singole armoniche o gruppi di armoniche sono selezionati mediante un monocromatore compensato in tempo (che permette cioè di preservare la durata temporale dell'armonica selezionata) caratterizzato da un elevato flusso di fotoni. Tali impulsi sono utilizzati per studiare processi elettronici ultraveloci in atomi e molecole mediante tecniche di pump-probe.

ATTREZZATURE

Sorgente laser

La sorgente laser è costituita da un sistema amplificato a Ti:zaffiro, che genera impulsi da 25 fs, con un'energia di 2 mJ e frequenza di ripetizione di 1 kHz. Questi impulsi vengono poi compressi mediante la *tecnica della fibra cava*, in combinazione con chirped mirrors a larga banda, fino a 5 fs con una energia di 0.7 mJ.

Beamline XUV a femtosecondi

Impulsi XUV, prodotti mediante il processo di generazione di armoniche di ordine in gas, sono selezionati spettralmente mediante un monocromatore compensato, basato sull'uso della diffrazione conica, in cui i vettori d'onda dell'onda incidente e di quella diffratta sono quasi paralleli alle righe del reticolo. Tale diffrazione conica consente di ottenere un notevole miglioramento in termini di accordabilità e di efficienza di trasmissione rispetto ai metodi tradizionali. E' possibile ottenere impulsi accordabili in un'ampia regione spettrale, con durate fino a 8 fs ed elevato flusso. Sono presenti varie strumentazioni per la misura di elettroni e ioni prodotti a seguito dell'interazione con gli impulsi XUV, fra cui uno spettrometro per elettroni a tempo di volo e uno spettrometro di tipo velocity-map imaging (VMI).

LINEA DI RICERCA AFFERENTE

1. Generazione di impulsi ultrabrevi e loro applicazioni alla fisica della materia

SITO WEB

https://www.fisi.polimi.it/it/ricerca/strutture_di_ricerca/laboratori/54126

Laboratorio Ultrashort Pulse Developments

RESPONSABILE

Dario POLLI

ATTIVITÀ SPERIMENTALI

Il laboratorio ha come scopo la generazione di impulsi di luce laser della durata di pochi cicli ottici accordabili dall'ultravioletto al vicino infrarosso per varie applicazioni tra cui la spettroscopia risolta in tempo delle dinamiche ultraveloci di varie molecole e sistemi in stato solido di interesse scientifico. Vengono impiegati opportuni processi ottici non lineari, che mirano ad ampliare la larghezza spettrale della sorgente laser di partenza (laser a Titanio in zaffiro amplificato, operante attorno a 800 nanometri) e ad amplificarne la radiazione. Infine gli impulsi vengono compressi al limite della durata consentita dalla banda spettrale (tipicamente circa 10 femtosecondi) tramite opportune ottiche dispersive (specchi chirped, specchi deformabili, modulatori spaziali, prismi, etc) e caratterizzata precisamente utilizzando sofisticati sistemi di misura della fase spettrale degli impulsi.

ATTREZZATURE

Laser a Titanio in zaffiro amplificato: lunghezza d'onda centrale 800 nm, frequenza di ripetizione 1 kHz, durata dell'impulso 100 fs

Amplificatori ottici parametrici in grado di generare impulsi di circa 10 fs di durata con lunghezza d'onda centrale nel visibile (500-700nm) o vicino infrarosso (850-2000nm).

Stadi di generazione di frequenza somma e differenza per spingere l'accordabilità nell'ultravioletto (fino a 300nm).

Varie attrezzature da laboratorio: amplificatori lock-in, spettrometri veloci (acquisizione single-shot degli spettri a 1 kHz), sistemi di acquisizione dati, oscilloscopi, power meters, fotodiodi, linee di ritardo micrometriche, traslatori piezo per microscopia.

LINEA DI RICERCA AFFERENTE

1. Generazione di impulsi ultrabrevi e loro applicazioni alla fisica della materia

SITO WEB

https://www.fisi.polimi.it/it/ricerca/strutture_di_ricerca/laboratori/49420

Laboratorio Advanced Research of Organic Conjugated Materials (ARCO)

RESPONSABILI

Guglielmo Lanzani
Francesco Scotognella

ATTIVITÀ SPERIMENTALI

Il laboratorio si occupa della fabbricazione, caratterizzazione ottica ed elettro-ottica di film sottili a base di materiali organici coniugati, per applicazione nel campo dei dispositivi ad emissione di luce (LED).

Un apparato di caratterizzazione elettrica consente di misurare le caratteristiche tensione/corrente e luminescenza di dispositivi organici. Il dispositivo è, normalmente, composto da uno strato di ITO, ossido di stagno ed indio, (l'anodo), un film organico (lo strato attivo) ed uno strato di alluminio (il catodo). E' possibile anche porre al posto dell'alluminio uno strato di calcio per aumentare l'iniezione di elettroni all'interno del dispositivo o un film sottile di PEDOT tra l'ITO ed il film organico per aumentare l'iniezione di lacune. Alternativamente, vengono utilizzati altri metalli, quali oro e argento. Le caratteristiche I/V (corrente / tensione) del dispositivo sono misurate con un Keithley 236. L'intensità di elettroluminescenza è misurata attraverso un fotodiodo posto di fronte alla faccia del dispositivo dove è presente l'ITO (trasparente alla radiazione nel visibile). Inoltre è possibile misurare lo spettro di elettroluminescenza con un OMA (Optical Multichannel Analyzer). In figura è riportato uno schema del dispositivo visto dal lato.

Misure di assorbimento transiente assistite da un campo elettrico modulato permettono lo studio dei processi fondamentali, quali generazione di cariche e ricombinazione delle stesse, in dispositivi elettroluminescenti. Il dispositivo posto in vuoto consiste di uno strato di ITO, ossido di stagno ed indio, trasparente al visibile, uno strato del materiale attivo, ed un catodo di alluminio. Diverse sorgenti di luce, tra cui laser a diverse lunghezze d'onda e lampade a incandescenza, sono utilizzate come pompa e sonda in tali misure. Entrambi i fasci attraversano il campione e vengono riflessi dallo strato di alluminio; solo il fascio di probe riflesso viene però raccolto. Il campo elettrico applicato al dispositivo è modulato ed è dell'ordine di pochi MV/cm. Con questa tecnica si possono misurare piccole variazioni della trasmissione del fascio di probe attraverso il campione in presenza del fascio di pompa, ma indotte dal campo elettrico applicato.

ATTREZZATURE

Il laboratorio per la preparazione dei materiali è composto da due cappe chimiche in cui è possibile preparare soluzioni e film organici. I film possono essere realizzati con due diversi metodi: tramite un evaporatore o uno spin-coater. Nella cappa sono presenti anche una bilancia di precisione, ed un fornellino per riscaldare in maniera controllata diversi tipi di miscele. Usando l'evaporatore per metalli e polveri organiche, è possibile realizzare film metallici ed organici attraverso sublimazione in alto vuoto (10^{-6} mbar). I film realizzati possono essere di spessore variabile da 1 nm a diversi mm. Con lo spin-coater si realizzano film organici da soluzioni. I film realizzati con tale tecnica possono avere uno spessore variabile da decine a centinaia di nanometri, con una sensibilità su tale di circa 5 nm.

Un amperometro ultrasensibile (Keithley 236) è utilizzato per misurare caratteristiche corrente/tensione. Un sistema dotato di diversi fotodiodi e un Optical Multichannel Analyzer è impiegato per misurare la luminescenza. Per le misure di assorbimento transiente viene utilizzato un apparato dedicato.

LINEA DI RICERCA AFFERENTE

1. Generazione di impulsi ultrabrevi e loro applicazioni alla fisica della materia

SITO WEB

https://www.fisi.polimi.it/it/ricerca/strutture_di_ricerca/laboratori/49419

Laboratorio Attosecond Reaction Microscope

RESPONSABILE

Giuseppe Sansone

ATTIVITÀ SPERIMENTALI

L'attività del laboratorio è incentrata sulla generazione, caratterizzazione ed applicazione di impulsi isolati e treni di impulsi ad attosecondi in esperimenti di pump-probe per lo studio di dinamiche ultraveloci (pochi femtosecondi) in atomi e molecole, con particolare attenzione ai fenomeni di correlazione elettronica.

La generazione di impulsi ad attosecondi avviene utilizzando il processo di high-order harmonic generation focalizzando un impulso laser della durata di alcuni femtosecondi all'interno di un mezzo gassoso. In questo modo è possibile generare radiazione coerente nella regione spettrale dell'estremo ultravioletto (XUV) caratterizzata da una durata di alcune centinaia di attosecondi. Questi impulsi vengono utilizzati per eccitare una dinamica elettronica (e nucleare) all'interno di sistemi semplici quali atomi e molecole. L'evoluzione temporale di questa dinamica viene sondata ad un ritardo variabile utilizzando un impulso infrarosso sincronizzato con l'eccitazione. A seconda della dinamica investigata diverse tecniche possono essere utilizzate all'interno del laboratorio. Per lo studio della dinamica elettronica in stati eccitati, ad esempio, è possibile misurare le modifiche dello spettro di assorbimento nella regione spettrale dell'ultravioletto al variare del ritardo temporale tra l'impulso di eccitazione e quello di sonda. Questi esperimenti danno informazioni sulla evoluzione temporale del momento di dipolo e consentono quindi di ricavare informazioni sulla dinamica che avviene al di sotto della soglia di ionizzazione del sistema.

Per energie di fotoni XUV superiori alla soglia di ionizzazione, vengono utilizzate invece tecniche di spettroscopia elettronica e ionica, ed in particolare tecniche di misure in coincidenza che consentono di caratterizzare in modo completo la dinamica elettronica e nucleare eccitata dall'impulso ad attosecondi. Queste misure richiedono una complessa strumentazione (Reaction Microscope) che consente di realizzare sofisticate analisi di correlazione elettronica ovvero di come l'interazione tra gli elettroni influenzi i processi di fotoionizzazione e fotodissociazione e decadimenti atomici (ad esempio decadimento Auger, risonanze di Fano, etc.) o molecolari (ad esempio in molecole piccole quali idrogeno).

ATTREZZATURE

Il sistema laser utilizzato nel laboratorio "Reaction Microscope" ad attosecondi è un laser a titanio-zaffiro operante con una cadenza di ripetizione di 10 kHz ed un'energia per impulso di 2 mJ. Il sistema laser presenta un sistema di stabilizzazione della fase assoluta degli impulsi laser (carrier-envelope-phase CEP). Impulsi successivi sono quindi caratterizzati dallo stesso andamento del campo elettrico. Il sistema di stabilizzazione utilizzato nel laboratorio è basato su una tecnica innovativa ed è stato sviluppato in collaborazione con la ditta Amplitude Technologies and con il gruppo di ricerca di CEA-Saclay in Francia.

In collaborazione con il gruppo della Friedrich Schiller University, Jena in Germania, gli impulsi sono stati compressi fino ad una durata di 4.5 fs ed energie di 1 mJ. Nell'ambito della collaborazione è stato installato presso il laboratorio un Carrier-envelope-phase meter che consente di ottimizzare la durata e la stabilità di fase degli impulsi utilizzati per gli esperimenti.

Il Reaction Microscope consente di caratterizzare in modo completo reazioni atomiche e molecolari misurando la distribuzione dei momenti delle particelle cariche emesse in un processo di fotoionizzazione e/o fotodissociazione iniziato da un impulso di radiazione infrarossa o ultravioletta. Il Reaction Microscope è stato realizzato in collaborazione con il gruppo del Prof. Ullrich presso il Max-Planck-Institute di Heidelberg in Germania <https://www.mpi-hd.mpg.de/mp/en/pfeifer/pfeifer-division-portal/>

LINEA DI RICERCA AFFERENTE

1. Generazione di impulsi ultrabrevi e loro applicazioni alla fisica della materia

SITO WEB

https://www.fisi.polimi.it/it/ricerca/strutture_di_ricerca/laboratori/54130

Laboratorio Two-dimensional (2D) Electronic Spectroscopy

RESPONSABILE

Giulio Cerullo

ATTIVITÀ SPERIMENTALI

Il laboratorio ha come scopo lo sviluppo e le applicazioni della tecnica di spettroscopia ottica ultraveloce nota come spettroscopia elettronica bidimensionale (2DES). In tale tecnica il segnale non-lineare viene rappresentato, in funzione del tempo, sotto forma di mappe bidimensionali aventi su un asse la frequenza di eccitazione e sull'altro la frequenza di rivelazione. La 2DES è la tecnica di spettroscopia nonlineare al terzo ordine più completa, in quanto massimizza simultaneamente risoluzione temporale e spettrale. La 2DES consente di ottenere informazioni sui meccanismi di allargamento di riga omogenei e inhomogenei, sugli accoppiamenti tra le transizioni e sui processi di trasferimento di energia e di carica tra cromofori. La 2DES richiede la generazione di coppie di impulsi stabilizzati in fase, cioè con ritardo controllato con precisione molto migliore del periodo ottico. A tale scopo, il laboratorio utilizza tecniche particolari (linee di ritardo birifrangenti) inventate presso il Politenico di Milano. I problemi studiati mediante 2DES sono numerosi e vanno dai processi fotoindotti in sistemi fotosintetici e nanostrutture ai meccanismi di fotoprotezione nel DNA e allo studio della struttura secondaria delle proteine.

ATTREZZATURE

Laser a Titanio in zaffiro amplificato: lunghezza d'onda centrale 800 nm, frequenza di ripetizione 1 kHz, durata dell'impulso 100 fs, energia 4 mJ

Amplificatori ottici parametrici in grado di generare impulsi di durata < 10 fs con lunghezza d'onda centrale nel visibile (500-700nm) o vicino infrarosso (700-1000nm).

Stadi di generazione di frequenza somma per spingere l'accordabilità nell'ultravioletto (fino a 250nm).

Sistemi di caratterizzazione completa in ampiezza e fase degli impulsi ultrabrevi (frequency-resolved optical gating, two-dimensional spectral shearing interferometry).

Sistemi per la generazione di coppie di impulsi agganciati in fase (interferometro TWINS, Translating-Wedge-Based Identical Pulses eNcoding System)

Varie attrezzature da laboratorio: amplificatori lock-in, spettrometri veloci (acquisizione single-shot degli spettri a 1 kHz), sistemi di acquisizione dati, oscilloscopi, power meters, fotodiodi, linee di ritardo micrometriche.

LINEA DI RICERCA AFFERENTE

1. Generazione di impulsi ultrabrevi e loro applicazioni alla fisica della materia

SITO WEB

https://www.fisi.polimi.it/it/ricerca/strutture_di_ricerca/linee_di_ricerca/49516

Laboratorio Ultrafast Spectroscopy in IR-VIS

RESPONSABILE

Margherita Zavelani Rossi

ATTIVITÀ SPERIMENTALI

Il laboratorio è dedicato allo sviluppo e all'utilizzo di sistemi per spettroscopia a elevata risoluzione temporale nell'intervallo spettrale, principalmente, del visibile e del vicino infrarosso. A questo scopo, a partire da una sorgente di impulsi laser centrati a 800 nm, con durata di 100 fs ed energia di 2 mJ, vengono generati impulsi con durate comprese tra i 10 e i 100 fs circa, e lunghezza d'onda dai 450 a 1500 nm, tramite processi ottici non lineari. Si sfruttano fenomeni di amplificazione ottica parametrica, generazione di frequenze somma o differenza e generazione di seconda e terza armonica. La principale tecnica di analisi spettroscopica utilizzata in questo laboratorio è il pump-probe che, mediante l'uso di un impulso di eccitazione e uno di sonda, permette di tracciare le dinamiche di rilassamento degli stati eccitati dei materiali oggetto di indagine e quindi di comprendere i processi foto-fisici degli stessi. Questo studio è volto sia alla conoscenza dei materiali sia allo sfruttamento degli stessi in dispositivi opto-elettronici. Gli impulsi laser utilizzati in questo laboratorio consentono di effettuare misure su ampi intervalli spettrali e con elevata risoluzione temporale (all'incirca tra 15 e 150 fs). E' possibile anche lo studio dei materiali all'interno di dispositivi elettroluminescenti o laser. Inoltre è possibile accoppiare il sistema di pump-probe con un microscopio ottico costruito apposta per aggiungere la risoluzione spaziale, mantenendo la risoluzione temporale. Sono vari i materiali che vengono studiati, organici o inorganici, quali, per esempio, molecole, oligomeri, polimeri, nanoparticelle metalliche o di semiconduttore, sistemi ibridi.

ATTREZZATURE

Laser a titanio in zaffiro amplificato: lunghezza d'onda centrale 800 nm, frequenza di ripetizione 2 kHz, durata dell'impulso 100 fs, energia 2 mJ.

Amplificatori ottici parametrici in grado di generare impulsi di durata da <10 a 100 fs, con lunghezza d'onda centrale nel visibile (500-750nm) o vicino infrarosso (850-1500nm). Stadi di generazione di frequenza somma e differenza per spingere l'accordabilità nell'ultravioletto (fino a 300nm).

Varie attrezzature da laboratorio: amplificatori lock-in, spettrometri veloci (acquisizione single-shot degli spettri a 1 e 2 kHz), sistemi di acquisizione dati, oscilloscopi, power meters, fotodiodi, linee di ritardo micrometriche, traslatori piezo per microscopia.

LINEA DI RICERCA AFFERENTE

1. Generazione di impulsi ultrabrevi e loro applicazioni alla fisica della materia

SITO WEB

https://www.fisi.polimi.it/it/ricerca/strutture_di_ricerca/laboratori/49424

Laboratorio OPTICS – OPTical frequency CombS

RESPONSABILI

Nicola Coluccelli

Gianluca Galzerano (IFN-CNR)

ATTIVITÀ SPERIMENTALI

In questo laboratorio si impiegano le più sofisticate tecniche optoelettroniche per la stabilizzazione assoluta di frequenza di sorgenti laser dedicate alla spettroscopia molecolare ad elevata risoluzione ed elevata precisione nella regione spettrale del vicino (da 1 a 2 μm) e del medio infrarosso (da 2.5 a 12 μm). Le sorgenti laser sono progettate, realizzate e caratterizzate interamente all'interno del laboratorio con particolare attenzione alle prestazioni in termini di purezza spettrale, ed operano in regime continuo oppure impulsato (mode-locking). Inoltre, vengono sviluppati amplificatori ottici di elevata potenza a stato solido in configurazione multipasso, basati su cristalli drogati con ioni di olmio, tulio, e cromo e operanti nell'intorno della lunghezza d'onda di 2 e 2.5 μm , ed amplificatori in fibra ottica basati sull'impiego di fibre drogate ad erbio (emissione ad 1.5 μm) e fibre speciali in configurazione "double-clad large-mode-area" drogate con ioni di tulio, olmio, e tulio-olmio, per la realizzazione di pettini di frequenza ottici con potenza per singolo modo longitudinale dell'ordine di 100 μW . Tale contenuto di potenza consente lo studio di righe di assorbimento molecolari con altissimi livelli di rapporto segnale-rumore e bassa incertezza sulla determinazione del centro riga e del profilo di riga. Il laboratorio è infine coinvolto nello sviluppo di un sistema di spettroscopia per lo studio della costanza del rapporto di massa protone/elettrone utilizzando una tecnica di misura innovativa per la determinazione di larghezze di riga ottiche inferiori ad 1 Hz nella regione spettrale intorno ad 8.6 μm .

ATTREZZATURE

Il laboratorio è fornito di: pettine di frequenza ottico nell'intervallo spettrale da 1 a 2 μm basato su un laser a femtosecondo in fibra ottica; sorgenti laser a semiconduttore in singola frequenza (cavità estesa) nelle regioni spettrali da 1 a 1.6 μm ; sorgenti laser ad erbio in fibra in singola frequenza ad altissima purezza spettrale; laser a cascata quantica con emissione in singola frequenza alla lunghezza d'onda di 8.6 μm ; laser a Nd:YAG ad anello non planare in singola frequenza; prototipi di laser a stato solido in singola frequenza e accordabili nella regione spettrale da 1 a 2.7 μm ; interferometro di Michelson con laser He-Ne stabilizzato in frequenza; laser ad erbio in fibra 20 W; laser a tulio in fibra 20 W; cavità risonanti passive ad elevata finesse e celle multipasso; misuratore di lunghezza d'onda; strumentazione opto-elettronica (analizzatore di spettro elettrico, oscilloscopio digitale con 4 GHz di banda, contatore di frequenza, quarzo RF a basso rumore di fase, sintetizzatori di frequenza, cavità ottica in vetro Ultra-Low-Expansion, piastra antivibrante con stabilizzazione attiva, controllori PID ad elevata banda di controllo).

LINEA DI RICERCA AFFERENTE

2 - Laser a stato solido e dispositivi fotonici per sistemi integrati

SITO WEB

http://www.fisi.polimi.it/it/ricerca/strutture_di_ricerca/laboratori/54062

Laboratorio SOLid-state LAsers (SOLAR)

RESPONSABILI

Alessio Gambetta

Gianluca Galzerano (IFN-CNR)

ATTIVITÀ SPERIMENTALI

Il laboratorio si occupa della realizzazione e caratterizzazione di sorgenti Laser con emissione nel vicino e medio infrarosso (1-10 μm) e amplificatori ottici di elevata potenza. Tali sorgenti trovano applicazione in vari ambiti, dalla meteorologia alla medicina, dalla sensoristica di precisione alla spettroscopia molecolare e metrologia di frequenza: è pertanto fondamentale la ricerca di sorgenti operanti in questo intervallo spettrale con elevate efficienze di funzionamento, affidabilità ed integrazione. In particolare vengono sviluppati laser a stato solido operanti nelle regioni spettrali intorno ad 1 μm , 2 μm , e 2.5 μm basati su cristalli innovativi drogati con ioni delle terre rare di tulio (Tm), tulio-olmio (Tm-Ho), itterbio (Yb), neodimio (Nd), cromo (Cr). L'attività di ricerca svolta nel laboratorio SOLAR ha portato alla realizzazione di sorgenti laser operanti in regime continuo, che hanno dimostrato eccezionali prestazioni in termini di accordabilità, efficienza, e purezza spettrale, e di sorgenti operanti in regime impulsato, tramite le tecniche di Q-switching o di mode-locking, che hanno condotto alla generazione di impulsi laser ultrabrevi.

Il laboratorio SOLAR si occupa inoltre dello sviluppo di amplificatori a stato solido in configurazione multipasso, basati su cristalli drogati con ioni di olmio, tulio, e cromo e operanti nell'intorno della lunghezza d'onda di 2 μm , e 2.5 μm , per la realizzazione di pettini di frequenza ottici con potenza per singolo modo longitudinale dell'ordine di 100 μW . Tale contenuto di potenza consente lo studio di righe di assorbimento di diverse specie molecolari (ad esempio CO_2 e N_2O), con altissimi livelli di rapporto segnale-rumore e bassa incertezza sulla determinazione di centri e dei profili di riga nell'intorno di 2 μm , con miglioramenti fino a tre ordini di grandezza rispetto alle accurately di database spettroscopici internazionali come HITRAN. Queste misure sono estremamente importanti per le ricadute in ambito meteorologico.

E' stato inoltre recentemente realizzato un laser a Ti:zaffiro operante in regime di mode-locking con frequenza di ripetizione degli impulsi pari a 250 MHz e durate inferiori ai 50 fs: tale sorgente sarà utilizzata come seme per la realizzazione di Oscillatori Parametrici Ottici (OPO) per la generazione di pettini di frequenze ottiche nel vicino e medio infrarosso.

ATTREZZATURE

Il laboratorio è dotato di due banchi ottici, di sorgenti laser in fibra ottica e a semiconduttore per il pompaggio ottico dei materiali attivi e della componentistica opto-meccanica per la realizzazione degli apparati laser. Il laboratorio è inoltre fornito della strumentazione ottica (autocorrelatori ottici, misuratore di lunghezze d'onda, analizzatori di spettro ottico, monocromatore, interferometri Fabry-Perot e Michelson, misuratori di potenza ed energia) ed elettronica (oscilloscopio campionatore a 40 GHz, analizzatore di spettro elettrico, oscilloscopio digitale con 4 GHz di banda) per la caratterizzazione della radiazione laser.

LINEA DI RICERCA AFFERENTE

2 - Laser a stato solido e dispositivi fotonici per sistemi integrati

SITO WEB

http://www.fisi.polimi.it/it/ricerca/strutture_di_ricerca/laboratori/54056

Laboratorio Coherent rAman spectRoScopy (CARS)

RESPONSABILI

Marco Marangoni

Giulio Cerullo

ATTIVITÀ SPERIMENTALI

Il laboratorio si occupa di microscopia Raman coerente, nella quale si ottiene selettività chimica senza l'ausilio di marcatori fluorescenti in quanto si accede alla risposta vibrazionale intrinseca delle specie chimiche sotto indagine. Con tale tecnica vengono osservati e studiati campioni organici ed inorganici, viene effettuata la diagnostica di tessuti biologici così come il monitoraggio del trasporto di farmaci attraverso i tessuti stessi. Rispetto alla ben nota spettroscopia Raman, il vantaggio è fornito da una maggiore velocità di acquisizione delle immagini, in forza della natura coerente (e non spontanea) dei processi utilizzati. Tra questi, il sistema di microscopia realizzato nel corso degli anni consente di operare in diversi regimi, tra cui Coherent AntiStokes Raman Scattering (CARS), Stimulated Raman Scattering (SRS), Raman-Induced Kerr Effect Spectroscopy (RIKES), con eccitazione vibrazionale sia a singolo colore (impulso di Stokes a banda stretta, dell'ordine di $\approx 20 \text{ cm}^{-1}$) oppure a larga banda ($\approx 300 \text{ cm}^{-1}$).

Il cuore del sistema di microscopia è rappresentato da un oscillatore laser a femtosecondi in fibra drogata con Erblio operante alla frequenza di ripetizione di 40 MHz con lunghezza d'onda centrale di 1550 nm. Il treno di impulsi emesso dall'oscillatore viene diviso in tre parti e ciascuna di queste viene amplificata fino ad arrivare ad una potenza media di 350 mW, con impulsi della durata inferiore a 100 fs. Si ottengono in questo modo tre treni di impulsi sincronizzati che fungono da seme per successivi effetti non lineari che portano la lunghezza d'onda iniziale a spaziare in tutta la regione del vicino infrarosso da 780 a 2200 nm. Su una delle uscite un cristallo non lineare del II ordine di tipo PPLN progettato secondo le specifiche di un brevetto depositato dai responsabili fornisce impulsi a 780 nm a picosecondi e a banda stretta che fungono da pompa Raman. Sulle altre uscite delle fibre non lineari forniscono allargamenti spettrali di più di un'ottava da 950 a 2200 nm circa che vengono utilizzate o direttamente come fascio di Stokes a larga banda (multiplex CARS per esempio) oppure, a valle di una duplicazione di frequenza in PPLN, come fasci di Stokes a banda stretta accordabili da 850 a 1100 nm. Grazie a queste caratteristiche il sistema di microscopia offre un grado di versatilità unico a livello mondiale.

ATTREZZATURE

Il laboratorio è fornito di sistemi piezoelettrici di movimentazione dei campioni per misure di microscopia vibrazionale coerente, modulatore acusto-ottico e amplificatore lock-in per misure di tipo SRS e RIKES che necessitano della modulazione di ampiezza del fascio di pompa, spettrometri operanti nella regione del vicino infrarosso per l'acquisizione degli spettri vibrazionali. Completano l'equipaggiamento componentistica opto-meccanica, oscilloscopio e fotorivelatori, alcuni di questi in configurazione bilanciata per l'ottimizzazione del rapporto segnale-rumore.

LINEA DI RICERCA AFFERENTE

2 - Laser a stato solido e dispositivi fotonici per sistemi integrati

SITO WEB

http://www.fisi.polimi.it/it/ricerca/strutture_di_ricerca/laboratori/54060

Laboratorio COmb-assisted MOlecular Spectroscopy (COSMOS)

RESPONSABILE

Marco Marangoni

ATTIVITÀ SPERIMENTALI

L'attività sperimentale del laboratorio ruota attorno all'invenzione (premio Nobel assegnato nel 2005) dei pettini di frequenza ottici. La parola pettine fa riferimento alla struttura spettrale fine, discreta, costituita da un ampio insieme di denti perfettamente equispaziati, emessa da opportune sorgenti laser in regime di mode-locking. Di ciascun dente del pettine la frequenza può essere calibrata rispetto a riferimenti primari di tempo quali orologi atomici al Cesio, sì da consentire misure assolute ed estremamente riproducibili sull'asse delle frequenze ottiche.

L'attività sperimentale si colloca nell'ambito della spettroscopia molecolare assistita da pettini di frequenza e si muove essenzialmente lungo due direttrici, la prima (1) di carattere tecnologico nel campo delle sorgenti laser, la seconda (2) di carattere scientifico nel campo della fisica molecolare

- (1) La lunghezza d'onda di emissione delle sorgenti di pettini di frequenze ottiche disponibili oggi commercialmente ricade nell'intervallo spettrale del vicino infrarosso. Al fine di estendere tale intervallo alla regione del medio-infrarosso, dove risiedono le righe di assorbimento molecolare roto-vibrazionali più intense, vengono sfruttati processi non lineari di generazione di frequenza differenza per la sintesi di pettini di frequenza accordabili nella regione dai 3 ai 12 μm .
- (2) Pettini di frequenza nel vicino e medio-infrarosso vengono utilizzati da un lato per acquisire spettri di assorbimento molecolare con calibrazione assoluta della frequenza, e dall'altro come veri e propri righelli per contare la frequenza di laser in continua agganciati al centro di assorbimenti di molecole di rilevanza ambientale e medicale. In questo modo ricaviamo dati spettroscopici quali fattori d'intensità di riga, coefficienti di allargamento e spostamento per pressione, nonché informazioni accurate sulla struttura dei livelli di energia delle molecole, utilizzabili sia per la comprensione della struttura energetica delle stesse che per migliorare l'accuratezza dei database oggi utilizzati per la rivelazione ed identificazione delle molecole su base spettroscopica. Recentemente, mediante l'utilizzo di cavità risonanti ad elevata finezza in grado di moltiplicare il cammino di assorbimento fino a diversi chilometri, ci stiamo muovendo verso lo studio di righe molecolari di bassa intensità, quali quelle di molecole omonucleari prive di momento di dipolo elettrico.

ATTREZZATURE

Il laboratorio è fornito di: i) pettine di frequenza a Erblio (100 MHz, 250 mW); ii) pettine di frequenza a Tullio (100 MHz, 2 W), iii) laser a cascata quantica in continua (9.1 μm , 10 mW); iv) componentistica idraulica per misure di spettroscopia su campioni gassosi – tubazioni, celle di misura, cavità ottiche ad elevata finezza, vacuometri, v) strumentazione di misura di grandezze elettriche - oscilloscopio, analizzatore di spettro elettrico, scheda FPGA di acquisizione dati, vi) strumentazione di misura di grandezze ottiche - fotorivelatori, autocorrelatore, spettrometro e monocromatore con copertura spettrale dal visibile al medio infrarosso, vii) cristalli non lineari per la sintesi di pettini di frequenza nel medio infrarosso o per riferire laser a cascata quantica a pettini nel vicino infrarosso.

LINEA DI RICERCA AFFERENTE

2 - Laser a stato solido e dispositivi fotonici per sistemi integrati

SITO WEB

http://www.fisi.polimi.it/it/ricerca/strutture_di_ricerca/laboratori/54058

Laboratorio Fabrication by Infrared laser Radiation Exposure (FIRE)

RESPONSABILE/I

Paolo Laporta
Roberto Osellame (IFN-CNR)

ATTIVITÀ SPERIMENTALI

Le microlavorazioni con laser a femtosecondi di materiali trasparenti sono un campo di ricerca che si è espanso rapidamente a partire dal primo lavoro della fine degli anni '90. Questa tecnologia è passata dall'essere una semplice curiosità ad una solida e più versatile alternativa alle tecnologie standard. Inoltre le microlavorazioni con laser a femtosecondi hanno l'unicità di consentire una fabbricazione tridimensionale che permette di implementare nuove architetture di dispositivi.

L'idea di base dietro questa tecnologia è l'assorbimento non-lineare. L'intensità che si raggiunge nel volume focale di un impulso a femtosecondi focalizzato è talmente elevata da indurre fenomeni non-lineari quali la ionizzazione multifotonica o per effetto tunnel, seguita dalla ionizzazione a valanga: tali fenomeni producono un trasferimento di energia molto localizzato nel volume del materiale. Un'adeguata movimentazione del campione permette quindi di ottenere modifiche tridimensionali.

I componenti essenziali che possono essere fabbricati con questa tecnologia in materiali trasparenti sono le guide d'onda ottiche ed i canali microfluidici (questi ultimi richiedono però un successivo processo di attacco chimico). Ulteriori operazioni che possono essere svolte mediante questa tecnologia sono: saldatura, taglio, trattamento superficiale, etc. La combinazione di tutte queste capacità risulta particolarmente utile alla fabbricazione di dispositivi optofluidici complessi che vengono successivamente caratterizzati nei nostri laboratori.

ATTREZZATURE

Questo laboratorio è equipaggiato di strumentazione specifica per la microlavorazione laser a femtosecondi direttamente nel volume, nel caso di substrati trasparenti, o in superficie, per ogni tipo di materiale. Sono disponibili per quest'attività due sorgenti laser a femtosecondi. Una è un oscillatore laser Yb: KYW a cavità estesa, funzionante in regime di mode-locking con cavity-dumping. Esso fornisce impulsi della durata di circa 300 fs, con energia di 1.5 μ J, a cadenza di ripetizione variabile tra 10 kHz e 1.1 MHz. Questo sistema laser è stato sviluppato in una collaborazione tra il Max-Planck Institut di Heidelberg e la HighQLaser GmbH, tenendo conto delle particolari esigenze delle attività di microlavorazione con impulsi a femtosecondi. L'altra sorgente è un sistema laser commerciale HighQLaser FemtoREGEN. E' basato su un oscillatore in mode-locking a itterbio, seguito da uno stadio di amplificazione rigenerativa. Gli impulsi generati hanno una durata di circa 400 fs, con energia di 16 μ J e cadenza di ripetizione variabile tra 1 kHz e 1 MHz. Un sistema di specchi riconfigurabile permette di utilizzare nella medesima zona di lavorazione uno qualsiasi dei due fasci laser o la loro seconda armonica, generata tramite un cristallo di LBO. Diversi obiettivi da microscopio, con aperture numeriche comprese tra 0.3 e 1.4, sono a disposizione per focalizzare il fascio laser sul campione. Il campione da lavorare è montato su un sistema di traslazione a tre assi su cuscinetti d'aria (Aerotech FiberGLIDE 3D), che consente una precisione in posizionamento di 50 nm e velocità fino a 300 mm/s.

LINEA DI RICERCA AFFERENTE

2 - Laser a stato solido e dispositivi fotonici per sistemi integrati

SITO WEB

http://www.fisi.polimi.it/it/ricerca/strutture_di_ricerca/laboratori/4943

Laboratorio Light Integrated with Fluidic Experiments (LIFE)

RESPONSABILE/I

Paolo Laporta

Roberto Osellame (IFN-CNR)

ATTIVITÀ SPERIMENTALI

Questa attività di ricerca è dedicata allo sviluppo ed implementazione di dispositivi optofluidici monolitici per diverse applicazioni biofotoniche. La fabbricazione di questi dispositivi avviene mediante microlavorazioni con laser a femtosecondi che consentono innovative geometrie tridimensionali che non sono ottenibili con tecnologie di microfabbricazione convenzionali. In particolare, i circuiti microfluidici vengono ottenuti mediante irraggiamento laser e successiva rimozione selettiva delle regioni irraggiate mediante attacco chimico (tecnica denominata FLICE). Questo approccio innovativo consente di ottenere un elevato controllo della sezione e posizione dei microcanali che risultano direttamente sepolti nel vetro. Questo risolve uno dei principali problemi della fabbricazione dei lab-on-chip e cioè sigillare il circuito microfluidico. Con questo approccio è stata dimostrata la possibilità di effettuare una rivelazione integrata di biomolecole in un lab-on-a-chip, basata su misure in fluorescenza e label-free, grazie all'integrazione nello stesso dispositivo di reti microfluidiche e circuiti fotonici integrati. Recentemente l'attività si è focalizzata sulla dimostrazione di chip optofluidici per la manipolazione, intrappolamento e deformazione di singole cellule.

ATTREZZATURE

Questo laboratorio è equipaggiato di strumentazione specifica per la creazione e caratterizzazione di canali microfluidici. Il laboratorio di attacco chimico in acido fluoridrico (HF) consente di effettuare wet-etching di vetri fused silica con un ottimo controllo della temperatura, reagenti e vapori. Questo processo è un passo essenziale nella fabbricazione di canali microfluidici mediante la tecnica di irraggiamento con laser a femtosecondi seguito da attacco chimico (FLICE). Le principali risorse del laboratorio per l'attacco chimico sono: una cappa aspirante GLORIA ARTEC, progettata con speciale cura dei criteri di sicurezza, per una aspirazione veloce dei fumi tossici e la salvaguardia dell'operatore. E' fatta di materiali ignifughi e l'interno (fatto di materiale resistente all'acido) si decontamina facilmente. Una pulitrice ad ultrasuoni Branson (modello B-3510), composta di un bagno con una capacità di 5,5 l con controllo digitale della temperatura e con temporizzatore. Un dispensatore di HF, BRAND Dispensette, per distribuire volumi di HF misurati in modo sicuro ed accurato. Il sistema di scarico integrato sicuro riduce il rischio di perdite di acido inavvertite.

Una volta fabbricati, i canali microfluidici vengono caratterizzati verificando la possibilità di indurre e controllare un flusso di liquido al loro interno. A questo scopo nel laboratorio è possibile utilizzare un sistema di micropompe (FLUIGENT) a 4 canali che consentono di applicare pressioni fino ad 1 bar con una risoluzione che può arrivare fino a pochi μ bar. Una seconda tecnica utilizzata per indurre un flusso nei microcanali è mediante il flusso elettroosmotico, applicando cioè appropriate differenze di potenziale elettrico ai capi del canale. Nel laboratorio è inoltre disponibile un altro strumento fondamentale per la caratterizzazione di dispositivi optofluidici: il microscopio a fluorescenza. Questo strumento permette di visualizzare campioni biologici marcati in fluorescenza all'interno di chip microfluidici e verificare il corretto funzionamento del dispositivo con beads fluorescenti.

LINEA DI RICERCA AFFERENTE

2 - Laser a stato solido e dispositivi fotonici per sistemi integrati

SITO WEB

http://www.fisi.polimi.it/it/ricerca/strutture_di_ricerca/laboratori/49437

Laboratorio Development and Inscription by Additive Manufacturing of Nano Devices (DIAMOND)

RESPONSABILI

Paolo Laporta
Roberto Osellame (IFN-CNR)
Giulio Cerullo

ATTIVITÀ SPERIMENTALI

La fabbricazione con laser a femtosecondi di micro/nanostrutture mediante polimerizzazione a due fotoni (2PP) è un metodo molto promettente per la realizzazione di dispositivi 3D di elevata risoluzione per applicazioni alla fotonica, ai sistemi micromeccanici e per tecnologie lab-on-a-chip. Il meccanismo di assorbimento a due fotoni permette la polimerizzazione selettiva di piccoli volumi focali, con risoluzione migliore del limite di diffrazione, e consente quindi la fabbricazione a diverse profondità senza effetti sul materiale circostante. Le potenziali applicazioni di questa tecnologia che stiamo esplorando sono: fabbricazione di impalcature 3D per la crescita e differenziazione di cellule staminali; fabbricazione di filtri porosi all'interno di dispositivi microfluidici; fabbricazione di pixel nanostrutturati per e-paper.

ATTREZZATURE

La fabbricazione di strutture 3D con dimensioni micro/nanometriche è realizzata tramite polimerizzazione a due fotoni (2PP). Un laser ad impulsi ultrabrevi è focalizzato in un materiale trasparente e fotopolimerizzabile. Grazie all'elevata intensità nel fuoco, un assorbimento nonlineare a 2 fotoni produce una reazione fotochimica di polimerizzazione con una risoluzione di circa 100 nm. Muovendo il fuoco del laser nel campione, possono essere fabbricate strutture complesse in 3D. Dopo il processo di irradiazione, una fase di sviluppo rimuove la resina delle regioni non esposte, lasciando solo la struttura 3D irraggiata.

Il setup per la 2PP è costituito da un laser in fibra drogata erbio duplicato in frequenza (TOPTICA). Il laser in mode-locking emette impulsi con una cadenza di ripetizione pari a 100 MHz, durata degli impulsi di 100 fs, lunghezza d'onda centrale di 780 nm e potenza di uscita di 150 mW. Il fascio laser attraversa un attenuatore di intensità, un telescopio per allargarlo ed un otturatore (LS6T2-NL-100, Uniblitz), e viene infine focalizzato sul campione tramite un obiettivo con apertura numerica di 1.4 (Plan-APOCHROMAT, 100× oil immersion, Carl Zeiss AG). Il campione è fissato su un traslatore piezoelettrico a 3 assi con risoluzione nanometrica e con massima escursione di 100 µm nelle tre dimensioni spaziali. Il materiale utilizzato è un solgel resist ibrido organico-inorganico (SZ2080) sviluppato recentemente per la 2PP.

La geometria 3D della struttura creata col laser è normalmente visualizzata con tecnica scanning electron microscope (SEM) per poter adeguatamente analizzare le strutture di piccole dimensioni realizzate con questa tecnologia.

LINEA DI RICERCA AFFERENTE

2 - Laser a stato solido e dispositivi fotonici per sistemi integrati

SITO WEB

http://www.fisi.polimi.it/it/ricerca/strutture_di_ricerca/laboratori/49438

Laboratorio: Advanced QUantum Applications (AQUA)

RESPONSABILI

Paolo Laporta

Roberto Osellame (IFN-CNR)

ATTIVITÀ SPERIMENTALI

Il rapido progresso delle tecnologie quantistiche promettono una notevole rivoluzione nel campo dell'informazione e della comunicazione. Questo settore va sotto il nome di informazione quantistica e si propone di portare notevoli vantaggi in termini di capacità computazionali, con l'avvento dei computer quantistici, e di comunicazioni sicure, con tecniche di crittografia quantistica, oltre a numerosi altri vantaggi nel campo della sensoristica e dell'imaging. La strategia emergente per superare le limitazioni dell'ottica discreta per esperimenti e dispositivi basati sui principi dell'informazione quantistica consiste nell'utilizzo dell'ottica integrata che fornisce evidenti vantaggi in termini di compattezza ed insensibilità alle perturbazioni esterne. La scrittura con laser a femtosecondi è una valida tecnologia per fabbricare circuiti fotonici di elevata qualità e che consentano la manipolazione di qubits anche codificati in polarizzazione. L'utilizzo di questi circuiti per l'informazione quantistica viene esplorato in questo laboratorio con applicazione alle porte logiche (CNOT) per il quantum computing, alla biosensoristica quantistica, ed alla simulazione quantistica per lo studio sperimentale in simulatori fotonici di fenomeni fisici fondamentali.

ATTREZZATURE

Questo laboratorio è equipaggiato di strumentazione specifica per la caratterizzazione dei circuiti fotonici integrati. Una prima caratterizzazione consiste nella misura del profilo di indice di rifrazione che può essere misurato in modo diretto con un profilometro di indice di rifrazione (Rinck Elektronik 2D). Mediante il metodo di rifrazione in campo vicino, il profilometro fornisce la misura del salto d'indice di rifrazione con una precisione di 10^{-4} ed una risoluzione spaziale di $0.5 \mu\text{m}$. La completa caratterizzazione del dispositivo comprende la misura delle perdite di propagazione e l'analisi del profilo del modo guidato per la stima delle perdite di accoppiamento. Nel laboratorio sono presenti laser a lunghezza d'onda diversa: laser a He-Ne (633 e 543 nm), laser a semiconduttore (800 nm, 980 nm e accordabile nell'intervallo $1.46\text{-}1.60 \mu\text{m}$), laser a stato solido (473 nm). Possono essere eseguiti sia l'accoppiamento cosiddetto "butt-coupling", mediante l'avvicinamento in ingresso di una fibra ottica, che l'accoppiamento denominato "end-fire", mediante la focalizzazione del fascio in ingresso con un obiettivo. La birifrangenza delle guide d'onda viene caratterizzata mediante uno specifico set-up che impiega lamine birifrangenti a mezz'onda e a quarto d'onda e polarizzatori. Per caratterizzare lo spettro di trasmissione di accoppiatori direzionali o interferometri Mach-Zehnder è disponibile un analizzatore di spettro ottico.

Per aumentare la robustezza del dispositivo, le fibre ottiche esterne possono essere incollate in modo permanente alle guide d'onda sul substrato. Questo processo denominato "pigtailling" viene effettuato mediante un set-up professionale che permette di avere un accoppiamento fibra ottica – guide d'onda permanente con perdite di 0.5 dB per faccia.

LINEA DI RICERCA AFFERENTE

2 - Laser a stato solido e dispositivi fotonici per sistemi integrati

SITO WEB

http://www.fisi.polimi.it/it/ricerca/strutture_di_ricerca/laboratori/49439

Laboratorio Imaging Spectroscopy for Cultural Heritage (ArtIS)

RESPONSABILI

Gianluca Valentini

Daniela Comelli

ATTIVITÀ SPERIMENTALI

Il laboratorio ArtIS è dedicato allo sviluppo e all'applicazione di metodi innovativi per la diagnostica e la conservazione del patrimonio storico-artistico. Un'importante peculiarità di questo settore di ricerca è la necessità di utilizzare metodi diagnostici non invasivi, preferibilmente applicabili *in-situ*. Questa esigenza ha richiesto lo sviluppo di strumenti diagnostici specifici, basati sull'impiego di radiazione UV-VIS-NIR e X.

L'attività di ricerca richiede inoltre competenze multidisciplinari che, oltre alla fisica e all'ingegneria dei sistemi, riguardano la scienza dei materiali, con specifico riferimento ai materiali utilizzati nella produzione artistica. Queste competenze sono disponibili anche grazie alla perfetta integrazione con l'Unità di Ricerca *Spectroscopy of Cultural Heritage and Materials* dell'Istituto di Fotonica e Nanotecnologie – CNR.

I principali metodi diagnostici sviluppati nel laboratorio riguardano la spettroscopia di fluorescenza per immagini, con misurazione del tempo di vita (Fluorescence Lifetime Imaging - FLIM), l'*imaging* multispettrale di riflettanza/fluorescenza, la spettroscopia Raman e la microfluorimetria. A questi metodi si aggiungono la spettroscopia di fluorescenza X (XRF) e la fluorimetria UV-VIS in continua, che vengono effettuate con strumenti commerciali. Le metodologie diagnostiche vengono applicate allo studio di oggetti artistici seguendo un protocollo che parte dalle tecniche di *imaging*, per individuare le aree di interesse nei campioni, in cui sono presenti, ad esempio, fenomeni di degrado. Su queste aree vengono effettuate ulteriori analisi utilizzando la spettroscopia vibrazionale, la fluorimetria a fibre ottiche o la spettroscopia XRF e, nei rari casi in cui sia possibile prelevare micro campioni, ulteriori indagini su sezioni sottili.

Altre importanti attività di ricerche riguardano lo studio sistematico delle proprietà fotofisiche di pigmenti, leganti e altri materiali di interesse artistico. Questi studi sono determinanti per creare le basi di dati necessarie per riconoscere i principali materiali e i fenomeni di deterioramento in opere artistiche, mediante misure non invasive effettuate *in situ*.

ATTREZZATURE

- **Sistema FLIM** basato su un laser UV e su una camera *gated*. Ha una risoluzione temporale inferiore al nanosecondo, è facilmente trasportabile e può essere impiegato in ambienti museali o in siti di interesse artistico, poiché può operare in condizioni di normale illuminazione. Il sistema permette di discriminare fluorescenze deboli sulla base del diverso tempo di decadimento e genera due mappe: la prima mostra il tempo di vita dell'emissione e consente di distinguere le diverse tipologie di materiali; la seconda fornisce l'ampiezza del segnale e può essere sommariamente associata alla quantità di materiale responsabile dell'emissione.

- **Sistema di *imaging* multispettrale** basato su un filtro a banda spettrale accordabile, costituito da una serie di lamine birifrangenti (Liquid crystal tunable filter). Permette di acquisire spettri di riflettanza diffusa o di fluorescenza per tutti i punti di un'immagine nella banda 400-700 nm. Il *dataset* può essere analizzato con metodi di analisi multivariata per semplificarne la struttura e per ricavare informazioni sui materiali che costituiscono il campione.

- **Sistema Raman *scanning*** che unisce una testa galvanometrica a due assi ad uno spettrometro Raman ad alta risoluzione. Permette di effettuare una sequenza programmata di analisi Raman su un campione esteso, mantenendosi a distanza di sicurezza (30 cm) dal campione.

LINEA DI RICERCA AFFERENTE

3. Fotonica per la salute, l'agroalimentare e i beni culturali

SITO WEB

http://www.fisi.polimi.it/it/ricerca/strutture_di_ricerca/laboratori/49431

Laboratorio Functional Near Infrared Spectroscopy (fNIRS)

RESPONSABILI

Davide Contini

Lorenzo Spinelli (IFN-CNR)

ATTIVITÀ SPERIMENTALI

Il laboratorio si occupa dello sviluppo, della caratterizzazione e dell'applicazione di tecniche fotoniche innovative per l'analisi funzionale del cervello e del muscolo. La spettroscopia funzionale nel vicino infrarosso (*functional near infrared spectroscopy*, fNIRS) è una tecnica non invasiva che utilizza luce diffusa per indagare le funzioni cerebrali e muscolari nell'uomo. Il contenuto informativo di questa tecnica nasce dalle variazioni che avvengono nei parametri ottici delle aree di un organo in cui vi siano variazioni del metabolismo ossidativo dell'ossigeno. La tecnica fNIRS utilizza radiazione ottica nell'intervallo 600-1000 nm in cui l'attenuazione dovuta ai costituenti del tessuto (quali acqua, lipidi, emoglobina ossigenata e deossigenata) è relativamente bassa e tale da permettere di sondare i tessuti in profondità per alcuni centimetri. La tecnica fNIRS permette il monitoraggio delle variazioni delle concentrazioni locali di HHb e O₂Hb indotte dall'attività cerebrale e muscolare, senza le problematiche intrinseche all'uso, ad esempio, delle tradizionali tecniche di Risonanza Magnetica Funzionale (fMRI). Infatti, sebbene sia non invasiva, la tecnica fMRI presenta alcuni svantaggi, legati a: costo elevato, scarsa maneggevolezza, sensibilità a artefatti dovuti al movimento, spazio ridotto in cui è confinato il paziente durante l'esperimento ecc. La tecnica fNIRS può quindi rivelarsi un'interessante alternativa in quanto può essere utilizzata in un ambiente naturale, presso il letto del paziente, su soggetti non collaborativi (es. bambini) e per lo studio di compiti che richiedono, ad esempio, un'attività motoria e/o cognitiva esplicita. In particolare il laboratorio impiega la tecnica NIRS risolta nel tempo (*time resolved*, TR). I vantaggi chiave della spettroscopia NIRS-TR sono: la naturale discriminazione tra i coefficienti di assorbimento e scattering, l'aumento della profondità di penetrazione e della risoluzione spaziale rispetto alle altre tecniche ottiche, la possibilità di valutare quantitativamente il contributo del tessuto cerebrale sfruttando l'informazione intrinsecamente codificata nel tempo di volo dei fotoni misurati.

ATTREZZATURE

Il laboratorio è dotato di due prototipi per la misura e il monitoraggio della funzionalità cerebrale e muscolare più una *workstation* per lo studio di nuove soluzioni strumentali. Il primo prototipo, già impiegato come dispositivo medico per sperimentazioni cliniche con l'autorizzazione del Ministero della Salute Italiano, rappresenta la prima generazione di strumentazione fNIRS nel dominio del tempo del laboratorio, basata su laser a semiconduttore come sorgenti e fotomoltiplicatori multi-anodo come rivelatori. Questo strumento opera a due lunghezze d'onda (intorno a 690nm e 820nm), possiede 16 canali indipendenti di iniezione della luce sul campione e 16 canali indipendenti di ricezione del segnale, permettendo quindi la realizzazione di una mappa, in tempo reale, dell'attività muscolare e cerebrale su di un'area estesa. Il secondo prototipo rappresenta la seconda generazione di strumentazione fNIRS nel dominio del tempo del laboratorio, basata su laser a semiconduttore come sorgenti e rivelatori ibridi (fotocatodo più sensore a stato solido). Questo strumento opera a due lunghezze d'onda (intorno a 690nm e 820nm), possiede 16 canali indipendenti di iniezione e 8 canali indipendenti di ricezione. Le ridotte capacità di *imaging* sono compensate da un migliore rapporto segnale rumore, una migliore ricezione dei disturbi, una migliore dinamica ed una migliore risoluzione temporale. La *workstation* con 2 canali di iniezione e 2 di rivelazione rappresenta una piattaforma aperta e adattabile all'uso di diverse tecnologie.

LINEA DI RICERCA AFFERENTE

RL3 - Fotonica per la salute, l'alimentazione e i beni culturali

SITO WEB

http://www.fisi.polimi.it/it/ricerca/strutture_di_ricerca/laboratori/49447

Laboratorio Phantom

RESPONSABILE/I

Rinaldo Cubeddu

Alessandro Torricelli

ATTIVITÀ SPERIMENTALI

(descrizione)

Il laboratorio sviluppa fantocci solidi (phantom) come modelli di riferimento per caratterizzare la propagazione della luce in tessuti umani. I materiali utilizzati sono resina epossilica e silicone, entrambi a due componenti (base e indurente). I materiali costituenti si presentano in fase liquida e a seguito della miscela di base e indurente e trattamento in forno per favorirne la reazione chimica, diventano materiali solidi. La resina epossilica presenta una maggiore durezza ed è successivamente lavorabile a macchina per ottenere le strutture desiderate. Il silicone risulta più elastico e grazie alla scarsa aderenza alle superfici di altri materiali si presta ad effettuare forme anche complesse da calchi. Miscelando in quantità opportune ossido di Titanio (TiO_2) ai materiali in fase liquida è possibile ottenere il coefficiente di scattering ridotto desiderato. Il coefficiente di assorbimento è ottenuto aggiungendo toner premiscelato nell'indurente alla resina epossilica mentre per il silicone si utilizzano piccole quantità di base di silicone nero fornito dalla ditta produttrice. Con la resina epossilica sono stati realizzati phantom solidi per la calibrazione di strumenti con coefficienti di scattering variabili tra $2,5 \text{ cm}^{-1}$ e 20 cm^{-1} con passi da $2,5 \text{ cm}^{-1}$ e coefficienti di assorbimento tra 0 e $0,5 \text{ cm}^{-1}$ con passi da $0,1 \text{ cm}^{-1}$. E' stato inoltre realizzato un phantom dinamico costituito da una base ospite nella quale è stato praticato un foro cilindrico. E' stato poi costruito un cilindro con le stesse proprietà ottiche della base al cui interno è stato inglobato un piccolo cilindro di PVC nero per simulare una piccola perturbazione. Il cilindro è stato poi inserito nella base e collegato ad un attuatore lineare con motore passo passo. In tal modo, mantenendo fissa la posizione delle fibre di misura (lancio e ricezione) sulla superficie della base, viene ottenuta una variazione dinamica delle proprietà ottiche, simulando ad esempio l'attivazione cerebrale a fronte dell'esecuzione di un esercizio. Con il silicone sono stati realizzati phantom di varie forme quali strati rettangolari di diversi spessori e proprietà ottiche per simulare tessuti multi strati e strutture di forma simile ad esempio della mammella compressa nella radiografia costituita in due parti disegnate in modo che al loro interno fosse possibile collocare piccole inclusioni con proprietà ottiche diverse per simulare patologie della mammella. Per applicazioni su sistemi biologici modello è stato realizzato il simulacro di un topo. Inoltre è iniziata la realizzazione di calchi mediante tecniche di stampa 3D.

ATTREZZATURE

(descrivere le principali attrezzature)

Il laboratorio non necessita di molta strumentazione, tuttavia per migliorare la sicurezza chimica è installata una cappa aspirante per la preparazione delle miscele di resina epossilica. E' inoltre presente un forno ventilato con controllo di temperatura e un emulsionatore ad alta velocità (10000-14000 giri/min). Per eliminare le bolle d'aria dalle miscele è stata realizzata una campana a vuoto con pompa rotativa operante fino alla pressione di 10 mbar.

LINEA DI RICERCA AFFERENTE

3. Fotonica per la salute, l'alimentazione e i beni culturali

SITO WEB

http://www.fisi.polimi.it/it/ricerca/strutture_di_ricerca/attivita/49533

Laboratorio Diffuse Optical Spectroscopy (DOS)

RESPONSABILI

Antonio Pifferi

Andrea Farina (IFN-CNR)

ATTIVITÀ SPERIMENTALI

Il laboratorio si occupa dello sviluppo, caratterizzazione e applicazione di tecniche fotoniche innovative per la spettroscopia ottica di materiali fortemente diffondenti (es. tessuti biologici). In particolare, lo studio della propagazione di impulsi laser all'interno del materiale consente di ricavare lo spettro di assorbimento e di scattering del mezzo in esame a profondità di alcuni cm dalla superficie. La tecnica si basa sull'impiego di sorgenti laser impulsate (durata al ps), accordabili in lunghezza d'onda, e sistemi di rivelazione a conteggio di singolo fotone correlato nel tempo. Con questa metodica sono state effettuate diverse misure non-distruttive su materiali diffondenti, in molti casi ottenendo i primi risultati assoluti a livello mondiale. Come esempio: 1) spettri di assorbimento e scattering di tessuti biologici (in particolare la mammella per la diagnosi del tumore al seno) nella regione spettrale 600-1100 nm; 2) spettri di campioni di legno normale, trattato a fini industriali, legno archeologico (es. campioni del vascello Vasa) dimostrando la capacità di monitorare l'uptake di consolidanti; 3) misure su random media (es. Materiali ceramici micro/nano strutturati,); 4) caratterizzazione di assorbitori nella regione estesa da 600 a 1300 nm (es. Collagene, potenziale fattore di rischio coinvolto nell'insorgenza del tumore al seno); 4) caratterizzazione con elevata accuratezza di materiali tessuto-equivalente da utilizzare in standard scientifici ed industriali; 5) proposta di protocolli per la valutazione oggettiva delle prestazioni di strumenti in ottica diffusa (attività che ha consentito di coordinare diversi laboratori a livello mondiale).

ATTREZZATURE

Sono state realizzate due strumentazioni avanzate per spettroscopia broadband risolta nel tempo. La prima è uno spettrometro per ottica diffusa tempo-risolta con copertura spettrale nella regione 600-1700 nm, risoluzione temporale <100 ps, sensibilità al singolo fotone, scansione continua ed automatica della lunghezza d'onda. Come sorgente di iniezione di elezione viene utilizzata la generazione di supercontinuo tramite fibra a cristallo fotonico, utilizzando per la selezione spettrale tecniche di filtraggio dedicate che migliorano notevolmente le prestazioni rispetto all'utilizzo di sistemi commerciali (es. modulatore acusto-ottico). A livello di rivelazione sono disponibili diverse soluzioni basate su fotomoltiplicatori raffreddati a micro channel plate, rivelatori ibridi compatti, rivelatori Single Photon Avalanche Diode, rivelatori in InGaAs per l'estensione spettrale fino a 1700 nm. L'interpretazione delle misure sperimentali è effettuata tramite modelli teorici di propagazione, basati su soluzioni analitiche in approssimazione di Diffusione o direttamente in ambito di Teoria del Trasporto Radiativo, piuttosto che di codici numerici Monte Carlo. Il sistema è estremamente versatile, al fine di adattarsi alle esigenze degli utilizzatori (spesso provenienti da laboratori esteri nell'ambito del programma di accesso a grandi infrastrutture di ricerca LaserLabEurope). Un secondo sistema è costituito da uno spettrometro diffuso tempo-risolto compatto realizzato su rack 19" montato su ruote (dimensioni: 60x80x150 cm3). Lo schema realizzativo è simile al precedente sistema di laboratorio, con minore versatilità nell'adattamento del set-up sperimentale per poter far fronte alla portabilità e compattezza dello strumento, disegnato per poter operare anche al di fuori del laboratorio ed in particolare in ambiente clinico. La misura e l'analisi sono automatizzate con tempi per spettro di 10 minuti. Il sistema è stato già validato in utilizzo clinico presso ospedali e centri di ricerca esteri.

LINEA DI RICERCA AFFERENTE

3. Fotonica per la salute, l'agroalimentare e i beni culturali

SITO WEB

http://www.fisi.polimi.it/it/ricerca/strutture_di_ricerca/attivita/49533

Laboratorio Gated photon counting (GAP)

RESPONSABILE

Alberto Dalla Mora

ATTIVITÀ SPERIMENTALI

Il laboratorio si occupa dello sviluppo e dell'applicazione di nuovi sistemi di misura basati su tecniche di conteggio di singoli fotoni correlati nel tempo (time-correlated single-photon counting, TCSPC) con rivelatori in regime di abilitazione ultra-veloce (tempo di accensione <200ps) che permettono l'aumento di diversi ordini di grandezza della dinamica di misura rispetto a rivelatori tradizionali non time-gated. La dinamica gioca un ruolo fondamentale nell'estrazione dell'informazione in diversi campi applicativi essendo legata al rapporto tra il massimo segnale misurabile (limitato dalla saturazione della catena di rivelazione) e il minimo (legato alla sensibilità del sistema e al fondo di rumore). L'idea sostanziale è quella di acquisire la forma d'onda di impulsi ottici dell'ordine dei nanosecondi in diverse finestre temporali, regolando in ciascuna la quantità di luce iniettata sul rivelatore tramite un attenuatore variabile calibrato per mantenere un tasso di conteggio di fotoni pressoché costante in ogni intervallo. Successivamente è possibile ricostruire la forma d'onda di interesse normalizzando ogni parte di impulso acquisita per l'attenuazione introdotta, ottenendo in pochi secondi dinamiche temporali che un rivelatore non time-gated potrebbe raggiungere solo con tempi di misura lunghissimi (anni) e pertanto irrealizzabili.

Grazie all'uso dei rivelatori abilitabili e della tecnica sviluppata, il laboratorio ha aperto la strada a vari studi nell'ambito dell'ottica diffusa nel dominio del tempo con misure in riflettanza a distanza piccola (o nulla) tra sorgente e rivelatore. In tale configurazione, rispetto a misure a grande distanza, si ha un aumento della risoluzione spaziale, del contrasto e della sensibilità dello strumento di misura, nonché la possibilità di realizzare strumenti con una densa distribuzione di punti di iniezione e raccolta per massimizzare l'informazione estraibile dall'analisi del mezzo diffondente. L'unico modo per utilizzare l'approccio di misura a piccola distanza è appunto l'uso di rivelatori abilitabili velocemente per evitare la saturazione della catena di rivelazione a causa dei fotoni poco diffusi che giungono al rivelatore subito dopo l'iniezione del laser nel mezzo, di diversi ordini di grandezza più numerosi di quelli utili che giungono al rivelatore a distanza di qualche nanosecondo dai primi e che sono scesi in profondità nel mezzo diffondente.

L'attività del laboratorio è quindi indirizzata sia verso la realizzazione di nuovi strumenti per ottica diffusa, sia verso dell'applicazione delle tecniche di misura a piccola distanza sorgente-rivelatore a nuove problematiche scientifiche anche in collaborazione con diversi centri di ricerca nazionali e internazionali.

ATTREZZATURE

Il laboratorio è dotato di due prototipi di moduli di rivelazione di singoli fotoni basati su rivelatori microelettronici in silicio (single-photon avalanche diode, SPAD) in regime di abilitazione ultraveloce per misure nell'intervallo spettrale 400-1100 nm. Tali rivelatori sono abilitabili in 200ps e consentono di ottenere dinamiche di misura di impulsi ottici fino a 8 decadi. Il laboratorio è anche dotato di un prototipo compatto per misure di riflettanza diffusa risolta in tempo con sorgenti impulsive e rivelatori risolti in tempo direttamente integrati nella sonda a contatto con il campione da misurare. Tale strumento, a basso costo e altamente scalabile consente l'apertura verso una nuova generazione di strumenti per ottica diffusa tracciando una importante linea di indirizzo per la ricerca nel settore per i prossimi anni in direzione di strumenti compatti, portatili e ad elevata densità di punti di misura. Completa la dotazione un laser a four-wave-mixing per generazione di impulsi a 750nm e 820nm (durata <50 ps, potenza media 100 mW, frequenza di ripetizione 40 MHz).

LINEA DI RICERCA AFFERENTE

RL3 - Fotonica per la salute, l'agroalimentare e i beni culturali

SITO WEB

http://www.fisi.polimi.it/it/ricerca/strutture_di_ricerca/laboratori/50530

Laboratorio Photonics for Food (PHOOD)

RESPONSABILI

Alessandro Torricelli
Lorenzo Spinelli (IFN-CNR)

ATTIVITÀ SPERIMENTALI

Il laboratorio si occupa dello sviluppo, della caratterizzazione e dell'applicazione di tecniche fotoniche innovative per la valutazione non distruttiva della qualità dei prodotti agroalimentari.

In particolare la tecnica di spettroscopia di riflettanza risolta nel tempo (time-resolved reflectance spectroscopy, TRS) è applicata con il fine di determinare in modo non invasivo le proprietà ottiche di diversi frutti (es. mele, pesche, kiwi, meloni) e ortaggi (es. patate, pomodori). La tecnica TRS consiste nella determinazione del ritardo, dell'attenuazione e dell'allargamento temporale subiti da un breve (durata < 100 ps) impulso ottico che si propaga in un mezzo torbido quale un tessuto biologico o la polpa di un frutto. L'iniezione e la raccolta dell'impulso ottico avvengono tipicamente mediante una coppia di fibre ottiche posizionate sulla superficie del mezzo da analizzare, separate da una distanza dell'ordine di 1-2 cm. E' così possibile ricavare il valore del coefficiente di assorbimento e del coefficiente di diffusione. I vantaggi principali della tecnica TRS applicata alla caratterizzazione ottica degli ortofrutticoli derivano dal fatto che la tecnica TRS è non distruttiva, non è influenzata dal colore della buccia, e penetra nella polpa per più di 1 centimetro.

E' stato dimostrato che i parametri ottici (coefficiente di assorbimento e coefficiente di diffusione) ottenuti con la tecnica TRS contengono informazioni utili per la stima della qualità interna degli ortofrutticoli. I dati raccolti su mele, pesche, kiwi e pomodori nella regione spettrale del visibile e del vicino infrarosso (600-1000 nm) mostrano che la tecnica TRS, affiancata da opportuni modelli di analisi statistica dei dati, fornisce risultati incoraggianti per la predizione della firmness, del brix e dell'acidità, e infine fornisce la possibilità di correlare le informazioni ottiche alle caratteristiche chimico-fisiche del frutto (es. contenuto di acqua, clorofilla, carotenoidi; consistenza della struttura interna). E' stato inoltre dimostrato che la tecnica TRS è utile per l'individuazione non distruttiva di difetti interni (es. farinosità, danni da freddo, imbrunimenti) nei prodotti ortofrutticoli. Altrettanto positiva è l'applicazione della tecnica TRS per monitorare e prevedere i cambiamenti nei parametri ottici degli ortofrutticoli durante conservazione a scaffale.

ATTREZZATURE

Il laboratorio è dotato di due prototipi TRS per la misura delle proprietà ottiche dei prodotti agroalimentari. Un prototipo trasportabile per misure TRS a molte lunghezze d'onda nell'intervallo spettrale 500-1100 nm. Tale strumento è basato su un laser in fibra a cristallo fotonico per generazione di impulsi di luce bianca (durata < 10 ps, potenza media 1 mW/nm, frequenza di ripetizione 40 MHz), su un sistema di ruote a filtri interferenziali per la selezione della lunghezza d'onda, su un fotorivelatore a stato solido con risposta spettrale fino a 1100 nm e ridotta dispersione temporale, su una scheda per acquisizione con tecnica di conteggio di singolo fotone correlato nel tempo (TCSPC) integrabile su personal computer.

Un prototipo compatto e portatile per misure TRS a singole lunghezze d'onda (670 nm, 780 nm). Tale strumento è basato su laser a semiconduttore impulsati (durata degli impulsi 100 ps, potenza media 1 mW, frequenza di ripetizione 80 MHz), accoppiatori e divisori di fascio in fibra ottica, fotorivelatore compatto e una scheda per acquisizione con tecnica TCSPC integrabile su personal computer. Le dimensioni contenute, la presenza di filtri interferenziali per eliminare il disturbo della luce ambiente e la possibilità di operare alimentato da un generatore elettrico portatile permettono al sistema di operare per misure in campo.

LINEA DI RICERCA AFFERENTE

3. Fotonica per la salute, l'agroalimentare e i beni culturali

SITO WEB

http://www.fisi.polimi.it/it/ricerca/strutture_di_ricerca/laboratori/50526

Laboratorio Fluorescence spectroscopy (FLUO)

RESPONSABILI

Paola Taroni
Cosimo D'Andrea

ATTIVITÀ SPERIMENTALI

Nel laboratorio vengono effettuati studi di spettroscopia e di imaging di fluorescenza nel dominio del tempo. Le vite medie di fluorescenza sono particolarmente sensibili all'ambiente, al sito e tipo di legame del fluoroforo e forniscono quindi maggiori informazioni del semplice spettro di fluorescenza acquisito in stato stazionario. In particolare, spettri di fluorescenza "gated" (ottenuti raccogliendo solo i fotoni emessi in una precisa finestra temporale o, analogamente, immagini di fluorescenza "gated" possono essere acquisiti in modo da evidenziare il contributo alla fluorescenza dato da una particolare specie e forniscono quindi un efficace e rapido metodo di caratterizzazione.

La disponibilità di varie sorgenti di eccitazione impulsate consente di coprire un elevato intervallo spettrale (dall'UV al NIR). E' possibile effettuare misure sia su soluzioni che su campioni solidi, macroscopici e microscopici (sezioni sottili, singole cellule, ecc.). Per quanto riguarda la spettroscopia di fluorescenza nel dominio del tempo, sono disponibili due diversi allestimenti per la misura dell'andamento temporale del decadimento della fluorescenza. In un caso, viene eseguita la scansione delle lunghezze d'onda rivelate e le curve di decadimento della fluorescenza vengono acquisite successivamente alle varie lunghezze d'onda di interesse. Quando è importante garantire un'acquisizione veloce sull'intero spettro, è invece possibile adottare un'acquisizione parallela, operando simultaneamente a 16 lunghezze d'onda.

L'imaging delle vite medie di fluorescenza (Fluorescence Lifetime Imaging, FLIM) può essere eseguito con due diverse strumentazioni, ottimizzate per l'acquisizione su scale temporali rispettivamente a nanosecondi e a picosecondi.

Spettroscopia ed imaging di fluorescenza nel dominio del tempo sono utilizzati soprattutto per la caratterizzazione di fluorofori endogeni (es. lipofuscina nell'epitelio pigmentato della retina) ed esogeni (ad es. marcatori del DNA) di interesse in campo biomedico. Sono comunque stati efficacemente utilizzati anche in altri campi (come la caratterizzazione delle proprietà di luminescenza di nanocristalli di silicio).

ATTREZZATURE

L'eccitazione della fluorescenza è ottenuta mediante un laser in fibra a cristallo fotonico per generazione di impulsi di luce bianca (450-1600 nm, durata <10 ps, potenza media 1 mW/nm, frequenza di ripetizione 2-80 MHz), sorgenti laser a ioni (Argon, Krypton) funzionanti in regime di mode-locking, con emissione nell'ultravioletto e nel visibile, e un laser a Titanio in Zaffiro funzionante in regime di self-locking, con emissione nel visibile o nel vicino infrarosso. Inoltre, mediante generazione di seconda e terza armonica, possono essere prodotti impulsi UVA e UVB.

In entrambi i sistemi per spettroscopia la rivelazione dell'andamento temporale del decadimento della fluorescenza si basa sul conteggio dei singoli fotoni correlati nel tempo. Il sistema in scansione utilizza un fotomoltiplicatore a microchannel plate e un doppio monoscromatore e garantisce complessivamente una risoluzione temporale di circa 50 ps e spettrale di circa 1 nm. Per l'acquisizione parallela, si utilizza invece un fotomoltiplicatore multianodo a 16 canali, ottenendo una risoluzione temporale complessiva di circa 200 ps e spettrale di circa 10 nm. I due allestimenti per la FLIM si basano entrambi su telecamere a CCD intensificate con risoluzione rispettivamente di 50 ps e <1 ns. Sono inoltre disponibili microscopi per fluorescenza in epi-illuminazione e sistemi di termostatazione del campione.

LINEA DI RICERCA AFFERENTE

3. Fotonica per la salute, l'agroalimentare e i beni culturali

SITO WEB

http://www.fisi.polimi.it/it/ricerca/strutture_di_ricerca/laboratori/49430

Laboratorio Optical Mammography (MAMMOT)

RESPONSABILE

Paola Taroni

ATTIVITÀ SPERIMENTALI

Il laboratorio è dedicato a sviluppo e all'applicazione (anche clinica) di strumentazione fotonica innovativa nel settore della mammografia ottica.

La tecnica di spettroscopia di trasmittanza risolta nel tempo (time-resolved transmittance spectroscopy, TRS) consente di determinare in modo non invasivo le proprietà ottiche dei tessuti biologici *in vivo*. In particolare, la tecnica consente di valutare le proprietà ottiche (cioè i coefficienti di assorbimento e di diffusione) di un mezzo torbido, quale un tessuto biologico, misurando il ritardo, l'attenuazione e l'allargamento temporale subiti da un breve impulso ottico (durata dell'ordine dei 100 ps), che si propaga nel mezzo. Dalle proprietà ottiche è poi possibile ricavare informazioni sulla composizione del tessuto (concentrazione di acqua, lipidi e collagene), su parametri fisiologici (contenuto totale di emoglobina e suo livello di ossigenazione) e sulla struttura microscopica del tessuto.

La tecnica offre numerosi vantaggi per applicazioni di diagnostica clinica: è assolutamente non invasiva, i risultati sono indipendenti dall'operatore e i costi di gestione e la complessità sono sicuramente competitivi rispetto a tecniche comunemente utilizzate. Risultati promettenti sono stati ottenuti in particolare nella stima della densità del tessuto mammario (importante fattore di rischio per il cancro della mammella) e nella discriminazione tra lesioni maligne e benigne della mammella.

ATTREZZATURE

Il laboratorio è dotato di un prototipo TRS, trasportabile ed adatto all'uso in ambito clinico (dove è già stato utilizzato in uno studio su più di 200 pazienti).

Il prototipo è uno strumento per mammografia ottica, con prestazioni uniche in ambito internazionale. Opera infatti a 7 lunghezze d'onda nell'intervallo 635-1060 nm, sulla mammella moderatamente compressa (in una geometria simile a quella utilizzata dalla convenzionale mammografia x). Gli impulsi emessi da 7 laser a semiconduttore impulsati (durata degli impulsi 100-700 ps, potenza media < 5 mW, frequenza di ripetizione 20 MHz), dopo un multiplexing temporale, vengono accoppiati ad una singola fibra ottica ed iniettati nel tessuto. Gli impulsi trasmessi attraverso il tessuto vengono raccolti con un bundle di fibre ottiche biforcuto, che consente di definire cammini di rivelazione indipendenti per le lunghezze d'onda rispettivamente <800 nm e >800 nm. Si utilizzano quindi due rivelatori (con risposta spettrale ottimizzata) e due schede per acquisizione con tecnica TCSPC. L'intensità della luce viene ottimizzata separatamente ad ogni lunghezza d'onda in modo da garantire le migliori condizioni di misura su tutto l'intervallo spettrale. Fibra di iniezione e bundle di raccolta della luce trasmessa compiono in tandem una scansione (raster scan) dell'intera mammella, acquisendo dati in modo continuo (20 ms/mm). Dall'interpretazione delle misure con modelli derivati dalla teoria della diffusione si ricostruiscono poi mappe in proiezione sia delle proprietà ottiche che della composizione del tessuto.

LINEA DI RICERCA AFFERENTE

3. Fotonica per la salute, l'agroalimentare e i beni culturali

SITO WEB

http://www.fisi.polimi.it/it/ricerca/strutture_di_ricerca/attivita/49534

Laboratorio Fast Fluorescence Molecular Tomography (fastFMT)

RESPONSABILI

Cosimo D'Andrea

Andrea Farina (IFN-CNR)

ATTIVITÀ SPERIMENTALI

Il laboratorio si occupa principalmente dello sviluppo di tecniche innovative di *molecular imaging* per la localizzazione e quantificazione di eventi molecolari di fluorescenza *in vivo*. In particolare le tecniche sviluppate puntano a una compressione dei dati preservando il loro contenuto informativo. La compressione del *data set* porta a una riduzione dei tempi di acquisizione ed elaborazione per la ricostruzione dei parametri ottici, fornendo un contributo fondamentale per l'applicazione *in-vivo* di tali tecniche. Si esegue la compressione utilizzando pattern sia in fase d'illuminazione sia in fase di acquisizione delle immagini in uscita dal campione. Quest'ultima viene eseguita tramite l'applicazione delle tecniche di *compressive sensing* quali ad esempio quella della *single pixel camera*. Essendo il tessuto biologico altamente diffondente, un numero limitato di pattern di illuminazione e raccolta è sufficiente per l'acquisizione dell'intero contenuto informativo. L'utilizzo di luce strutturata permette di inviare la luce su aree estese con potenze ottiche maggiori rispetto ad un approccio d'illuminazione puntuale in scansione, pur mantenendo la densità di potenza sotto ai limiti consentiti.

Particolare attenzione è rivolta all'utilizzo delle tecniche risolte in tempo che permettono di caratterizzare separatamente i parametri di assorbimento e diffusione in un campione altamente diffondente quale i tessuti biologici. La misura permette, inoltre, di misurare i tempi di vita di fluorescenza dei cromofori, ottenendo informazioni funzionali legate al suo microambiente. Lo sviluppo di queste tecniche di *compressive sensing* ha come scopo principale quello dell'imaging tomografico di piccoli animali. Vengono inoltre studiate applicazioni su uomo principalmente in geometria di riflettanza.

ATTREZZATURE

Il laboratorio è dotato di un sistema che permette di eseguire tomografia ottica di fluorescenza (FMT) e tomografia ottica di diffusione (DOT). Tramite un sistema ottico basato su un *Digital Micromirror Device* (DMD) è possibile illuminare il campione con un generico pattern spaziale. La raccolta del segnale in uscita può essere eseguita tramite una CCD a 16 bit raffreddata a -40 °C oppure tramite una *single pixel camera* risolta in tempo basata sulla tecnica di conteggio di singolo fotone correlato nel tempo (TCSPC). Quest'ultima utilizza un secondo DMD e un rivelatore puntuale (SPAD o PMT) con risoluzione ai picosecondi. Il campione è posizionato su un rotatore motorizzato al fine di poter eseguire le misure per differenti viste. Tramite opportuni filtri ottici è possibile eseguire misure di FMT oppure di DOT. E' stato inoltre sviluppato un software che controlla tutta la strumentazione con lo scopo di effettuare le acquisizioni automaticamente.

LINEA DI RICERCA AFFERENTE

3. Fotonica per la salute, l'agroalimentare e i beni culturali

SITO WEB

https://www.fisi.polimi.it/it/ricerca/strutture_di_ricerca/laboratori/50522

Laboratorio Optical Projection Tomography (OPT)

RESPONSABILI

Gianluca Valentini

Andrea Bassi

ATTIVITÀ SPERIMENTALI

Il laboratorio OPT è dedicato alla realizzazione, alla messa a punto e all'applicazione di tecniche di *imaging* tridimensionale di campioni biologici, in particolare: tomografia ottica (OPT) e microscopia a foglietto di luce (LSM).

Seguendo un principio simile a quello della tomografia assiale computerizzata, la tomografia ottica permette la ricostruzione tridimensionale di campioni traslucidi mediante la misurazione della luce trasmessa attraverso il campione in diverse direzioni. La microscopia di fluorescenza a foglietto di luce è una tecnica complementare che permette di sezionare otticamente un campione, illuminandolo in un singolo piano e osservando la fluorescenza emessa perpendicolarmente al piano di eccitazione. Le tecniche OPT e SPIM sono state integrate per ottenere con un unico strumento la ricostruzione di una mappa 3D del campione, sia morfologica, tramite luce trasmetta, che funzionale, mediante l'emissione di fluorescenza.

Queste tecniche permettono la visualizzazione, a risoluzione cellulare di campioni biologici di dimensione millimetrica, come embrioni o interi organi murini.

Lo scopo del laboratorio è di realizzare di metodi innovativi per la visualizzazione di campioni biologici basati su OPT e LSM. In quest'ambito, il laboratorio ha sviluppato nuovi metodi di contrasto che includono l'individuazione del movimento di cellule nel sistema vascolare e la misura della birifrangenza del campione. E' stato inoltre possibile ridurre l'effetto di diffusione della luce, selezionando i fotoni balistici (cioè quelli che hanno subito pochi eventi di diffusione) che attraversano il campione, mediante una finestratura temporale ottica (*optical gating*).

Inoltre, il laboratorio si occupa della realizzazione di strumenti di OPT e LSM che sono utilizzati in diversi centri di biofisica e biologia, nazionali e internazionali. La strumentazione sviluppata è utilizzata nel campo della biologia dello sviluppo (per la visualizzazione di *Danio rerio* e *Arabidopsis thaliana*, in collaborazione con il dipartimento di Biologia dell'Università di Milano e con l'Istituto Max Planck di Dresda) e per lo studio di tessuti fissati di interesse nelle neuroscienze e in oncologia (presso l'Istituto di ricerche farmacologiche Mario Negri).

ATTREZZATURE

Sistema di tomografia ottica integrato con microscopio a foglietto di luce multispettrale (con laser di eccitazione a 480nm, 532nm, 650nm) per analisi di campioni fissati.

Sistemi di tomografia ottica di campioni diffondenti, basato sulla selezione di fotoni balistici tramite finestratura temporale (*optical gating*).

Microscopio a foglietto di luce (*Light-Sheet Microscope*) per imaging in vivo di tessuti biologici e analisi di concentrazione di ione calcio, basata su trasferimento di energia risonante (*FRET*).

LINEA DI RICERCA AFFERENTE

3 - Fotonica per la salute, l'agroalimentare e i beni culturali

SITO WEB

https://www.fisi.polimi.it/it/ricerca/strutture_di_ricerca/laboratori/50528

Laboratorio Versatile Electron Spectroscopy Instrumentation (VESI)

RESPONSABILI

Lamberto Duò
Gianlorenzo Bussetti

ATTIVITÀ SPERIMENTALI

In questo laboratorio vengono effettuati esperimenti di spettroscopia elettronica, in particolare spettroscopia di fotoemissione con raggi x (per lo studio della chimica del campione e dei livelli elettronici profondi), spettroscopia di fotoemissione con raggi ultravioletti (studio della banda di valenza dei solidi) e spettroscopia di fotoemissione inversa (studio dei livelli elettronici non occupati), tutte anche con risoluzione di spin. Le attività sperimentali comprendono:

- Studio di materiali magnetici per applicazioni nel campo della microelettronica, ed in particolare nella elettronica di spin:
 - crescita e caratterizzazione di film di metalli di transizione su substrati cristallini di materiali refrattari (tungsteno, iridio). Lo scopo dell'attività è il comportamento magnetico di strati sottili in funzione di temperatura, struttura cristallografica e presenza di adsorbati.
 - Crescita e caratterizzazione di film di ossidi di metalli di transizione che presentano comportamento ferromagnetico o antiferromagnetico.
- Crescita e caratterizzazione di ossidi non magnetici (es. ossido di titanio) e studio dell'interazione con molecole organiche e gas per impieghi nel campo della catalisi e del fotovoltaico.
- Caratterizzazione chimico-fisica di strati sottili di materiali polimerici e composti polimero-molecolari per impieghi nella elettronica organica e nel fotovoltaico.

L'attività di ricerca si avvale anche di collaborazioni con laboratori esterni, in particolare quelli di luce di sincrotrone (Elettra, ERSF) e del Center for Nano Science and Technology dell'IIT.

ATTREZZATURE

Il laboratorio dispone di un sistema da ultra alto vuoto (pressioni nell'ordine di 10^{-8} Pa) per la crescita e caratterizzazione di campioni organici e inorganici tramite spettroscopie elettroniche.

L'apparato di crescita comprende evaporatori a fascio elettronico e celle di effusione assieme a valvole di precisione per l'immissione controllata di gas (es. ossigeno) durante la crescita dei campioni.

La camera di crescita è equipaggiata di un cannone a ioni (Ar^+) e di un riscaldatore per raggiungere temperature fino a 2300 K.

Un apparato per la diffrazione di elettroni (LEED – Low Energy Electron Diffraction) permette l'analisi strutturale dei campioni, mentre la caratterizzazione elettronica è effettuata tramite fotoemissione.

L'apparato per le misure di fotoemissione comprende: (i) una sorgente di raggi X a doppio anodo (eccitazione delle transizioni $\text{Mg K}\alpha$ e $\text{Al K}\alpha$); (ii) una sorgente UV di tipo duoplasmatron (eccitazione delle transizioni He I e He II); (iii) un analizzatore elettronico di tipo emisferico con diametro 150 mm e prodotto da SPECS GmbH, equipaggiato con un rivelatore multicanale in grado di determinare lo spin degli elettroni tramite diffrazione di Mott da un bersaglio di torio.

E' disponibile inoltre un apparato per misure di fotoemissione inversa che comprende: (i) una sorgente di elettroni polarizzati in spin tramite fotoemissione da un catodo di arseniuro di gallio; (ii) un cannone elettronico; (iii) un rivelatore di fotoni con banda passante centrata a 9.8 eV.

LINEA DI RICERCA AFFERENTE

4. Crescita epitassiale e fabbricazione di nanostrutture

SITO WEB

https://www.fisi.polimi.it/it/ricerca/strutture_di_ricerca/laboratori/49432

Laboratorio Scanning Tunneling Microscopy (STM)

RESPONSABILE

Alberto Brambilla

ATTIVITÀ SPERIMENTALI

L'attività principale del laboratorio di Microscopia a Scansione a Effetto Tunnel consiste nella realizzazione e nello studio di strutture nanometriche supportate da cristalli metallici. Tipicamente, i sistemi fisici studiati (e i materiali che li compongono) sono di potenziale interesse per lo sviluppo di dispositivi elettronici o spintronici.

Tra i progetti di ricerca attualmente seguiti in laboratorio, si segnalano in particolare i seguenti.

- Ossidi magnetici nanostrutturati

Gli ossidi in forma di film sottile hanno un diffuso utilizzo nella scienza e nella tecnologia dei materiali. Sono infatti impiegati, per citare alcuni esempi generali, come dielettrici e come strati di barriera per effetto tunnel in numerosi dispositivi elettronici, come rivestimenti funzionali di vario genere, come dielettrici in sensori di gas, come strati resistenti alla corrosione, come superfici di supporto nel campo della catalisi eterogenea. In studi scientifici di tipo fondamentale, i film sottili di ossidi sono sistemi modello per lo studio delle superfici di tali materiali, in particolare quando cresciuti su substrati metallici.

L'attività di ricerca si è in particolare concentrata nello studio dei primi stadi di formazione di film di ossidi magnetici (per esempio NiO e CoO) su substrati ferromagnetici.

- Elettronica organica

Una sfida importante per la cosiddetta elettronica molecolare è quella di sviluppare dispositivi logici basati su un meccanismo di commutazione che sia veramente intramolecolare. Recentemente, è stato proposto un nuovo tipo di dispositivo molecolare in cui la caratteristica di commutazione è data dalla bistabilità nella posizione dei due atomi di idrogeno (tautomerizzazione) all'interno di porfirine e ftalocianine. Fino ad oggi, tale reazione è stata sfruttata solo a basse temperature e indotta o rilevata attraverso la manipolazione su scala atomica.

Lo studio di sistemi molecolari autoassemblati (singoli strati molecolari) è quindi di fondamentale importanza per lo sviluppo di nuove tecnologie basate su meccanismi come quello appena descritto. Anche in questo caso, il microscopio STM è la tecnica microscopica più adatta a raggiungere la risoluzione spaziale necessaria a esplorare le scale molecolari (scala subnanometrica). In particolare, l'attività si è recentemente concentrata sullo studio della tautomerizzazione in strati 2D di tetrafenilporfirine prive di metallo (H2TPP).

ATTREZZATURE

L'attrezzatura sperimentale consiste di due camere ultra alto vuoto (pressione nell'ordine dei 10^{-11} mbar). Oltre che i sistemi di pompaggio e di misura della pressione, la strumentazione delle due camere è suddivisa come segue:

- camera 1, preparazione dei campioni: 6 celle di evaporazione a bombardamento elettronico, microbilancia al quarzo, diffrattometro di elettroni LEED che permette anche misure di spettroscopia Auger (AES), linea per l'immissione di gas puri, un cannone ionico, portacampioni riscaldabile fino a circa 800 °C;
- camera 2, microscopia a scansione a effetto tunnel: contiene la strumentazione principale, ossia microscopio a scansione a effetto tunnel (STM) a temperatura variabile (approssimativamente nell'intervallo 50 K – 500 K), prodotto da Omicron GmbH.

LINEA DI RICERCA AFFERENTE

4. Crescita epitassiale e fabbricazione di nanostrutture

SITO WEB

http://www.fisi.polimi.it/it/ricerca/strutture_di_ricerca/laboratori/50516

Laboratorio Spin properties in Semiconductors (SemiSpin)

RESPONSABILE

Marco Finazzi

ATTIVITÀ SPERIMENTALI

Il laboratorio SemiSpin (proprietà di Spin nei Semiconduttori) è dedicato allo studio della generazione, trasporto e dinamica dello spin dei portatori in ed eterostrutture basate su semiconduttori III-V oppure del gruppo IV.

I processi di generazione di elettroni polarizzati sono studiati mediante tecniche di fotoemissione spin-polarizzata che sfruttano un polarimetro Mott. Elettroni polarizzati sono eccitati nella banda di conduzione del semiconduttore illuminando il campione con luce polarizzata circolarmente. Per estrarre gli elettroni in vuoto si realizzano condizioni di affinità elettronica negative grazie al trattamento in ultra-alto vuoto ($p < 10^{-10}$ mbar) della superficie del campione con cicli di esposizione a vapori di cesio e a ossigeno.

La dinamica e il trasporto dello spin vengono studiati anche misurando le correnti di spin in giunzioni metallo/semiconduttore. In questo caso, il semiconduttore è utilizzato come generatore di una corrente di spin, indotta mediante illuminazione con luce polarizzata circolarmente, mentre il metallo (Pt, Bi) è utilizzato come polarimetro. La corrente di spin iniettata nel metallo subisce fenomeni di diffusione dovuti all'interazione di spin-orbita generando, mediante un processo noto come Effetto Spin-Hall Inverso (*Inverse Spin Hall Effect*, ISHE), una forza elettro-motrice V_{ISHE} , che viene misurata elettricamente.

ATTREZZATURE

- Polarimetro Mott a 20 kV per l'analisi dello spin di elettroni liberi;
- Monocromatore a reticolo;
- Camera da vuoto e per la preparazione di fotocatodi con affinità elettronica negativa;
- Apparato ottico per misure di Effetto Spin-Hall Inverso (ISHE);
- Serie di diodi laser e laser allo stato solido (lunghezza d'onda compresa tra 400 e 1550 nm);
- Elettromagneti.

LINEA DI RICERCA AFFERENTE

4. Crescita epitassiale e fabbricazione di nanostrutture

SITO WEB

http://www.fisi.polimi.it/it/ricerca/strutture_di_ricerca/laboratori/56208

Laboratorio Silicon-Germanium epitaxy (SiGe)

RESPONSABILE

Giovanni Isella

ATTIVITÀ SPERIMENTALI

Il laboratorio di crescita epitassiali silicio- germanio, situato presso il centro L-NESS del Polo Territoriale di Como, svolge attività di ricerca nel campo della deposizione e caratterizzazione di materiali semiconduttori composti, quali leghe di silicio-germanio e in materiale III-V (GaAs, AlGaAs ed InGaAs). Le leghe di SiGe vengono deposte su substrati di silicio utilizzando un processo di chemical vapor deposition assistito da plasma. I semiconduttori III-V vengono deposti su substrati di GaAs, Si e Ge tramite epitassia da fasci molecolari. Le proprietà strutturali dei film epitassiali possono essere analizzate tramite diffrazione a raggi X ad alta risoluzione.

Nel laboratorio è anche possibile la deposizione tramite riscaldamento con fascio elettronico di film metallici (Au, Ag, Ni, Ti, Cr, Pt ...) in condizioni di alto vuoto con monitoraggio (a risoluzione nanometrica) del tasso di deposizione.

E' possibile anche svolgere attacchi in fase gas di materiali semiconduttori tramite un sistema per reactive ion etching (RIE).

L'attività di ricerca è in particolare focalizzata sulla sintesi di nanostrutture (quantum wells, quantum wires e quantum dot) per applicazioni di micro elettronica, optoelettronica e sensing.

ATTREZZATURE

- Due sistemi di deposizione per silicio germanio in ultra alto vuoto del tipo low-energy plasma-enhanced CVD (LEPECVD) per substrati di silicio fino a 200 mm di diametro;
- Sistema per deposizione, tramite molecular beam epitaxy (MBE) VEECO GEN II, per GaAs, AlGaAs e InGaAs su substrati di 75 mm;
- Diffratometro PANalytical X'Pert PRO MRD per diffrazione ad alta risoluzione da film sottili;
- Microscopio ottico per misure in contrasto di fase;
- Spettrometro di massa con risoluzione in energia per plasma monitoring Hiden Analytic;
- Sistema di rapid thermal annealing (RTA) per trattamenti termici (300-1100°C) in atmosfera inerte per substrati da 100 mm;
- Un sistema plasma-lab per reactive ion etching con SF₆, CF₄ ed O₂.

LINEA DI RICERCA AFFERENTE

4. Crescita epitassiale e fabbricazione di nanostrutture

SITO WEB

http://www.fisi.polimi.it/it/ricerca/strutture_di_ricerca/laboratori/49441

<http://lness.como.polimi.it/lepecvd.php>

Laboratorio Clean Room

RESPONSABILE

Daniel Chrastina

Monica Bollani (IFN-CNR)

ATTIVITÀ SPERIMENTALI

Il laboratorio, situato presso il centro L-NESS del Polo Territoriale di Como, è collocato in una camera bianca di classe 1000.

Nel laboratorio vengono svolte le attività di:

- pulizia dei substrati di silicio prima della deposizione epitassiale;
- litografia ottica;
- deposizione di resist per litografia con fascio elettronico;
- attacchi chimici di materiale semiconduttore.

La preparazione dei substrati avviene in chimica umida tramite soluzioni di fluoruro di ammonio, perossido di idrogeno, acido cloridrico, fluoridrico e fosforico.

Il processo di litografia ottica comprende la fase di "spinning" del fotoresist, cottura su piastra o in forno, esposizione tramite mask aligner e sviluppo.

Il resist per litografia con fascio elettronico viene depositato tramite spinner ad elevato numero di giri.

Il laboratorio è equipaggiato con una cappa chimica per l'utilizzo di soluzioni a base di KOH, cromo esavalente e acido nitrico.

Nel laboratorio è disponibile anche un plasma asher per la rimozione di residui di carbonio in fase gas.

ATTREZZATURE

- Un sistema per la generazione di acqua deionizzata (18 MΩ cm);
- Una cappa chimica con bagni termostatati per la pulizia di substrati di silicio;
- Una cappa chimica per attacchi con acidi e basi;
- Tre spinner per la deposizione di fotoresist ed electron beam resist;
- Un mask aligner Karl Suss MA5 (contact and proximity printing, 4" wafers, 5" masks, i-line, 20 mWcm⁻²);
- Una piastra riscaldante per "soft bake" di fotoresist;
- Tre forni per "hard bake" di fotoresist;
- Un microscopio ottico;
- Una lavastoviglie per la pulizia delle vetreria in acqua deionizzata;
- Un microscopio ottico;
- Due sonicatori;
- Un plasma asher TEPLA 100 per la rimozione di residui di fotoresist;

LINEA DI RICERCA AFFERENTE

4. Crescita epitassiale e fabbricazione di nanostrutture

SITO WEB

http://www.fisi.polimi.it/it/ricerca/strutture_di_ricerca/linee_di_ricerca/49517

<http://lness.como.polimi.it/cleanroom.php>

Laboratorio Layered Artificial Structures for Spin Electronics (LASSE)

RESPONSABILI

Riccardo Bertacco
Matteo Cantoni

ATTIVITÀ SPERIMENTALI

L'attività incentrata sul laboratorio LASSE (Layered Artificial Structures for Spin Electronics), situato presso il centro L-NESS del Polo Territoriale di Como, riguarda tematiche di nanobiotecnologia e spintronica, in particolare: i) crescita di eterostrutture e fabbricazione di dispositivi per elettronica di spin basati su ossidi, metalli e semiconduttori; ii) realizzazione di sensori ad alta sensibilità e dispositivi magnetici per applicazioni in nanomedicina.

Nell'ambito (i), le principali attività in corso sono: studio di materiali antiferromagnetici per la realizzazione di dispositivi di memorizzazione ad alta densità; studio di semiconduttori ferroelettrici con effetto Rashba; realizzazione e studio di dispositivi magneto-opto-elettronici (fotodiodi magnetici) basati su Germanio per applicazioni nella spintronica dei semiconduttori; realizzazione di dispositivi magnetoelettrici basati su interfacce ferroelettrico/ferromagnete; realizzazione di giunzioni magnetiche a effetto tunnel con proprietà di trasporto manipolabili otticamente.

Nell'ambito (ii), le principali attività in corso sono: realizzazione di sensori micrometrici ad alta sensibilità per la rivelazione selettiva in fluido di contaminanti biologici e DNA; realizzazione di dispositivi per movimentazione magnetica di nanoparticelle funzionalizzate per il trasporto e l'interazione con specie biologiche (cellule); applicazione di sensori magnetici allo studio dell'eccitazione e della propagazione di segnali nei neuroni.

ATTREZZATURE

Le principali strumentazioni disponibili presso il laboratorio sono:

- 1) sistema in ultra-alto-vuoto per: i) deposizione di film sottili nanometrici e eterostrutture tramite deposizione con laser impulsato (PLD) e epitassia da fascio molecolare (MBE); ii) analisi e caratterizzazione di superfici e interfacce mediante tecniche di diffrazione elettronica (diffrazione di elettroni a bassa e alta energia (LEED, RHEED), diffrazione di fotoelettroni (XPD)), spettroscopia elettronica (spettroscopia con raggi X e ultravioletti (XPS, UPS), fotoemissione inversa con risoluzione in spin) e effetto Kerr magneto-ottico; iii) trasferimento in condizioni di ultra-alto-vuoto delle eterostrutture così ottenute in laboratori esterni (sorgenti di luce di sincrotrone);
- 2) sistema in alto vuoto per deposizione di film sottili nanometrici e eterostrutture tramite ablazione per bombardamento ionico (magnetron sputtering), con uniformità spaziale fino a 3", elevata ripetibilità del processo e possibilità di deporre fino a 10 materiali diversi (ossidi, metalli, isolanti) nella stessa eterostruttura.
- 3) strumentazione di supporto: tecniche di caratterizzazione magnetica (Vibrating Sample Magnetometer, magnetometro ad effetto Kerr magnetoottico) a temperatura variabile (8K-1000K) e/o con risoluzione microscopica; cannone ionico (ion beam etching) per la definizione laterale di dispositivi microstrutturati tramite litografia ottica; sistema per deposizione di nitrato di silicio come strato protettivo su dispositivi per applicazioni in liquido, sistema di riscaldamento per dispositivi e eterostrutture in campo magnetico applicato (0.5 T).

LINEA DI RICERCA AFFERENTE

4. Crescita epitassiale e fabbricazione di nanostrutture

SITO WEB

http://www.fisi.polimi.it/it/ricerca/strutture_di_ricerca/laboratori/49434

<http://lness.como.polimi.it/lasse.php>

Laboratorio Electron Beam Lithography (EBL)

RESPONSABILI

Roman Sordan

Monica Bollani (IFN-CNR)

ATTIVITÀ SPERIMENTALI

Nel laboratorio di Litografia Elettronica, situato presso il centro L-NESS del Polo Territoriale di Como, si svolge attività di caratterizzazione morfologica tramite microscopia a forza atomica (AFM) e microscopia a scansione di elettroni (SEM). Il microscopio AFM è utilizzato principalmente per caratterizzare la superficie di un materiale cresciuto epitassialmente o di dispositivi fabbricati per via litografica. La microscopia SEM oltre a permettere analisi morfologiche *in planar view* su superfici di maggiori dimensioni rispetto alle analisi AFM, permette analisi in *cross view* per individuare spessori di strati o leghe di materiale diverso. Il microscopio SEM è tuttavia principalmente utilizzato per l'attività di ricerca di nano- micro-fabbricazione: il sistema a scansione è stato adattato con un beam blanker esterno e programma di scrittura per procedere con la litografia a fascio di elettroni (EBL) su superficie opportunamente preparate con resist polimerici. Il sistema EBL è usato per realizzare nanostrutture su grafene o eterostrutture a semiconduttore.

ATTREZZATURE

- microscopio a scansione di elettroni (SEM), modello Philips XL30 SFEG adattato per litografia elettronica con un sistema di scrittura della Raith Elphy Quantum e un beam blanker. La risoluzione del sistema è limitata dalle imperfezioni ottiche degli elettroni (aberrazioni che limitano la dimensione minima dello spot del fascio a circa 2 nm) e degli elettroni backscattering che arrivano dal substrato. Questi effetti limitano la risoluzione ad un valore di circa 10 nm.
- Microscopia a forza atomica (AFM), modello Veeco Innova, per lavorare in contact o non contact o tapping mode.

Gruppi di L-NESS che accedono alle attrezzature:

Nanoscale Device Group

Silicon Germanium Epitaxy group

Droplet epitaxy for Advanced NanoTEchnology group

LINEA DI RICERCA AFFERENTE

4. Crescita epitassiale e fabbricazione di nanostrutture

SITO WEB

http://www.fisi.polimi.it/it/ricerca/strutture_di_ricerca/laboratori/49445

<http://lness.como.polimi.it/eb1.php>

Laboratorio Electrical, Magnetic and Optical Characterization (EMOC)

RESPONSABILI

Matteo Cantoni

Giovanni Isella

ATTIVITÀ SPERIMENTALI

Il laboratorio, ubicato presso il centro L-NESS del Polo Territoriale di Como, è dedicato alla caratterizzazione elettrica, magnetica e ottica di eterostrutture e dispositivi per micro- e nano-elettronica (dispositivi basati su grafene), elettronica di spin (giunzione magnetiche a effetto tunnel, dispositivi multiferroici e magnetoelettrici), nano-biotecnologia (sensori per applicazioni biologiche di riconoscimento molecolare), spintronica e misure di trasporto in semiconduttori (fotodiodi con risoluzione in spin, misure di trasporto e di effetto Hall di eterostrutture a semiconduttore).

ATTREZZATURE

Le principali strumentazioni disponibili presso il laboratorio sono:

- criostato a He a circuito chiuso a temperatura variabile (1.4—300 K), con possibilità di applicare un campo magnetico fino a 7.5 T, per misure elettriche (magneto-trasporto, effetto Hall);
- criostato a He a circuito chiuso a temperatura variabile (8—550 K), con possibilità di applicare un campo magnetico fino a 0.5 T, per misure elettriche (magneto-trasporto) e magneto-ottiche (MOKE);
- due stazioni di misura elettrica a 4 punte a basso rumore, per caratterizzazione elettrica di dispositivi micro-e nano-elettronici;
- stazione di misura per caratterizzazione di magneto-trasporto di sensori per applicazioni biologiche, sia a secco che in liquido;
- stazioni di misura per caratterizzazione ottica e magneto-ottica di fotodiodi e dispositivi magnetici e magneto-elettrici.

LINEA DI RICERCA AFFERENTE

4. Crescita epitassiale e fabbricazione di nanostrutture

SITO WEB

https://www.fisi.polimi.it/it/ricerca/strutture_di_ricerca/attivita/56832

<http://lness.como.polimi.it/moke.php>

Laboratorio Scanning Near field Optical Microscopy (SNOM)

RESPONSABILI

Marco Finazzi

Michele Celebrano

ATTIVITÀ SPERIMENTALI

Il laboratorio è dedicato alla ricerca nell'ambito della nano-ottica e vi si svolgono esperimenti riguardanti l'interazione fra la luce e materiali nanostrutturati (film sottili, nanoparticelle e nanocristalli di metalli e semiconduttori, sistemi molecolari).

Le attività principali riguardano lo studio delle proprietà ottiche non lineari (generazione di seconda armonica e fotoluminescenza a due fotoni) di materiali nanostrutturati organici e inorganici, nonché lo sviluppo di tecniche di microscopia sotto il limite di diffrazione con modulazione della polarizzazione per applicazioni in microscopia magneto-ottica e per lo studio delle proprietà dicroiche locali di campioni organici.

ATTREZZATURE

- Microscopio a scansione di sonda (Atomic Force Microscope, Magnetic Force Microscope);
- Microscopio ottico a campo vicino (Scanning Near Field Optical Microscope);
- Microscopi confocali;
- Laser impulsato a lunghezza d'onda variabile (Chameleon[®], Coherent Inc.; lunghezza d'onda: 680-1080 nm; durata dell'impulso: 140 fs; frequenza di ripetizione: 80 MHz);
- Serie di diodi laser e laser allo stato solido (lunghezza d'onda compresa tra 400 e 1550 nm);
- Fotodiadi a singolo fotone in Si e InGaAs;
- Fotomoltiplicatori;
- Spettrometro a prisma per acquisizione di spettri di segnali estremamente bassi nel visibile e vicino infrarosso.

LINEA DI RICERCA AFFERENTE

5. Proprietà elettroniche, ottiche e magnetiche di sistemi a bassa dimensionalità

SITO WEB

http://www.fisi.polimi.it/it/ricerca/strutture_di_ricerca/laboratori/54116

Laboratorio Variable Energy Positron Annihilation Spectroscopy (VEPAS)

RESPONSABILE

Rafael Ferragut

ATTIVITÀ SPERIMENTALI

Nel laboratorio Positroni VEPAS, situato presso il centro L-NESS del Polo Territoriale di Como, si svolge attività di studio e caratterizzazione dei difetti reticolari e delle porosità nei materiali in funzione della profondità d'impiantazione dei positroni mediante un fascio ad energia regolabile. Fondamentalmente si studiano films sottili (bilayers, trilayers) di semiconduttori, polimeri, ossidi, metalli, ecc. con spessori che possono variare fra decine di nanometri e alcuni micron (dipendendo della densità del materiale in studio). Viene sfruttato il fenomeno di annichilazione materia-antimateria e si studia con spettroscopia di alta risoluzione la radiazione gamma frutto dell'annichilazione. Questa metodologia risulta altamente sensibile alla presenza dei difetti e alla chimica nell'intorno dei siti d'annichilazione. Ad esempio, in un cristallo si riesce a identificare la mancanza di un atomo (vacanza) fra dieci milioni di atomi, risultando la tecnica più sensibile. Per altro, nei materiali porosi come nei films mesoporosi e nei polimeri si sfrutta il fatto che forma un atomo esotico, il positronio (stato legato dell'elettrone e positrone). Il positronio viene confinato nelle porosità chiuse e il suo tempo di vita è legato strettamente alla dimensione del poro, invece nei pori aperti o sopra nanometrici si sfrutta il fatto che una frazione del positronio annichila in tre raggi gamma (orto-positronio) producendo una importante differenza spettrale nella radiazione d'annichilazione. Questo laboratorio è coinvolto nell'esperimento AEGIS (Antimatter Experiment: Gravity, Interferometry, Spectroscopy) al CERN, dove si propone per prima volta lo studio delle proprietà gravitazionali dell'antimateria confinata a bassa energia (0.1 kelvin).

ATTREZZATURE

- Fascio di positroni ad energia regolabile fino a 20 keV. Questo sistema consente di studiare i difetti e le porosità in funzione della profondità di penetrazione dei positroni all'interno della materia mediante spettroscopia positronica. Il sistema possiede una sorgente emettitore di positroni (^{22}Na - 15 mCi) ed è possibile fare misure in-situ in un range di temperature fra 7K-1200K.
- Spettrometro gamma in coincidenza con due rivelatori di germanio iperpuro HPGe (efficienza della singola unità 50%) dotato di scheda multiparametrica per misure Coincidence Doppler Broadening.
- Criostato LHeT Leybold per misure a basse temperature (7K-320K).
- Due spettrometri temporali con rivelatori a scintillazione BaF_2 e Pilot U per misure di spettroscopia di tempo di vita (PALS).

LINEA DI RICERCA AFFERENTE

5. Proprietà elettroniche, ottiche e magnetiche di sistemi a bassa dimensionalità

SITO WEB

http://www.fisi.polimi.it/it/ricerca/strutture_di_ricerca/laboratori/54118

<http://lness.como.polimi.it/positron.php>

Laboratorio Ultrafast Photoemission and Optical Spectroscopy (UPhOS)

RESPONSABILI

Claudia Dallera

Ettore Carpene (IFN-CNR)

ATTIVITÀ SPERIMENTALI

Generazione di impulsi UV mediante cristalli non lineari

Generazione di impulsi UV a femtosecondi mediante NOPA (Non collinear Optical Parametric Amplifier)

Deposizione di film sottili mediante bombardamento elettronico

Caratterizzazione mediante Low Energy Electron Diffraction e spettroscopia elettronica Auger

Misure di riflettività ottica risolta in tempo in modalità pump-probe

Misure di effetto Kerr magnetooptico risolte in tempo in modalità pump probe

Spettroscopia ottica risolta in tempo a larga banda

Misure di fotoemissione risolta in angolo risolta in tempo in modalità pump probe

ATTREZZATURE

Laser Ti:zaffiro che genera impulsi da 50 fs a 800 nm

Laser a Ytterbio che genera impulsi da 300 fs a 1030 nm

Linea di luce per generazione di impulsi ai femtosecondi mediante cristalli non lineari

Linea di luce per generazione di impulsi ai femtosecondi mediante *NOPA (Non collinear Optical Parametric Amplifier)*

Impianto in ultraalto vuoto per preparazione di campioni mediante evaporazione, dotato di evaporatore a bombardamento elettronico, riscaldatore, cannone a bombardamento ionico, rivelatore *LEED* e *Auger*

Strumentazione per misure di riflettività ottica e effetto Kerr magnetooptico risolte in tempo

Spettrografo per misure ottiche a banda larga

Criostato per il raffreddamento del campione in misure ottiche

Spettrometro a tempo di volo (*TOF = Time of Flight*) per la misura di spettri di fotoemissione risolta in tempo in modalità pump probe

Criostato per il raffreddamento del campione in ultraaltovuoto fino alle temperature di azoto e elio liquido in misure di fotoemissione

LINEA DI RICERCA AFFERENTE

5. Proprietà elettroniche, ottiche e magnetiche di sistemi a bassa dimensionalità

SITO WEB

www.fisi.polimi.it/it/ricerca/strutture_di_ricerca/laboratori/49428

Laboratorio Taratura Vacuometri (TAV)

RESPONSABILE

Gabriele Trezzi

ATTIVITÀ SPERIMENTALI

IL laboratorio Taratura Vacuometri fa parte del Servizio Qualità di Ateneo (Centro LAT N°104); è accreditato in ambito ACCREDIA, conforme alle norme UNI CEI ISO/IEC 17025:2005 – UNI EN ISO 9001:2008, esegue tarature di misuratori di basse pressioni nel campo di misura che si estende da $1,3E+05$ Pa sino a $1,0E-04$ Pa. Le tarature si effettuano mediante il confronto, effettuato in corrispondenza di livelli di pressione stabiliti, tra le letture del vacuometro in taratura e quelle di un dispositivo campione avente riferibilità al campione primario nazionale detenuto dall'Istituto Nazionale di Ricerca Metrologica (I.N.R.I.M.)

ATTREZZATURE

Apparecchiatura composta da:

Camera di misura in Inox da alto vuoto con valvole di sezionamento

Sistema di pompaggio per alto vuoto composto da pompa principale turbo molecolare con pompa di prevuoto a membrana, e pompa ionica per la pressione di riferimento dei misuratori campione

Misuratori campione di tipo capacitivo e di tipo "Spinning Rotor"

Misuratori di pressione di servizio a ionizzazione a catodo caldo e a conducibilità termica

Sistema d' immissione gas comprensivo di valvola a perdita micrometrica, camera di espansione e diffusore

LINEA DI RICERCA AFFERENTE

5. Proprietà elettroniche, ottiche e magnetiche di sistemi a bassa dimensionalità

SITO WEB

http://www.fisi.polimi.it/it/servizi/lab_taratura

Laboratorio Spectre

RESPONSABILE

Ermanno Pinotti

ATTIVITÀ SPERIMENTALI

Caratterizzazione di materiali magnetici.

Studio di fenomeni di magnetizzazione.

Studio di fisica statistica (rumore, fluttuazioni) in materiali magnetici e in semiconduttori.

Progettazione di circuiti elettronici analogici a basso rumore.

ATTREZZATURE

Oscilloscopio digitale Fluke PM3394

Analizzatore di spettro HP3562

Generatore di rumore Stanford Research

Alimentatori Elind.

Lock-in amplifier EG&G 7260

Analizzatore di impedenze HP 4275

Generatore di segnali HP33120

LINEA DI RICERCA AFFERENTE

5. Proprietà elettroniche, ottiche e magnetiche di sistemi a bassa dimensionalità

SITO WEB

[http://www.fisi.polimi.it/it/ricerca/strutture di ricerca/linee di ricerca/49518](http://www.fisi.polimi.it/it/ricerca/strutture_di_ricerca/linee_di_ricerca/49518)

Laboratorio Electron microscopy laboratory (EMLab)

RESPONSABILE/I

Alberto Tagliaferri

Silvia Pietralunga (IFN-CNR)

ATTIVITÀ SPERIMENTALI

Formazione di immagine e analisi spettroscopica e dinamica alla nanoscala di materiali e sistemi nanostrutturati con applicazioni in elettronica, fotonica, produzione di luce ed energia.

I campioni vengono preparati ed analizzati in ultra alto vuoto per preservarne le proprietà superficiali tramite microscopia a scansione elettronica. Sono disponibili riscaldamento in situ fino a 800 °C e rivelatori per la formazione di immagine tramite elettroni secondari, assorbimento di carica ed elettroni retro-diffusi; l'analisi spettroscopica permette l'analisi di composizione sulla scala laterale delle centinaia di nm e con sensibilità superficiale sub-nanometrica.

In sviluppo: microscopio elettronico ultraveloce per lo studio dell'evoluzione dinamica sulla scala dei picosecondi (collaborazione IIT@PoliMi)

Campi di ricerca: diffusione e formazione di nanostrutture auto-assemblate inSiGe, interazione elettronica ed analisi dimensionale di nanostrutture di grafene e ossido di grafene, dinamica superficiale nella crescita di nanofili di ossido di tungsteno, film per accoppiamenti ohmici, morfologia di superfici superidrofobiche.

ATTREZZATURE

Microscopio a scansione Auger (PHI 660 SAM)

Banco ottico per fasci IR e UV con linea di ritardo

Laser Amplitude Systemès con fascio impulsato (< ps) e generatore di armoniche superiori

Microscopio ottico

Microscopio ottico a campo largo

LINEA DI RICERCA AFFERENTE

5. Proprietà elettroniche, ottiche e magnetiche di sistemi a bassa dimensionalità

SITO WEB

http://www.fisi.polimi.it/it/ricerca/strutture_di_ricerca/laboratori/49433

Laboratorio Resonant Inelastic X-ray Scattering (RIXS)

RESPONSABILE

Giacomo Ghiringhelli

ATTIVITÀ SPERIMENTALI

Questo laboratorio funge da struttura locale di supporto all'attività di spettroscopia risonante di diffusione risonante di raggi X (RIXS, resonant inelastic x-ray scattering) condotta in gran parte, per gli aspetti sperimentali, presso sorgenti di luce di sincrotrone (ESRF a Grenoble, SLS presso PSI in Svizzera, XFEL ad Amburgo). Lo sviluppo di strumentazione RIXS è condotto in collaborazione con le istituzioni partner menzionate ed altre quali Helmholtz Zentrum Berlin, DESY, Max Planck Institut di Stoccarda, EPFL. Vi è poi l'intensa attività sperimentale, condotta in collaborazione con numerose altre università e centri di ricerca italiani e stranieri (CNR/SPIN di Napoli, Max Planck Stoccarda, Brookhaven National Lab, Stanford University e SLAC National accelerator, Spring8, University of British Columbia, University of Minnesota).

Nel laboratorio RIXS presso il Dipartimento di Fisica del Politecnico di Milano sono realizzati test su elementi ottici e rivelatori per raggi X molli, in particolare detector CCD.

L'attività sperimentale svolta presso ESRF, SLS/PSI e, in futuro, XFEL è basata su strumenti (ERIXS a ESRF, SAXES a SLS/PSI, hRIXS a XFEL) progettati presso questo Dipartimento, ma finanziati per i costi di costruzione, installazione e funzionamento dalle sorgenti coinvolte. Questo implica automaticamente che gli strumenti diventano utilizzabili da qualunque utente di luce di sincrotrone.

ATTREZZATURE

E' disponibile una sorgente di raggi X con energia inferiore a 3 keV (anodo di rame, eventualmente rivestito con Al o Mg), raffreddata ad acqua, montata in un apparato per ultra alto vuoto formato principalmente da un tubo rettilineo lungo circa 2,5 m, pompato da due pompe turbomolecolari e una pompa ionica. Periodicamente sono presenti rivelatori per raggi X da sottoporre a test di risoluzione spaziale e linearità di risposta.

LINEA DI RICERCA AFFERENTE

5. Proprietà elettroniche, ottiche e magnetiche di sistemi a bassa dimensionalità

SITO WEB

http://www.fisi.polimi.it/it/ricerca/strutture_di_ricerca/laboratori/49425

Laboratorio Magneto-Optical Kerr Effect (MOKE)

RESPONSABILI

Ermanno Pinotti

Ettore Carpane (IFN-CNR)

ATTIVITÀ SPERIMENTALI

L'attività sperimentale del laboratorio MOKE si svolge in forte sinergia con l'attività svolta presso il laboratorio UPhOS.

Misure di effetto Kerr magneto-ottico in configurazione longitudinale, trasversa e polare tramite laser HeNe e/o diodo.

Possibilità di applicare campi intensi (dell'ordine del Tesla) tramite elettromagnete e di effettuare misure a temperatura criogenica.

ATTREZZATURE

- Apparato ottico per misure di effetto Kerr magneto-ottico (laser, diodi, componenti ottici, bobine per campi magnetici e relative unità di controllo).
- Elettromagnete (campo massimo dell'ordine del Tesla)
- Criostato a He liquido (ciclo chiuso).

LINEA DI RICERCA AFFERENTE

5. Proprietà elettroniche, ottiche e magnetiche di sistemi a bassa dimensionalità

SITO WEB

http://www.fisi.polimi.it/it/ricerca/strutture_di_ricerca/laboratori/54114