

## CAPACITÀ E COMPETENZE

### PERSONALI

*Acquisite nel corso della vita e della carriera ma non necessariamente riconosciute da certificati e diplomi ufficiali.*

#### MADRELINGUA

#### ALTRE LINGUA

- Capacità di lettura
- Capacità di scrittura
- Capacità di espressione orale

## CAPACITÀ E COMPETENZE

### RELAZIONALI

*Vivere e lavorare con altre persone, in ambiente multiculturale, occupando posti in cui la comunicazione è importante e in situazioni in cui è essenziale lavorare in squadra (ad es. cultura e sport), ecc.*

## CAPACITÀ E COMPETENZE

### ORGANIZZATIVE

*Ad es. coordinamento e amministrazione di persone, progetti, bilanci; sul posto di lavoro, in attività di volontariato (ad es. cultura e sport), a casa, ecc.*

## CAPACITÀ E COMPETENZE

### TECNICHE

*Con computer, attrezzature specifiche, macchinari, ecc.*

## CAPACITÀ E COMPETENZE

### ARTISTICHE

*Musica, scrittura, disegno ecc.*

## ALTRE CAPACITÀ E COMPETENZE

*Competenze non precedentemente indicate.*

## PATENTE O PATENTI

## ULTERIORI INFORMAZIONI

### ALLEGATI

## ITALIANO

### INGLESE

Eccellente

Eccellente

Eccellente

RESPONSABILITÀ DI UN GRUPPO DI RICERCA COSTITUITO DA PROFESSORI, RICERCATORI, ASSEGNISTI, DOTTORANDI, LAUREANDI TECNICI

COORDINAMENTO DI UN GRUPPO DI RICERCA COSTITUITO DA PROFESSORI, RICERCATORI, ASSEGNISTI, DOTTORANDI, LAUREANDI TECNICI, COORDINAMENTO E AMMINISTRAZIONE DI PROGETTI DI RICERCA FINANZIATI

TITOLO DI ESPERTO QUALIFICATO DI TERZO GRADO. ISCRIZIONE NELL'ELENCO NOMINATIVO DEGLI ESPERTI QUALIFICATI DAL 06/06/2013 CON IL NUMERO DI ORDINE 759

MONITORAGGIO DELLA CONCENTRAZIONE DI RADON IN EDIFICI SCOLASTICI E TECNICHE DI BONIFICA DELLA CONCENTRAZIONE DI RADON IN AMBIENTI SCOLASTICI

ATTIVITÀ DI RICERCA SVOLTE VEDI ALLEGATO A

ATTIVITÀ DIDATTICHE SVOLTE VEDI ALLEGATO B

LAVORI PUBBLICATI NEGLI ULTIMI 5 ANNI IN RIVISTE INTERNAZIONALI VEDI ALLEGATO C

Patente di guida B

ALLEGATO 1 ATTIVITÀ DI RICERCA SVOLTA

ALLEGATO 2 ATTIVITÀ DIDATTICA SVOLTA

## *Allegato C*

### *Elenco titolarità dei corsi universitari*

#### *Titolarità dei corsi:*

*Laurea Quadriennale in Fisica: Laboratorio di Ottica Quantistica*

*Laurea Specialistica in Fisica: Laboratorio di Fisica della Materia*

*Laurea Magistrale in Fisica: Laboratorio di Fisica della Materia e dei Nanosistemi*

*Laurea Triennale in Ottica e Optometria: Fisica Generale II, Fisica generale III*

*Corso di Dottorato in Fisica: Ottica Guidata, Interazione Laser-Materia*

*Relatore di diverse tesi di laurea in Fisica, in Ottica e Optometria e una in Ingegneria Elettronica*

#### *Dottorato*

*Partecipazione al Collegio dei Docenti del Dottorato in "Elettronica Quantistica e Plasmi" dell'Università*

*degli Studi di ROMA - Tor Vergata" dal 2004 al 2010*

*Partecipazione al Collegio dei Docenti del Dottorato in "Fisica" dell'Università del Salento 2008 in poi*

*Relatore di diverse tesi di dottorato in Fisica*

## Allegato B

### Elenco lavori pubblicati negli ultimi 5 anni

2012 - Articolo in rivista

M.G. Manera, A. Taurino, M. Catalano, R. Rella, A. P. Caricato, R. Buonsanti, P. D. Cozzoli, M. Martino (2012). Enhancement of the optically activated NO<sub>2</sub> gas sensing response of brookite TiO<sub>2</sub> nanorods/nanoparticles thin films deposited by matrix-assisted pulsed-laser evaporation. *SENSORS AND ACTUATORS. B, CHEMICAL*, vol. 161, p. 869-879, ISSN: 0925-4005, doi: 10.1016/j.snb.2011.11.051

2012 - Articolo in rivista

A.P. CARICATO, A. LUCHES, G.LEGGIERI, M.MARTINO, R. RELLA (2012). Matrix-assisted pulsed laser deposition of polymer and nanoparticle films. *VACUUM*, vol. 86, p. 661-666, ISSN: 0042-207X, doi: 10.1016/j.vacuum.2011.07.046

2012 - Articolo in rivista

A. P. Caricato, M. Cesaria, G. Gigli, A. Loiudice, A. Luches, M. Martino, V. Resta, A. Rizzo, A. Taurino (2012). Poly-(3-hexylthiophene)/[6,6]-phenyl-C61-butyric-acid-methyl-ester bilayer deposition by matrix-assisted pulsed laser evaporation for organic photovoltaic applications. *APPLIED PHYSICS LETTERS*, vol. 100, p. 073306-073309, ISSN: 0003-6951, doi: 10.1063/1.3685702

2012 - Articolo in rivista

M. G. Manera, A. Colombelli, R. Rella, A. Caricato, P. D. Cozzoli, M. Martino, L. Vasanelli (2012). TiO<sub>2</sub> brookite nanostructured thin layer on magneto-optical surface plasmon resonance transducer for gas sensing applications. *JOURNAL OF APPLIED PHYSICS*, vol. 112, p. 053524-1-053524-11, ISSN: 1089-7550, doi: 10.1063/1.4751347

2012 - Articolo in rivista

M. Cesaria, A.P. Caricato, M. Martino (2012). Realistic absorption coefficient of ultrathin films. *JOURNAL OF OPTICS*, vol. 14, p. 105701-1-105701-10, ISSN: 2040-8978

2012 - Articolo in rivista

Luby S., Chitu L., Jergel M., Majkova E., Siffalovic P., Caricato A.P., Luches A., Martino M., Rella R., Manera M.G (2012). Oxide nanoparticle arrays for sensors of CO and NO<sub>2</sub> gases. *VACUUM*, vol. 86 (6), p. 590-593, ISSN: 0042-207X

2011 - Articolo in rivista

CESARIA M., CARICATO A.P., LEGGIERI G., LUCHES A., MARTINO M., MARUCCIO G., CATALANO M., MANERA M.G., RELLA R., TAURINO A. (2011). Structural characterization of ultrathin Cr-doped ITO layers deposited by double-target pulsed laser ablation. *JOURNAL OF PHYSICS D-APPLIED PHYSICS*, vol. 44, p. 365403-365410, ISSN: 0022-3727, doi: 10.1088/0022-3727/44/36/365403

2011 - Articolo in rivista

M Martino, M Cesaria, AP Caricato, G Maruccio, A Cola, I Farella (2011). La(0.7)Sr(0.3)MnO(3) thin films deposited by pulsed laser ablation for spintronic applications. *PHYSICA STATUS SOLIDI. A, APPLICATIONS AND MATERIALS SCIENCE*, vol. 208 , p. 1817-1820, ISSN: 1862-6300, doi: 10.1002/pssa.201084037

2011 - Articolo in rivista

M Cesaria, A P Caricato, G Maruccio, M Martino (2011). LSMO - growing opportunities by PLD and applications in spintronics. *JOURNAL OF PHYSICS. CONFERENCE SERIES*, vol. 292, p. 012003-1-012003-15, ISSN: 1742-6596, doi: 10.1088/1742-6596/292/1/012003

2011 - Articolo in rivista

A. P. Caricato, M. R. Belviso, M. Catalano, M. Cesaria, P. D. Cozzoli, A. Luches, M. G. Manera, M. Martino, R. Rella, A. Taurino (2011). Study of titania nanorod films deposited by matrix-assisted pulsed laser evaporation as a function of laser fluence. *APPLIED PHYSICS. A, MATERIALS SCIENCE & PROCESSING*, vol. 105, p. 605-610, ISSN: 1432-0630, doi: 10.1007/s00339-011-6597-4

2011 - Articolo in rivista

A. P. Caricato, R. Buonsanti, M. Catalano, M. Cesaria, P. D. Cozzoli, A. Luches, M. G. Manera, M. Martino, A. Taurino, R. Rella (2011). Films of brookite TiO<sub>2</sub> nanorods/nanoparticles deposited by

matrix-assisted pulsed laser evaporation as NO<sub>2</sub> gas-sensing layers. *APPLIED PHYSICS. A, MATERIALS SCIENCE & PROCESSING*, vol. 104, p. 963-968, ISSN: 1432-0630, doi: 10.1007/s00339-011-6462-5

2011 - Articolo in rivista

Caricato A.P., Cretí A., Luches A., Lomascolo M., Martino M., Rella R., Valerini D. (2011). Zinc oxide nanostructured layers for gas sensing applications. *LASER PHYSICS*, vol. 21 (3), p. 588-597, ISSN:

2010 - Articolo in rivista

A.P.CARICATO, G.LEGGIERI, M.MARTINO, A.VANTAGGIATO, D.VALERINI, A.CRETI', M.LOMASCOLO, M.G.MANERA, R.RELLA, M.ANNI (2010). Dependence of the surface roughness of MAPLE-deposited films on the solvent parameters. *APPLIED PHYSICS. A, MATERIALS SCIENCE & PROCESSING*, vol. 101, p. 759-764, ISSN: 1432-0630, doi: 10.1007/s00339-010-5990-8

2010 - Articolo in rivista

AP Caricato, A Luches, M Martino, D Valerini, YV Kudryavtsev, AM Korduban, SA Mulyenko, NT Gorbachuk (2010). Deposition of chromium oxide thin films with large thermoelectromotive force coefficient by reactive pulsed laser ablation. *JOURNAL OF OPTOELECTRONICS AND ADVANCED MATERIALS*, vol. 12 , p. 427-431, ISSN: 1454-4164

2010 - Articolo in rivista

A. P. Caricato, M Cesaria, A Luches, M Martino, G Maruccio, D Valerini, M Catalano, A Cola, MG Manera, M Lomascolo, A Taurino, R Rella (2010). Electrical and optical properties of ITO and ITO/Cr-doped ITO films. *APPLIED PHYSICS. A, MATERIALS SCIENCE & PROCESSING*, vol. 101, p. 753-758, ISSN: 0947-8396, doi: 10.1007/s00339-010-5988-2

2010 - Articolo in rivista [allegato ©]

D Valerini, A Creti, AP Caricato, M Lomascolo, R Rella, M Martino (2010). Optical gas sensing through nanostructured ZnO films with different morphologies. *SENSORS AND ACTUATORS. B, CHEMICAL*, vol. 145, p. 167-173, ISSN: 0925-4005, doi: 10.1016/j.snb.2009.11.064

2010 - Monografia o trattato scientifico

D. Valerini, A. Creti', A.P. Caricato, M. Lomascolo, R. Rella, M. Martino (2010). *ZnO Nanostructures Deposited by Laser Ablation*. New York: Nova Science Publisher, Inc. , ISBN: 9781616680343

2010 - Contributo in volume (Capitolo o Saggio)

D. Valerini, A. Creti', A.P. Caricato, M. Lomascolo, R. Rella, M. Martino (2010). *ZnO Nanostructures Deposited by Laser Ablation*. In: E. J. Chen, N. Peng. *Advances in Nanotechnology Vol.4*. p. 1-41, New York: Nova Science Publishers, ISBN: 9781616686185

2009 - Articolo in rivista

MARTINO M, CARICATO A P, ROMANO F, TUNNO T, VALERINI D, ANNI M, CARUSO ME, ROMANO A, T. VERRI (2009). Pulsed laser deposition of organic and biological materials. *JOURNAL OF MATERIALS SCIENCE-MATERIALS IN ELECTRONICS*, vol. 20, p. S435-S440, ISSN: 0957-4522, doi: 10.1007/s10854-008-9663-8

2009 - Articolo in rivista

A. P. Caricato, M. Epifani, M. Martino, F. Romano, R. Rella, A. Taurino, T. Tunno, D. Valerini (2009). MAPLE deposition and characterization of SnO<sub>2</sub> colloidal nanoparticle thin films . *JOURNAL OF PHYSICS D-APPLIED PHYSICS*, vol. 42, p. 95105-95110, ISSN: 0022-3727, doi: 10.1088/0022-3727/42/9/095105

2009 - Articolo in rivista

A.P. Caricato, M. Anni, M.G. Manera, M. Martino, R. Rella, F. Romano, D. Valerini, T. Tunno (2009). Study of temperature dependence and angular distribution of poly(9,9-dioctylfluorene) polymer films deposited by matrix-assisted pulsed laser evaporation (MAPLE). *APPLIED SURFACE SCIENCE*, vol. 255, p. 9659-9664, ISSN: 0169-4332, doi: 10.1016/j.apsusc.2009.04.130

2009 - Articolo in rivista

D. Valerini, A.P. Caricato, A. Creti', M. Lomascolo, F. Romano, A. Taurino, T. Tunno, M. Martino (2009). Morphology and photoluminescence properties of zinc oxide films grown by Pulsed Laser Deposition. *APPLIED SURFACE SCIENCE*, vol. 255, p. 9680-9683, ISSN: 0169-4332

2008 - Articolo in rivista

D. VALERINI, A. P. CARICATO, M. LOMASCOLO, F. ROMANO, A. TAURINO, T. TUNNO, M. MARTINO (2008). Zinc oxide nanostructures grown by pulsed laser deposition. *APPLIED PHYSICS. A, MATERIALS*

SCIENCE & PROCESSING, vol. 93, p. 729-733 , ISSN: 0947-8396, doi: 10.1007/s00339-008-4703-z

2008 - Articolo in rivista

A.P. CARICATO, M. LOMASCOLO, A. LUCHES, F. MANDOLJ, M.G. MANERA, M. MASTROIANNI, M. MARTINO, R. PAOLESSE, R. RELLA, F. ROMANO, T. TUNNO, D. VALERINI (2008). MAPLE deposition of methoxy Ge triphenylcorrole thin films. APPLIED PHYSICS. A, MATERIALS SCIENCE & PROCESSING, vol. 93, p. 651-654, ISSN: 1432-0630, doi: 10.1007/s00339-008-4724-7

2008 - Contributo in volume (Capitolo o Saggio)

A.P. CARICATO, S. CAPONE, S. EPIFANI, M. LOMASCOLO, A. LUCHES, M. MARTINO, F. ROMANO, R. RELLA, P. SICILIANO, J. SPADAVECCHIA, A. TAURINO, T. TUNNO, D. VALERINI (2008). Nanoparticle thin films deposited by MAPLE for sensor applications. In: Vadim Veiko. Proceedings of SPIE. vol. 6985, p. 121-134, BELLINGHAM:THE INTERNATIONAL SOCIETY FOR OPTICAL ENGINEERING, ISBN: 0819471836, doi: 10.1117/12.786981

## **Allegato A**

### **Attività di ricerca svolte, in ordine cronologico, durante il proprio percorso scientifico e professionale**

L'attività di ricerca si è principalmente basata sull'utilizzo di sorgenti laser impulsate (eccimeri) per impieghi tecnologicamente avanzati. In particolare si è focalizzata sul trattamento diretto di materiali e sulla deposizione di film sottili mediante ablazione laser. Nel primo caso si sono sfruttate le capacità del laser impulsato di fornire energia ad un materiale, in maniera localizzata nello spazio (lateralmente ed in profondità) e nel tempo.

Gli argomenti trattati durante la sua attività di ricerca sono stati, in ordine cronologico:

#### **1. Formazione di film di silicuri di metallo indotta da fasci impulsati di elettroni e fasci laser**

Questi film sono stati utilizzati nella tecnologia dei circuiti integrati come contatti ohmici, barriere Schottky, barriere di diffusione etc. Come strati di metallizzazione essi presentano una resistività elettrica minore del silicio policristallino. Convenzionalmente i silicuri sono formati depositando mediante evaporazione o sputtering un film di metallo su di un substrato di Si, seguito da un trattamento termico ad una determinata temperatura (intorno ai 1000 K per circa 1000 secondi) che promuove l'interdiffusione e la reazione degli elementi. La tecnica del laser annealing permette di avere un riscaldamento localizzato sia lateralmente che in profondità, le cui caratteristiche dipendono dall'interazione tra i parametri del fascio laser e le proprietà ottiche e termiche del film di metallo. Una peculiarità di tale tecnica è che la composizione dello strato di siliciuro può essere modificata variando la fluensa laser e/o la durata del fascio laser. Infine quando vengono utilizzati fasci laser impulsati si possono ottenere alte velocità di riscaldamento e di raffreddamento ( $10^{10}$  K s<sup>-1</sup>), che permettono la formazione di composti metastabili. Mediante laser annealing sono stati formati differenti film di siliciuro di metallo quasi-nobile e refrattario partendo da strutture Pt/Si, Pd/Si, Cr/Si, Mo/Si, Ti/Si. Sono stati utilizzati laser con diverse lunghezze d'onda (rubino, Nd:vetro ed eccimeri). Particolare attenzione è stata data al trattamento di strutture bistrato e multistrato W/Si. Partendo da tali strutture si è voluto studiare la formazione del siliciuro di tungsteno mediante irraggiamento con laser ad eccimeri, la stabilità termica e meccanica di multistrati W/Si, utilizzati come elementi ottici per raggi X molli ( $\lambda=1-20$  nm) ed UV estremo ( $\lambda=20-80$  nm).

#### **2. Formazione di composti superficiali in atmosfere reattive**

I nitrucci di metallo refrattario e di semiconduttore presentano interessanti proprietà in differenti campi della moderna tecnologia. Il nitrucci di titanio (TiN) è intensamente studiato come rivestimento protettivo per la sua stabilità termica, durezza, basso coefficiente di attrito e per la buona adesione al substrato. Inoltre esso presenta una buona conduttività elettrica che lo rende interessante per applicazioni nella microelettronica come barriera di diffusione, elettrodo di gate, connessione locale etc. Invece il nitrucci di silicio (Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub>) presenta buone caratteristiche dielettriche e può essere utilizzato per celle di memoria, transistor metallo-nitrucci di silicio-ossido-silicio (MNOS) ed altri dispositivi. Un'interessante alternativa alle tecniche tradizionali è la crescita del nitrucci direttamente sulla zona di interesse come risultato di una reazione chimica tra il materiale di base e un'atmosfera contenente azoto, promossa da impulsi laser. Ciò permette di ottenere un processo molto efficiente ed un accurato controllo spaziale. Inoltre la nitrurazione può avvenire senza un apprezzabile riscaldamento del substrato, evitando la deformazione del substrato e la diffusione a lungo range di droganti ed impurità. Sono stati realizzati film di TiN, Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub>, Ge<sub>3</sub>N<sub>4</sub>, TiC, SiC mediante modificazione superficiale, irraggiando lamine di titanio, silicio o germanio in atmosfere di azoto molecolare, ammoniacca o metano a pressione leggermente sovratmosferica. Gli strati superficiali così modificati sono stati ottenuti con un numero elevato di impulsi utilizzando un laser ad eccimeri (XeCl,  $\lambda=308$  nm,  $t \approx 30$  ns) ed una fluensa intorno a 1 J/cm<sup>2</sup>. Questa attività è stata sviluppata durante il dottorato di ricerca svolto presso l'Università di Bari. Inoltre partendo da una struttura Ti/Si, irraggiando la superficie in un'atmosfera contenente N<sub>2</sub>, sono state formate strutture di metallizzazione nitrucci-siliciuro-silicio ottenute con un processo single-step.

#### **3. Generazione di fasci ionici ed elettronici mediante irraggiamento laser**

Ioni positivi possono essere generati mediante l'interazione tra radiazione laser e bersagli solidi producendo fasci ionici pulsati, potenzialmente di grande interesse per acceleratori di particelle. Quando un fascio laser intenso colpisce la superficie di un solido si ha creazione di un plasma caldo. La ionizzazione multipla delle specie evaporate è raggiunta nel plasma caldo per la presenza di elettroni di elevata energia, acquisita attraverso processo di bremsstrahlung inverso. Sono stati utilizzati laser ad eccimeri per la loro corta lunghezza d'onda che si accoppia efficacemente con target metallici. Sono stati utilizzati bersagli di Si, Ge, Mg, Zn e W irraggiandoli con un laser a XeCl. Irraggiando i bersagli con una potenza laser di picco di 66 MW/cm<sup>2</sup> sono state estratte correnti pari a 375 mA di Si<sup>3+</sup>, mentre per atomi doppiamente e singolarmente ionizzati si avevano correnti dell'ordine di una decina di A. I nuovi acceleratori di elettroni destinati ad alimentare i laser ad elettroni liberi, per la produzione di raggi X e la generazione di microonde ad alta potenza, hanno bisogno di iniettori di fascio elettronico di alta brillantezza per poter avere fasci di elettroni sufficientemente luminosi. Usualmente ciò viene ottenuto con fotocatodi in cavità a radiofrequenza. Molto promettente è l'impiego di fotocatodi metallici irraggiati con laser ad eccimeri. I fotocatodi metallici, rispetto agli usuali catodi costituiti da ossidi, sono meno sensibili all'inquinamento e pertanto non necessitano di ultra-alto vuoto, inoltre presentano tempi di vita maggiori. I laser ad eccimeri, lavorando nella regione dell'UV, permettono di ottenere processi fotoelettrici ad un fotone, poiché le energie del fotone (4 - 7 eV) sono confrontabili o maggiori delle funzioni lavoro dei target metallici. Sono stati irraggiati tre metalli molto comuni,

(Al, Zn e Cu) le cui funzioni lavoro sono 4.2, 3.9 e 4.5 eV, rispettivamente. Queste targhette sono state irraggiate con due differenti laser ad eccimeri, XeCl ( $\lambda=308$  nm,  $E=4.02$  eV) e KrCl ( $\lambda=222$  nm,  $E=5.6$  eV), ottenendo una corrente massima di 1.03 A con durate di circa 20 ns, ad una tensione di accelerazione di 20 kV.

#### 4. Trattamento termico di strutture multistrato Cu/Mo

Il rame è stato studiato come possibile sostituto dell'alluminio negli schemi di metallizzazione nella tecnologia dei circuiti integrati poiché presenta una resistività più bassa ed una resistenza all'elettromigrazione più alta rispetto all'alluminio. Però il rame presenta alcuni inconvenienti come corrosione, ossidazione, diffusione, reazione con il silicio e scarsa adesione a SiO<sub>2</sub>. Tali problemi impongono l'uso di una barriera di diffusione. Il molibdeno può essere una soluzione praticabile poiché la struttura Mo/Cu è un sistema metallurgico immiscibile. È stato studiato in dettaglio l'intermixing di strutture multistrato Mo/Cu sottoposte ad irraggiamento laser con molti impulsi.

#### 5. cristallizzazione di film amorfi di silicio

Film di silicio policristallino hanno molte applicazioni nei dispositivi a semiconduttore. C'è un notevole interesse nell'uso di transistor a film sottili con grani di silicio policristallino nei display a cristalli liquidi e per memorie ad alta densità. Di solito tali films si ottengono per annealing in fase solida o per fusione e successiva ricristallizzazione, mediante irraggiamento laser di film amorfi depositati da CVD. Film di silicio amorfo sono stati depositati mediante evaporazione in vuoto su substrati di silicio ossidati aventi differenti spessori di SiO<sub>2</sub>. Tali film sono stati fusi e ricristallizzati mediante irraggiamento con un laser ad eccimeri (XeCl). Le fluenze di irraggiamento sono state scelte in base a simulazioni numeriche dell'evoluzione della temperatura all'interno del campione ed è stata studiata l'influenza dello spessore dello strato di SiO<sub>2</sub> sottostante.

#### 6. deposizione di film sottili di carburi e nitrucci mediante ablazione laser in atmosfere reattive

La deposizione mediante ablazione laser (Pulsed Laser Deposition) si è dimostrata molto efficace per la realizzazione di film nitrucci (Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub>, TiN, ZrN, HfN) e carburi (TiC, SiC). Come target sono stati utilizzati strati di semiconduttore o lamine metalliche che sono state irraggiate con impulsi laser ad eccimeri (XeCl) a fluenze di alcuni J/cm<sup>2</sup>. Tali irraggiamenti sono stati condotti in atmosfere contenenti azoto (azoto molecolare, ammoniaca) o carbonio (metano). Sono stati realizzati film di nitrucci con buone qualità elettriche e tribologiche.

#### 7. deposizione di film sottili di nitrucci di carbonio (C<sub>x</sub>N<sub>y</sub>)

Alcuni lavori teorici hanno previsto che il nitrucci di carbonio legato covalentemente (nelle fasi  $\alpha$ -C<sub>3</sub>N<sub>4</sub>,  $\beta$ -C<sub>3</sub>N<sub>4</sub>) potrebbe avere proprietà confrontabili o addirittura migliori dei film di diamante. Questo materiale potrebbe essere usato come rivestimento duro per substrati termicamente instabili (vetri, plastiche, film sottili magnetici, hard disk per computer, etc.). Tale composto non è presente in natura e risulta molto difficile sintetizzarlo, le promettenti caratteristiche hanno però spinto diversi gruppi a cercare di realizzare film di questo composto. I metodi di deposizione più utilizzati sono stati: sputtering, deposizione assistita da fascio ionico e deposizione da fase vapore assistita da plasma. In alternativa ai metodi prima citati si è impiegata l'ablazione con laser ad eccimeri di target di grafite in una atmosfera contenente azoto a bassa pressione. Il materiale ablatato era diretto verso un substrato di silicio, a temperatura ambiente, posto ad una distanza di 4 cm. Sono stati depositati film a fluenze laser via via crescenti, partendo da 3 J/cm<sup>2</sup> ed arrivando fino a 16 J/cm<sup>2</sup> a diverse pressioni di N<sub>2</sub> per studiare le condizioni ottimali di crescita. Dalle analisi RBS risulta che sono stati ottenuti film con rapporti N/C molto elevati (fino a 0.7), mentre dalle analisi XPS risulta che circa il 40% del carbonio è legato a circa il 50% dell'azoto per formare un legame singolo C-N, che è quello generalmente attribuito alla fase  $\beta$ -C<sub>3</sub>N<sub>4</sub>. Le analisi XRD e TEM hanno inoltre dimostrato che la struttura dei films (alle più alte fluenze) è costituita da film amorfi in cui sono presenti monocristalli con dimensioni dell'ordine del micron che sono cresciuti coerentemente sul substrato di Si (con orientazioni  $\langle 111 \rangle$  e  $\langle 100 \rangle$ ).

#### 8. produzione di grani di silicati come polvere interstellare

I silicati sono stati identificati tra i componenti della polvere interstellare e interplanetaria. È pertanto interessante sintetizzarli in laboratorio per confrontare il loro spettro ottico in trasmissione con gli spettri della radiazione luminosa che giunge dalle nubi interstellari e dal mezzo interplanetario (luce zodiacale) e quindi avere informazioni sulla natura e composizione di queste polveri cosmiche. Mediante l'irraggiamento con un laser ad eccimeri in atmosfera di ossigeno o gas inerte ad una pressione relativamente elevata (decine di Torr) si è ottenuta la formazione di grani che sono stati depositati su appositi substrati. Lo scattering tra il materiale ablatato ed il gas di reazione provoca una coalescenza del materiale ablatato in grani dalle dimensioni che sono determinate dai parametri del laser e dalla pressione del gas. Successivamente si sono confrontati gli spettri di assorbimento nella regione dell'infrarosso dei grani formati in laboratorio e della polvere cosmica.

#### 9. Effetti di magnetoresistenza giganti

Nel 1988 fu scoperta la magnetoresistenza gigante in strutture a multistrato Fe/Cr e successivamente anche in altre strutture stratificate composte da un elemento magnetico ed uno non magnetico, ad esempio: Cu/Co, Ru/Co, Ag/Ni, Ag/Co. Multistrati di Ag/Co sono stati irraggiati con impulsi laser ad eccimeri per determinare l'effetto sulle proprietà di magneto-resistenza gigante di strutture stratificate. Il vantaggio di tale trattamento termico è la possibilità di depositare la quantità richiesta di energia solo nel volume del film senza interazione con il substrato. Dopo il trattamento si è riscontrato un quasi sistematico aumento dell'effetto della magneto-resistenza gigante, a

temperatura ambiente, all'aumentare dell'energia laser diretta sui multistrati per fluenze laser al di sotto della soglia di danneggiamento. Questo aumento si spiega con l'avvenuta discontinuità dei sottili strati magnetici causata dalla diffusione dell'argento, attraverso i bordi di grano, nel film magnetico e la conseguente formazione di strutture granulari che presentano un effetto magneloresistivo maggiore rispetto alle strutture multistrato, essendo questo fenomeno dipendente dalla superficie. Lo stesso trattamento è stato condotto per sistemi Cu/Co e Pb-Co granulari. Dopo l'irraggiamento laser la struttura granulare del film di Cu-Co risultava più finemente dispersa e le dimensioni dei grani erano più ridotte. L'effetto magneto-resistivo era aumentato del 74-82% alla temperatura di 4.2 K e del 11.3-13.5% a temperatura ambiente.

#### 10. deposizione di film ottici mediante ablazione laser

Mediante la tecnica dell'ablazione laser sono stati depositati film sottili di SiO<sub>2</sub> e Ossido di Indio e Stagno (ITO). Per la deposizione di film di SiO<sub>2</sub> sono state utilizzate diverse configurazioni non standard (off-axised eclipse) per minimizzare la presenza di particolato di dimensione micrometrica (goccioline) sulla superficie del film. Film di ITO con spessori di centinaia di nm sono stati depositati su substrati di SiO<sub>2</sub>. Questi strati possono essere utilizzati come guide d'onda dielettriche planari e, soprattutto, come elettrodi trasparenti nel visibile. La caratterizzazione ottica (trasmissione ottica nel visibile e nel NIR) e quella elettrica (sonda a quattro punte) hanno dimostrato la buona qualità dei film depositati mediante irraggiamento con laser a KrF di target commerciali di ITO in una atmosfera di alcuni Pa di ossigeno su substrati di silice ad una temperatura di circa 200 °C. In particolare il valore di resistività misurato è risultato tra i più bassi riportati in letteratura. Sono stati, inoltre, depositati film di ITO ultrasottili (<10 nm) come elettrodi in un commutatore elettrottrico, costituito da due guide d'onde dielettriche e da una cella a cristalli liquidi ferroelectrici. La rugosità superficiale rms di questi film è risultata, da misure AFM, inferiore a 0.15 nm. Infine questi strati sono stati utilizzati come elettrodi top/bottom in guide d'onda organiche attive di polyfluorene che hanno dimostrato emissione spontanea amplificata e piccole perdite ottiche.

#### 11). deposizione di film fotonici mediante ablazione laser

Diversi materiali sono stati proposti per la realizzazione di guide d'onda passive, per esempio ossidi, silicati, ossifluoruri, calcogenuri, telluriti etc. Questi materiali possono essere drogati con ioni di terre rare quali erbio, tulio, olmio, praseodimio, neodimio etc, in modo da rendere queste guide d'onda attive. Questi materiali emettono radiazione luminosa nel range di lunghezza d'onda che va da 1.1 a 1.6 micron, lunghezze d'onda utilizzate nelle Telecomunicazioni (TLC) ottiche. La maggior parte di queste matrici sono amorphe e presentano una composizione molto complessa essendo formate da una miscela di tre o più composti. La tecnica di deposizione mediante ablazione laser risulta essere particolarmente indicata poiché permette di trasferire queste stechiometrie complesse dal target al film in un singolo step ed inoltre, avendo il materiale ablatato una notevole energia interna, permette la deposizione di strati a temperatura ambiente o a temperature molto più basse rispetto ad altre tecniche di deposizione.

Sono stati depositati, mediante deposizione con ablazione laser:

a) film di vetro calcogenuro con composizione, GeS<sub>2</sub> 70% - Ga<sub>2</sub>S<sub>3</sub> 15% - CsI 15% - Pr<sub>2</sub>S<sub>3</sub> (2000 ppm), per la realizzazione di guide d'onda attive capaci di amplificare segnali ottici nella seconda finestra TLC (1.3 micron). Questi strati sono risultati, da analisi spettrofotometriche, trasparenti nel NIR, hanno presentato, da analisi RBS, una composizione molto simile a quella del target e hanno mostrato una emissione centrata a 1.3 micron, tipica della transizione 1G<sub>4</sub>-3H<sub>5</sub> dello ione triplo del Praseodimio mediante fotoluminescenza.

b) film di silicati modificati drogati con ioni di erbio per la realizzazione di amplificatori ottici ad alto guadagno (> 20 dB/cm) nella terza finestra TLC (1.5 micron) in configurazione a guida planare. Tale lavoro è stato svolto all'interno del progetto Large Gain EDWAS." - ref: EPSRC GR/R85181 .Sono state realizzate guide d'onda planari dielettriche su aree di circa 5 cm<sup>2</sup> con una buona uniformità di spessore e sono state caratterizzate da differenti tecniche di analisi.

c) Film di vetri telluriti drogati con ioni di Erblio, dove la matrice, basata su ossido di tellurio, opera un allargamento della banda di emissione radiativa degli ioni di Erblio, sempre centrata sulla lunghezza d'onda di 1.55 micron. Questi film sono stati caratterizzati mediante tecniche composizionali, ottiche, spettroscopiche che hanno dimostrato la buona qualità dei film e la presenza di perdite ottiche molto basse (fino a 0,8 dB/cm).

d) Film di vetri ossifluoruri drogati con Er. Tale ricerca è nata dalla scoperta che questi materiali, strutturati come Glass Ceramics (sistemi con grani aventi dimensioni di alcuni nanometri), presentano un allargamento della banda di emissione molto elevato (intorno ai 100 nanometri). In particolare si è determinato un protocollo di deposizione che ha portato alla realizzazione di film con indice di rifrazione uguale a quello del bulk.

#### 12). deposizione di film di YSZ per la microelettronica

La riduzione delle dimensioni caratteristiche sia verticali che orizzontali dei transistor MOS, porta alla ricerca di materiali alternativi in grado di mantenere le stesse caratteristiche del SiO<sub>2</sub>. Tra le varie possibilità l'YSZ sembra una interessante alternativa poiché presenta una costante dielettrica elevata (25.0-29.7) ed una buona stabilità termodinamica in presenza di silicio anche per temperature di 1000 K. Tra i vari metodi di deposizione abbiamo utilizzato la PLD in una atmosfera di 1 Pa di ossigeno ottenendo film amorfi con composizione piuttosto stechiometrica.

#### 13). Film Semiconduttori semimagnetici

Il Cd<sub>1-x</sub>Mn<sub>x</sub>Te è un materiale molto interessante per la realizzazione di sensori ottici di campo magnetico basati sull'effetto Faraday. Infatti, il Cd<sub>1-x</sub>Mn<sub>x</sub>Te, per la presenza dello ione Mn<sup>2+</sup>, è caratterizzato da interessanti proprietà: un valore della costante reticolare e della "energy gap" tra banda di valenza e conduzione variabile con la concentrazione di Manganese, un effetto Faraday gigante in prossimità dell'"edge" di assorbimento. Inoltre, l'elevato valore della costante di Verdet fa sì che film sottili di questo materiale possano essere utilizzati come sensori di campo magnetico. Film di Cd<sub>1-x</sub>Mn<sub>x</sub>Te con diverse concentrazioni di Manganese ( $x = 0,36; 0,43$  e  $0,50$ ) sono stati depositati su substrati di zaffiro e caratterizzati per valutarne le potenzialità al fine di una loro applicazione nella sensoristica

#### 14). Simulazione di effetti di invecchiamento in polveri spaziali indotte da laser

Irraggiamenti con laser sono stati condotti su silicati con lunghezze d'onda di 193 e 248 nm per simulare gli effetti di invecchiamento spaziale (space weathering) indotto sui corpi minori del sistema solare dal bombardamento di micrometeoriti. Sono state utilizzate fluenze inferiori e superiori alla soglia di ablazione congruente e si è dimostrato dalle analisi di riflettanza nell'UV e nel vicino IR che i migliori risultati si avevano solo in caso di irraggiamento con fluenze maggiori della soglia di ablazione che ben simulavano il reale comportamento di questi materiali.

#### 15). Deposizione di film mediante MAPLE

La tecnica Matrix Assisted Pulsed Laser Evaporation (MAPLE) permette la deposizione di materiale soffice (biologico, polimerico o nanoparticelle) che altrimenti verrebbe degradato nella deposizione PLD. Questo materiale viene disperso in un solvente molto volatile (acquoso o organico) ed è congelato alla temperatura dell'azoto liquido formando un target solido. Questo target viene irraggiato all'interno di una camera di reazione con basse fluenze e si ha l'evaporazione istantanea dell'intera soluzione. Il solvente, altamente volatile, viene evacuato dal sistema di pompaggio e la sostanza di interesse si deposita su di un apposito substrato, posto ad alcuni cm, conservando quasi intatte le sue capacità funzionali. Questa tecnica è molto interessante poiché basandosi solo sull'interazione fisica della radiazione laser con la soluzione permette di depositare diversi materiali prescindendo dalla chimica, dalla biologia e dalle dimensioni del materiale stesso. Sono stati depositati mediante questa tecnica:

a) film di BSA (Bovine Serum Albumine), questa proteina è stata dispersa in acqua e si dimostrata la sua integrità dopo la deposizione mediante spettroscopia infrarossa a trasformata di Fourier (FTIR) ed elettroforesi.

b) film di nanoparticelle di SnO<sub>2</sub> e TiO<sub>2</sub> per la realizzazione di sensori resistivi per la rilevazione di vapori e gas in concentrazioni estremamente basse (ppm). In particolare ottimi risultati si sono avuti utilizzando nanoparticelle e nanorods di TiO<sub>2</sub> avente struttura brookite dove l'effetto di sensing già notevole è stato incrementato da illuminazione con luce UV. Gli stessi film di nanoparticelle sono stati impegnati in sensori di gas mediante risonanza plasmonica superficiale magneto-ottica.

c) film polimerici in grado di emettere radiazione luminosa dispersi in solventi organici come dispositivi OLED (polyfluorene) o come sensori a quenching ottico (methoxy Ge triphenylcorrole). Inoltre si è studiata la deposizione di composti perfluorurati che manifestano un'elevata tendenza ad autoassemblarsi e sono impiegati come surfactanti, componenti anticorrosivi e antiattrito. Recentemente sono stati proposti come materiali per la preparazione di superfici superidrofobiche ed oleofobiche ed hanno permesso di dimostrare l'esistenza di superfici "onnifobiche". Tale studio è stato condotto nell'ambito del Progetto PRIN 2008 "Ingegnerizzazione dell'Autoassemblaggio di Materiali Funzionali Molecolari Tramite Interazioni Fluorose".

d) una struttura costituita da un bilayer di poly-(3-hexylthiophene) (P3HT)/[6,6] e phenyl-C61-butiric-acid-methyl-ester (PCBM) è stata realizzata in un singolo step mediante MAPLE utilizzando lo stesso solvente per entrambe le deposizioni. Questo bilayer è stato impiegato per realizzare una cella solare organica e le sue caratteristiche sono state testate con successo. Ciò ha dimostrato la capacità di realizzare dispositivi a multistrato che sono estremamente difficili da fabbricare con le tecniche convenzionali quali lo spin coating.

#### 16). Realizzazione di nanopiramidi di ZnO

Mediante PLD sono stati realizzati film di nanostrutture di ZnO. La strutturazione in nanopiramidi si è ottenuta attraverso lo studio sistematico dei parametri di deposizione quali lunghezza d'onda del laser, temperatura del substrato, pressione dell'ossigeno in camera. Si è dimostrato che si aveva la strutturazione in nanopiramidi solo utilizzando la radiazione a più bassa lunghezza d'onda ( $\lambda = 193$  nm) ed una temperatura del substrato di 600 C. Le caratterizzazioni dei film depositati hanno evidenziato, dall'analisi del picco eccitonico, una alta qualità e sono stati testati quali sensori di gas a quenching ottico in grado di rilevare concentrazioni di ppm.

#### 17). deposizione di film per la spintronica

La spintronica sfrutta le proprietà dello spin nelle correnti elettroniche per la realizzazione di dispositivi a stato solido con caratteristiche altamente innovative. Tra i vari materiali utilizzati nella spintronica le manganiti come La<sub>0,7</sub>Sr<sub>0,3</sub>MnO<sub>3</sub> (LSMO) sono largamente investigate grazie alla loro natura "half-metal" in grado di iniettare all'interno dei dispositivi una corrente costituita da elettroni con un solo spin. Film di LSMO sono stati depositati mediante PLD usando un laser ad ArF ed una temperatura del substrato intorno ai 600 C. La qualità del film cresciuto è tale da permettere il suo impiego come elettrodo trasparente in sistemi spin-OLED. Inoltre sono stati depositati mediante PLD a doppio target film con spessore di 20 nm di ITO drogato con Cr come semiconduttore magnetico diluito (DMS) da utilizzare come elettrodi trasparenti, conduttivi e ferromagnetici. Infine si è iniziata lo

studio per la realizzazione di materiali massivi multiferroici, quali il  $\text{BiFeO}_3$ , con caratteristiche antiferromagnetiche e ferroelectriche da utilizzare in dispositivi spintronici e la loro deposizione mediante PLD come film sottili da utilizzare in dispositivi spintronici.

18). *grafittizzazione superficiale di lamine di diamante per rivelatori di radiazioni nucleari*

Per la rivelazione di radiazioni nucleari, raggi X, raggi gamma, particelle cariche ad alta energia, viene attualmente usato il silicio. In alternativa può essere impiegato il diamante che presenta delle caratteristiche migliori dei rivelatori a silicio, quali minore corrente di perdita, nessuna necessità di drogaggio sia di tipo p o di tipo n, funzionamento a temperatura ambiente, elevata resistenza elettrica e robustezza. La metallizzazione delle superfici di diamante comporta la formazione di barriere Schottky con conduzione non-ohmica che limita le performance di questi rivelatori. L'irraggiamento della superficie con un laser ad eccimeri ad ArF che presenta una energia per fotone maggiore dell'energy gap del diamante comporta la formazione di uno strato di grafite avente spessori di decine di nanometri con comportamento elettrico di tipo ohmico. L'analisi strutturale effettuata mediante microRaman ha dimostrato la presenza di grafite turbostratica costituita da piani di grafene sovrapposti con orientazione random. Queste strutture sono state testate come rivelatori nucleari presso i Laboratori INFN di Catania con ottimi risultati.

19). *Analisi quantitativa mediante delle punteggiature corneali mediante software imaging*

All'interno del Centro di Ricerca in Contattologia si sono sviluppate delle linee di ricerca nel campo della contattologia avanzata. In particolare è stata proposta una classificazione quantitativa delle punteggiature corneali mediante software imaging che ha ottenuto il primo premio nella più prestigiosa conferenza internazionale del settore.