

# Curriculum Vitae et Studiorum di Vicarelli Leonardo

aggiornato al 19 Settembre 2022

## TITOLI CONSEGUITI

---

Sett. 2012 - Feb. 2017

**Delft University of Technology** – Doctorate in Physics

Titolo della tesi: “In-situ Transmission Electron Microscopy Studies on Graphene”

Supervisore: Prof. Dr. H.W. Zandbergen

Voto finale: non contemplato

Tesi disponibile online presso:

<http://repository.tudelft.nl/islandora/object/uuid%3Ac11002b2-f033-44ac-bba9-fb3d32283d51?collection=research>

Feb. 2009 - Gen. 2012

**Università di Pisa** – Laurea Magistrale in Fisica

Titolo della tesi: “Terahertz Photodetection in Graphene Field Effect Transistors” condotta presso il laboratorio NEST (Pisa).

Supervisor: Dr. Vittorio Pellegrini & Prof. Dr. Alessandro Tredicucci

Voto finale: 108/110

Ott.2005 - Feb.2009

**Università di Pisa** – Laurea triennale in Fisica

Titolo della tesi: “Stato attuale dei gyrolaser di medie e grandi dimensioni e primi risultati della scarica capacitiva nel gyrolaser G-Pisa”

Relatrice: Dr. Angela Di Virgilio (INFN-Pisa)

Voto finale: 110/110 e lode

## **ESPERIENZE PROFESSIONALI**

---

- Nov. 2019 – in corso                      Assegno di ricerca presso l’Istituto Nanoscienze (NANO) del CNR.  
Argomento di ricerca: “Microcelle Golay in Grafene per sviluppo di sensori di immagini THz sensibili al colore” e “Microcavità Terahertz con doppia iniezione di carica”.
- Gen. 2019 - Sett. 2022                      Titolare di contratto di “Didattica Sussidiaria” per il corso di Fisica 1, nel CdL di Ingegneria Aerospaziale dell’Università di Pisa.
- Ott. 2018 - Sett. 2019                      Assegno di ricerca presso il Dipartimento di Fisica “E. Fermi” dell’Università di Pisa.  
Argomento di ricerca: “Sviluppo di transistor in grafene per rivelazione di radiazione ionizzante”.
- Ott. 2017 - Sett. 2018                      Assegno di ricerca presso l’Istituto Nanoscienze (NANO) del CNR.  
Argomento di ricerca: “Sviluppo di transistor in grafene per rivelazione di radiazione ionizzante”.

## **ESPERIENZA DI RICERCA SCIENTIFICA**

---

Nel corso della mia carriera educativa e lavorativa ho potuto acquisire una profonda conoscenza delle tecniche di fabbricazione di nanodispositivi in camera pulita e della caratterizzazione delle loro proprietà elettroniche, meccaniche e ottiche. Tale esperienza si è consolidata nei vari progetti a cui ho preso parte, in vari istituti di ricerca, Italiani ed Europei.

Nell’ambito dell’imaging THz, durante la tesi Magistrale svolta a Pisa ho realizzato un fotorivelatore per radiazione Terahertz basato su un field-effect transistor di grafene accoppiato con un’antenna log-periodica [1].

Durante il Dottorato di Ricerca, svolto nei Paesi Bassi presso la Delft University of Technology, ho approfondito lo studio del grafene e dei materiali 2D con l’ausilio della microscopia elettronica a trasmissione (TEM), studiando le proprietà elettroniche di nanoribbon di grafene sospeso fabbricati e misurati all’interno del microscopio elettronico stesso, con tecnica “in-situ” [2]-[7], [9].

La mia carriera mi ha riportato successivamente in Italia, presso il laboratorio NEST di Pisa, dove ho utilizzato le conoscenze acquisite sui materiali 2D per sviluppare un rivelatore di particelle ionizzanti a base di grafene, nell’ambito di una collaborazione fra l’Università di Pisa e l’Istituto Nanoscienze del CNR [8].

Più recentemente, i miei interessi scientifici si sono spostati verso il mondo dell’optomeccanica e dell’optoelettronica. Durante gli ultimi 2 anni e mezzo di ricerca, mi sono dedicato allo studio di membrane sospese di nitruro di silicio per la realizzazione di dispositivi micromeccanici. In particolare, utilizzando questo materiale ho realizzato un bolometro per rilevazione di radiazione sub-THz [12] e delle membrane forate con particolari pattern geometrici, tali da rendere la membrana assimilabile ad un materiale quasi-2D con proprietà meccaniche ortotropiche [13]. Per progettare il design delle membrane e dei trampolini mi sono servito di simulazioni ad elementi finiti (FEM) utilizzando il software COMSOL Multiphysics, al fine di ottimizzare il loro comportamento termomeccanico e la risposta alla radiazione elettromagnetica incidente. Ho realizzato tutti i dispositivi in camera pulita partendo dal substrato in silicio ricoperto da un sottile film di nitruro di silicio,

utilizzando tecniche di fabbricazione micromeccanica allo stato dell'arte. Per la caratterizzazione delle proprietà meccaniche, ho utilizzato tecniche di interferometria ottica come il self-mixing e il laser-doppler per misurare le loro frequenze proprie di risonanza.

Parallelamente allo studio delle membrane e trampolini in nitruro di silicio, ho partecipato alla caratterizzazione meccanica di nanostringhe di materiale piezoelettrico per lo studio della propagazione di onde acustiche di superficie (SAW) [10]. Inoltre ho collaborato alla fabbricazione in camera pulita di Quantum Cascade Lasers (QCL) con emissione nel THz di nuova concezione, basati su due microcavità cilindriche accoppiate da un sottile ponte metallico, tali da creare una forte emissione di dipolo verticale [11].

## **ESPERIENZA TECNICA DI LABORATORIO**

---

- Conoscenza di vari strumenti e tecniche tipicamente utilizzate nella fabbricazione di nanodispositivi in camera pulita (da classe 10.000 fino a classe 100), tra cui: evaporatore termico per metalli; Atomic Layer Deposition per deposizione di  $\text{Al}_2\text{O}_3$  e  $\text{HfO}_2$ ; Chemical Vapor Deposition e Sputtering per deposizione di  $\text{SiO}_2$ ; Reactive Ion Etching (RIE) con gas  $\text{CHF}_3$ ,  $\text{SF}_6$  per etching di Si,  $\text{SiO}_2$  e  $\text{Si}_3\text{N}_4$ ; cappa chimica, sia con solventi organici che inorganici (incluso HF e  $\text{HNO}_3$ ); etching di Silicio tramite KOH, per fabbricazione di membrane sospese di  $\text{Si}_3\text{N}_4$ .
- Electron Beam Lithography (EBL), esperienza acquisita su macchine Leica/Vistec 5000+ e 5200+ e su Zeiss UltraPlus equipaggiato con sistema Raith – Elphy Multibeam.
- Optical Lithography, esperienza acquisita su macchine EVG-620 (near-UV), Karl Suss MJB3 e Laser Writer DMO ML3, sia su campioni di piccole dimensioni (1x1 cm) che su wafer da 4 pollici.
- Microscopio Elettronico a Trasmissione (TEM), anche in modalità scansione (STEM), esperienza acquisita su macchine FEI Titan e Tecnai.
- Electron Energy Loss Spectroscopy (EELS), Energy-dispersive X-ray spectroscopy (EDS) ed Electron Diffraction per analisi chimica e cristallografica dei materiali.
- Focused Ion Beam (FIB) con sorgente di ioni  $\text{Ga}^+$ , per fabbricazione di campioni da utilizzare nel TEM (lamella).
- Utilizzo di laser visibili, infrarossi e sorgenti THz, compresa la realizzazione di cammini ottici complessi per setup interferometrici ed esperimenti di fotorivelazione.

## **CONOSCENZE INFORMATICHE**

---

Ottima conoscenza di Matlab, OriginLab e Labview, Sentaurus T-CAD e Comsol Multiphysics.

Approfondita conoscenza di software per design CAD, tra cui L-EDIT e DesignCAD-3D MAX, per disegnare le geometrie utilizzate nella fabbricazione di dispositivi su scala nano- e micrometrica tramite litografia elettronica ed ottica.

## **ATTIVITÀ DIDATTICA**

---

- Esercitatore nel corso di “Statistical Physics, TN-2624, Bachelor course for physicist and biophysicist”, presso la Delft University of Technology per tre anni accademici, dal 2012 al 2015. L'attività consisteva nel preparare e correggere esercizi di Fisica Statistica da risolvere con l'ausilio di computer (MATLAB). Inoltre era prevista la presenza e l'assistenza agli studenti durante le esercitazioni in classe.

- Titolare di contratto per “Didattica Sussidiaria” per il corso di Fisica 1, nel CdL di Ingegneria Aerospaziale dell’Università di Pisa per quattro anni accademici consecutivi, dal 2018-19 al 2021-22. Ho svolto esercitazioni frontali, preparato esercizi per gli appelli scritti, partecipato alle commissioni d’esame come “culture della materia”. Argomenti del corso: statica e dinamica del punto materiale e del corpo rigido, energia meccanica, equazioni di Eulero, leggi della termodinamica, trasformazioni termodinamiche.

## COMPETENZE E CAPACITÀ PERSONALI

---

### LINGUE

Italiano: lingua nativa

Inglese: fluente (livello C1 europeo)

Olandese: base (livello A2 europeo, autovalutazione)

Esami di lingua: TOEFL (iBT): 109/120, IELTS: 7.0/9.0 – ottenuti nel 2011

### CORSI DI FORMAZIONE

Presenting Scientific Research – Corso professionale della durata di 3 mesi, svolto presso la Delft University of Technology, per migliorare le capacità di presentazione scientifica

Writing a Scientific Article in English – Corso professionale della durata di 3 mesi, svolto presso la Delft University of Technology, per migliorare la qualità e la struttura delle pubblicazioni scientifiche

### PUBBLICAZIONI

---

- [1] L. Vicarelli, M.S. Vitiello, D. Coquillat, A. Lombardo, A.C. Ferrari, W. Knap, M. Polini, V. Pellegrini, A. Tredicucci, “Graphene field effect transistors as room-temperature Terahertz detectors”, **Nature Materials** **11**, 865 (2012)
- [2] Castellanos-Gomez, L. Vicarelli, E. Prada, J. O Island, KL Narasimha-Acharya, S. I Blanter, D. J Groenendijk, M. Buscema, G. A Steele, JV Alvarez, H. W. Zandbergen, J.J. Palacios, H. SJ van der Zant, “Isolation and characterization of few-layer black phosphorus”, **2D Materials** **1**, 025001 (2014)
- [3] S.J. Heerema, G.F. Schneider, M. Rozemuller, L. Vicarelli, H.W. Zandbergen, C. Dekker, “1/f noise in graphene nanopores”, **Nanotechnology** **26**, 074001 (2015)
- [4] L. Vicarelli, S. J. Heerema, C. Dekker, H. W. Zandbergen, “Controlling Defects in Graphene for Optimizing the Electrical Properties of Graphene Nanodevices”, **ACS Nano**, **9** (4), pp 3428–3435 (2015)
- [5] M. Neklyudova, A.K. Erdamar, L. Vicarelli, S. J. Heerema, T. Rehfeldt, G. Pandraud, Z. Kolahdouz, C. Dekker, and H. W. Zandbergen, "Through-membrane electron-beam lithography for ultrathin membrane applications", **Appl. Phys. Lett.** **111**, 063105 (2017)
- [6] S.J. Heerema, L. Vicarelli, S. Pud, R.N. Schouten, H.W. Zandbergen, C. Dekker, “Probing DNA Translocations with Inplane Current Signals in a Graphene Nanoribbon with a Nanopore”, **ACS Nano**. **12** (2018) 2623–2633
- [7] L. Vicarelli, V. Migunov, S. K. Malladi, H.W. Zandbergen, and R.E. Dunin-Borkowski, “Single Electron Precision in the Measurement of Charge Distributions on Electrically Biased Graphene Nanotips Using Electron Holography”, **Nano Letters** **2019** **19** (6), 4091-4096

- [8] G. Batignani, S. Bettarini, G. Borghi, M. Boscardin, A. Ciarrocchi, M. Crivellari, C. Coletti, A. Di Gaspare, A. Di Lieto, F. Forti, D. Goretti, N.P. Mishra, E. Paoloni, G. Rizzo, J. Scherzinger, A. Tredicucci, L. Vicarelli, N. Zorzi, “Development of graphene-based ionizing radiation sensors”, **Nuclear Inst. and Methods in Physics Research**, **A 936 (2019) 666-668**.
- [9] S. Basak, S. Ganapathy, S. K. Malladi, L. Vicarelli, H. Schreuders, B. Dam, E. M. Kelder, M. Wagemaker and H. W. Zandbergen, “Designing Reliable Operando TEM Experiments to Study (De)lithiation Mechanism of Battery Electrodes”, **J. Electrochem. Soc.** **166 A3384 (2019)**
- [10] A. Pitanti, T. Makkonen, M. F. Colombano, S. Zanotto, L. Vicarelli, M. Cecchini, A. Griol, D. Navarro-Urrios, C. Sotomayor-Torres, A. Martinez, and J. Ahopelto, “High-Frequency Mechanical Excitation of a Silicon Nanostring with Piezoelectric Aluminum Nitride Layers”, **Phys. Rev. Applied** **14, 014054 (2020)**
- [11] A. Ottomaniello, G. Conte, A. Pitanti, L. Vicarelli, A. Profeti, H. E. Beere, D. A. Ritchie, V. Mattoli, F. Bianco, A. Tredicucci, “Continuous wave vertical emission from terahertz microcavity lasers with a dual injection scheme”, **Opt. Express** **29, 33602-33614 (2021)**
- [12] L. Vicarelli, A. Tredicucci, A. Pitanti, “Micromechanical bolometers for sub-Terahertz detection at room temperature”, **ACS Photonics**, **9, 2, 360–367 (2022)**
- [13] G. Conte, L. Vicarelli, S. Zanotto, A. Pitanti, “Mechanical mode engineering with orthotropic metamaterial membranes”, **Adv. Mater. Technol.** **2022, 2200337**