

Curriculum Vitae et Studiorum

Valerio Bellucci

FORMAZIONE

- Dottorato in Fisica – percorso di studi in Struttura della Materia e Ottica Quantistica, conseguito presso l'Università degli Studi di Ferrara il 27 Febbraio 2015, con aggiunta del titolo di Doctor Europaeus. Tesi in lingua inglese dal titolo “Crystals with curved diffracting planes for hard X-ray optics”.
- Long Term Visitor presso l'Institut Laue-Langevin (Grenoble, Francia), scopo collaborazione scientifica (3 Giugno – 9 Settembre 2013).
- Synchrotron Radiation Summer School 2012 – dal 23 al 28 Settembre 2012, presso il sincrotrone Diamond Light Source (Oxford, UK).
- Tutore del corso “Metodi di Osservazione e Misura”, 2° anno del corso di studi in Ingegneria Civile e Ambientale, presso l'Università di Ferrara, negli anni accademici 2010/2011, 2011/2012, 2012/2013.
- Periodo Erasmus presso la Queen Mary University of London, Regno Unito (Settembre – Dicembre 2008).
- Laurea Magistrale in Fisica conseguita presso l'Università degli Studi di Ferrara in data 15/07/2011 con votazione 110 e lode, percorso di studio in Fisica e Tecnologia dei Materiali. Tesi dal titolo “Diffrazione di Laue in cristalli curvi per lo sviluppo di ottiche per raggi X duri”.
- Internato presso il Laboratorio Sensori e Semiconduttori dell'Università degli Studi di Ferrara (Gennaio – Giugno 2011), con borsa di studio dal titolo “Realizzazione e simulazione di cristalli di silicio per lo studio di fenomeni coerenti.”.
- Stage presso i laboratori del CERN (Ginevra) con sperimentazione su fascio dei cristalli indentati da me prodotti nel settembre 2009.
- Laurea in Fisica e Astrofisica conseguita presso l'Università degli Studi di Ferrara in data 17/07/2009 con votazione 110 e lode. Tesi dal titolo “Deformazione di cristalli di silicio mediante indentazioni”.
- Internato presso il Laboratorio Sensori e Semiconduttori dell'Università degli Studi di Ferrara (Gennaio – Giugno 2009).
- Diploma di Liceo Scientifico conseguito presso il Liceo Scientifico Vito Volterra (Fabriano) in data 04/07/2006 con votazione 100/100.

COMPETENZE TECNICHE

- Lavorazione e Microlavorazione del silicio.
- Caratterizzazione di superfici tramite profilometria.
- Esperienze di utilizzo di camere pulite.
- Analisi di strutture cristalline tramite diffrazione di raggi x (XRD).
- Utilizzo di apparecchiature elettroniche per la rivelazione di particelle e radiazione ad alta energia.
- Basi di programmazione in linguaggio C.
- Competenza di programmazione in linguaggio Mathematica.
- Conoscenza di sistemi operativi Windows e Linux.

CONOSCENZE LINGUISTICHE

Conoscenza lingua inglese, Scritta: C1

Parlata: C1

Comprensione testo: C1

Conseguimento diplomi linguistici: FCE ESOL (in data 20/12/2012)

TESI TRIENNALE – “Deformazione di cristalli di silicio mediante indentazioni” sviluppata presso il Laboratorio Sensori e Semiconduttori dell’Università degli Studi di Ferrara, Dipartimento di Fisica

È possibile produrre una deformazione plastica nel silicio cristallino attraverso indentazioni superficiali. L’interno del cristallo mantiene intatta la sua struttura cristallina, consentendo la curvatura non distruttiva dello stesso. Malgrado la metodologia delle indentazioni avesse mostrato interessanti prospettive applicative sin dal 2003, non era mai stata effettuata una sistematica ricerca dei parametri fisici che controllano la deformazione da queste apportata, né uno studio sulla controllabilità e riproducibilità della stessa. Nel lavoro di tesi ne sono stati sistematicamente analizzati i parametri fisici, indentando campioni di silicio monocristallino con una sega automatizzata di alta precisione, questi sono poi stati analizzati con un profilometro ottico interferenziale. Si è poi sviluppato un modello analitico del fenomeno in grado di produrre previsioni realistiche dello stato deformazionale al variare dei parametri fisici in gioco, questo è stato verificato attraverso i dati sperimentali acquisiti sui campioni con il profilometro ottico e attraverso analisi per diffrazione di raggi x (diffrattometro e sincrotrone).

Il fenomeno studiato trova tre principali applicazioni:

- nella fisica degli acceleratori per la realizzazione di cristalli incurvati utili per la manipolazione del fascio di particelle tramite channeling ad alta efficienza e riflessione di volume.
- sviluppo di un onduttore cristallino, cioè una sorgente di raggi x di alta energia (anche centinaia di keV) altamente coerenti e monocromatici.
- realizzazione di una Lente di Laue, cioè una lente per la concentrazione di raggi x anche di elevata energia (centinaia di keV) attraverso riflessione di Bragg in attraversamento.

L’attività di tesi ha costituito la base di partenza per uno studio di un prototipo di lente di Laue finanziata dall’Associazione Spaziale Italiana (ASI) a partire dal Gennaio 2011 e basato sull’indentazione superficiale di cristalli covalenti ad alta perfezione reticolare quali silicio e germanio.

TESI MAGISTRALE – “Diffrazione di Laue in cristalli curvi per lo sviluppo di ottiche per raggi X duri” sviluppata presso il Laboratorio Sensori e Semiconduttori dell’Università degli Studi di Ferrara, Dipartimento di Fisica

Lo scopo di questo lavoro di tesi è lo studio delle caratteristiche dei cristalli con piani di diffrazione curvi (Curved Diffraction Planes) in vista delle loro possibilità applicative, in particolare per la realizzazione di lenti per la focalizzazione di raggi X duri. L’impossibilità di focalizzare in modo efficiente fotoni di energia così elevata è un problema antico per gli strumenti che lavorano in questa banda. Per energie superiori ai 70 keV, anche le prestazioni degli specchi ad incidenza radente e degli specchi multistrato cala drasticamente. Per questa ragione, la rilevazione di raggi X duri è basata su strumenti a vista diretta, dotati di scarsa sensibilità e risoluzione. Negli ultimi 10 anni sono stati fatti grandi sforzi per la costruzione di lenti in grado di focalizzare fotoni con energie nell’intervallo 70 keV – 1 MeV, dette lenti di Laue. Questi strumenti basano il loro funzionamento su fenomeni di diffrazione coerente (diffrazione di Bragg), invece che su fenomeni di rifrazione o riflessione, come nel caso delle lenti e degli specchi ordinari.

Le lenti di Laue troverebbero un'applicazione elettiva nell'astrofisica e nella medicina nucleare. Infatti, in molte parti dell'Universo avviene emissione di raggi- γ , ad iniziare dal sole, fino ai γ -ray bursts (GRBs) con redshifts $z > 8$, e al fondo cosmico di raggi- γ prodotto nei primi istanti di vita dell'Universo. Molti processi cosmici di accelerazione si manifestano con l'emissione di raggi- γ . Si possono osservare nei brillamenti solari, o più lontani nella nostra Galassia, come nei sistemi compatti di stelle binarie, nelle pulsar, nelle supernove e nei loro residui, o negli oggetti distanti come i nuclei galattici attivi e i GRBs. Le sorgenti cosmiche di raggi X producono un flusso di fotoni molto basso, quindi il rapporto segnale rumore dello strumento diventa un fattore fondamentale per l'indagine delle stesse. Oggi, solo gli spettri delle sorgenti più intense sono conosciuti per energie al disopra dei 70 keV. Uno strumento a focalizzazione consentirebbe di studiare in dettaglio la struttura di queste sorgenti, e di capirne meglio i meccanismi fisici che vi sono alla base.

Un'altra disciplina che può trarre beneficio dall'utilizzo dei cristalli curvi è la medicina nucleare. Utilizzando ottiche focalizzanti basate sui cristalli curvi in sistemi di imaging nucleari, sarebbe possibile aumentare la sensibilità e la precisione di questi strumenti. La risoluzione spaziale dello strumento risulterebbe aumentata fino a raggiungere una precisione sub-millimetrica, rendendo possibile localizzare con maggiore precisione tumori e altri fenomeni d'interesse, e di fornire ulteriori informazioni sugli stessi. Vista l'elevata riflettività dei cristalli curvi, anche il numero di fotoni che possono essere raccolti sul detector risulterebbe aumentato, con un conseguente miglioramento della sensibilità dello strumento, e una diminuzione della dose di radio-farmaco da iniettare nel paziente.

Tuttavia, le lenti di Laue sviluppate fin'ora sono costituite da cristalli perfetti o mosaico, e presentano difficoltà costruttive, bassa riproducibilità ed efficienza limitata.

I cristalli dotati di piani di diffrazione curvi (CDP crystals) sono una tecnologia emergente nell'ottica dei raggi X, in quanto permettono di cambiare la direzione di fotoni di elevata energia con efficienza vicina all'unità. Il continuo cambiamento dell'angolo di incidenza dei fotoni sui piani di diffrazione lungo lo spessore del cristallo produce anche un allargamento dell'intervallo delle energie dei fotoni che il cristallo è in grado di diffrangere. Il risultato è un aumento della sensibilità ed un allargamento dell'angolo di vista della lente.

Nella prima parte della tesi è stato analizzato il comportamento teorico di cristalli con curvatura singola, cambiando i parametri di costruzione del cristallo ed il suo regime di utilizzo. È stato dimostrato che la riflettività di un cristallo CDP rimane elevata per un ampio intervallo di condizioni di utilizzo. L'elaborazione teorica è stata verificata sperimentalmente tramite cristalli di silicio prodotti durante questo lavoro di tesi, e analizzati su fascio di luce di sincrotrone (ESRF, Grenoble).

Poi, è stato studiato il comportamento di cristalli con due curvature. In questo caso, è possibile trasformare un singolo cristallo in uno strumento focalizzante. La prima curvatura (curvatura superficiale) produce l'effetto di focalizzazione tramite un cambiamento continuo dell'inclinazione dei piani di diffrazione rispetto ad un fascio parallelo incidente sul cristallo. Come in una lente sferica, i fotoni vengono deviati verso il fuoco determinato dalla curvatura del cristallo.

La seconda curvatura (curvatura interna o curvatura quasi-mosaico) provvede a curvare i piani di diffrazione, in modo da aumentare l'efficienza di diffrazione e allargare l'intervallo di energie diffratte. Il fenomeno può essere usato in una lente di Laue per aumentare la sensibilità e la risoluzione di un ordine di grandezza.

Il formalismo sviluppato dalla Teoria Dinamica della Diffrazione permette di descrivere analiticamente cristalli con piani di diffrazione piatti, o cristalli con piani di diffrazione fortemente deformati. Alcune applicazioni dei cristalli CDP richiedono basse curvature, in particolare quando vengono utilizzati cristalli con elevato numero atomico. In questo caso, il formalismo della teoria dinamica non può essere applicato in maniera semplice. Per questo motivo, è stata sviluppata una descrizione analitica della diffrazione di raggi-X in questo intervallo di curvature, capace di produrre previsioni realistiche delle proprietà di diffrazione di un cristallo curvo, per qualsiasi curvatura o materiale utilizzato. Le previsioni del modello coincidono con le previsioni della teoria dinamica nel

suo intervallo di applicabilità. I calcoli si sono in parte basati su programmi analitici/numerici sviluppati sulla piattaforma Mathematica.

Questo lavoro di tesi è stato sviluppato nell'ambito del Progetto Laue, finanziato dall'Agenzia Spaziale Italiana (ASI), che punta allo sviluppo di un prototipo di lente per raggi-X duri dotata di elevata sensibilità e risoluzione.

TESI DI DOTTORATO (in lingua inglese) – “Crystals with curved diffracting planes for hard X-ray optics” sviluppata presso il Laboratorio Sensori e Semiconduttori dell'Università degli Studi di Ferrara, Dipartimento di Fisica

I cristalli con piani di diffrazione curvi (cristalli con CDP) sono una tecnologia emergente nell'ottica dei raggi-X duri. Attraverso di essi, è possibile manipolare fasci di raggi-X duri con elevata efficienza e flessibilità. I dispositivi ottici usati per manipolare la luce visibile non sono efficaci nel manipolare radiazione ad alta energia. Infatti, i fenomeni di riflessione e rifrazione su cui essi si basano diventano irrilevanti per onde elettromagnetiche con elevata energia. Per questo motivo, finora l'ottica di raggi X-duri e dei raggi gamma è stata basata su strumenti a vista diretta.

Al contrario, i fenomeni di diffrazione sono rilevanti anche ad alte energie. Pertanto, è possibile manipolare fasci di raggi-X duri tramite diffrazione di Bragg. La diffrazione di Bragg è chiamata diffrazione di Laue quando l'onda elettromagnetica passa attraverso il cristallo. Questa configurazione è preferibile rispetto alla diffrazione in geometria di riflessione (diffrazione di Bragg) a causa dell'elevata lunghezza di penetrazione dei fotoni ad alta energia. Recentemente, sono stati sviluppati sistemi ottici basati su cristalli perfetti o cristalli a mosaico. Tuttavia, gli strumenti basati su questi materiali hanno difficoltà costruttive, scarsa riproducibilità, e infine una efficienza limitata.

Al contrario, cristalli con piani reticolari curvi hanno un'efficienza nella manipolazione dei raggi-X che si avvicina all'unità. Attraverso la curvatura dei loro piani, offrono un continuum di possibili angoli di diffrazione per la radiazione incidente. Quindi, la curvatura dei piani permette di manipolare fotoni in una vasta gamma di energie. È anche possibile applicare più di una curvatura ad un singolo cristallo, deformando la sua simmetria, così da trasformarlo in un elemento focalizzante.

I cristalli curvi trovano un'applicazione elettiva nella costruzione di lenti per raggi-X duri (lenti di Laue). Queste lenti sono composte da una moltitudine di cristalli con piani di diffrazione orientati verso un punto comune, in modo da diffrangere la radiazione incidente verso il punto focale della lente. Questo strumento è particolarmente utile nel campo dell'astrofisica e della fisica medica. Infatti, l'osservazione del cielo oltre energie di 70 keV è ancora lasciata agli strumenti a vista diretta. Questi strumenti hanno una bassa risoluzione angolare, un basso rapporto segnale rumore, ed un peso elevato, che è un parametro importante perché l'osservazione di raggi-X da sorgenti celesti è possibile solo fuori dall'atmosfera. Le fonti cosmiche di raggi-X producono un bassissimo flusso di fotoni, quindi il rapporto segnale-rumore dello strumento diventa un fattore chiave per lo studio di queste sorgenti. A tutt'oggi, solo gli spettri delle sorgenti più intense sono conosciuti ad energie superiori di 70 keV.

Un'altra disciplina che può beneficiare dell'uso dei cristalli curvi è la medicina nucleare. Infatti, sarebbe possibile aumentare la sensibilità e la precisione di strumenti per medicina nucleare utilizzando ottiche di focalizzazione basate su cristalli curvi. La risoluzione spaziale dello strumento potrebbe essere aumentata ad una precisione sub-millimetrica. Con questa precisione sarebbe possibile individuare accuratamente tumori e altri fenomeni di interesse, e fornire ulteriori informazioni sugli stessi. L'elevata riflettività dei cristalli curvi aumenterebbe anche il numero di fotoni raccolti sul rivelatore, con un conseguente miglioramento della sensibilità dello strumento, e una diminuzione della dose di radio farmaco da iniettare nel paziente.

Il formalismo sviluppato finora dalla teoria dinamica della diffrazione permette di descrivere efficacemente cristalli con piani di diffrazione piatti, o cristalli con piani di diffrazione fortemente

deformati. Diverse applicazioni richiedono piani con curvature basse, in particolare quando si utilizzano cristalli con elevato numero atomico. In questo caso, il formalismo della teoria dinamica non è applicabile in modo semplice. Per conoscere le prestazioni dei cristalli curvi in queste aree di applicazione, è necessario lo sviluppo di una trattazione dedicata allo scopo. Il lavoro teorico in questa tesi tocca lo sviluppo della teoria dinamica della diffrazione per coprire alcune sue debolezze nella trattazione di diffrazione da piani con bassa curvatura.

Il lavoro di sviluppo tecnologico e costruzione di hardware per la ricerca scientifica si è focalizzato sullo sviluppo e la produzione di cristalli innovativi per la costruzione di lenti per raggi-X duri. La costruzione delle lenti di Laue è stata semplificata con l'introduzione di cristalli focalizzanti. Il lavoro di tesi è stato parzialmente svolto nell'ambito del Progetto LAUE, finanziato da ASI, il cui scopo era la costruzione di una lente di Laue con grande superficie. Il lavoro svolto durante la tesi di dottorato ha portato ad un ripensamento del progetto al fine di utilizzare cristalli focalizzanti in modo da aumentare la risoluzione e la sensibilità della lente.

Il lavoro sui cristalli per le lenti di Laue non si è concluso con il Progetto LAUE, ma è continuato con una serie di innovazioni tecnologiche con l'obiettivo di aumentare la massima risoluzione e sensibilità ottenibili con le lenti di Laue. Queste innovazioni includono l'introduzione di cristalli con molteplici curvature e cristalli focalizzanti, lo studio di nuovi metodi con cui produrre cristalli con CDP, la costruzione di pile di multi-cristalli, l'utilizzo dei piani di diffrazione asimmetrici curvi. Le prove sperimentali sono state eseguite presso le strutture di ESRF (European Synchrotron Radiation Facility, Grenoble, Francia), ILL (Institut Laue-Langevin, Grenoble, Francia) e LARIX (LARGe Italian X-ray facility, Ferrara, Italia).

Sono anche state eseguite simulazioni per stimare le possibili interferenze che una lente di Laue potrebbe subire in orbita a causa dell'interazione con raggi cosmici e la conseguente produzione di raggi-X parametrici. Questa fonte di raggi-X potrebbe interferire con le misurazioni di sorgenti di raggi-X celesti. Il lavoro svolto in questa tesi ha portato all'esclusione di tale possibilità, poiché l'emissione di raggi-X parametrici sarebbe inferiore alla sensibilità della lente stessa.

Infine, le tecnologie sviluppate per produrre cristalli curvi sono state utilizzate per la costruzione di un onduttore cristallino, cioè un prototipo di sorgente di raggi X ad alta energia e ad alto flusso. I piani reticolari di un cristallo sono stati modellati in una struttura ondulata. Le particelle cariche ad alta energia incanalate attraverso questi piani possono produrre raggi-X coerenti. La caratterizzazione di questi piani reticolari ha mostrato risultati quasi ideali. Il prototipo costruito sarà parte di un esperimento presso l'acceleratore SLAC (San Francisco, USA).

ELENCO DELLE PUBBLICAZIONI

- G. Paternò, V. Bellucci, R. Camattari and V. Guidi, “Design study of a Laue lens for nuclear medicine”, *J. Appl. Cryst.* (2015). 48, 125-137
- Bellucci, V., Paternò, G., Camattari, R., Guidi, V., Jentschel, M. & Bastie, P., “High-efficiency diffraction and focusing of X-rays through asymmetric bent crystalline planes” (2015). *J. Appl. Cryst.* 48, doi:10.1107/S1600576714024960.
- R Camattari, G Paternò, V Bellucci, V Guidi, “Quasi-mosaicity of (311) planes in silicon and its use in a Laue lens with high-focusing power”, *Experimental Astronomy* (2014), 1-15 doi: 10.1007/s10686-014-9429-7
- E Bagli, L Bandiera, V Bellucci, A Berra, R Camattari, D De Salvador, G Germogli, V Guidi, L Lanzoni, D Lietti, A Mazzolari, M Prest, VV Tikhomirov, E Vallazza, “Experimental evidence of planar channeling in a periodically bent crystal”, *The European Physical Journal C* (2014) 74 (10), 1-7

- R Camattari, E Dolcini, V Bellucci, A Mazzolari, V Guidi, “High diffraction efficiency with hard X-rays through a thick silicon crystal bent by carbon fiber deposition”, *Applied Crystallography* (2014) 47 (5), 1762-1764
- V Bellucci, R Camattari, V Guidi, P Bastie, “Stack of quasi-mosaic thin lamellae as a diffracting element for Laue lenses”, *Experimental Astronomy* (2014) 38, 25-40
- R Camattari, G Paterno, A Battelli, V Bellucci, P Bastie, V Guidi, “High-efficiency focusing of hard X-rays exploiting the quasi-mosaic effect in a bent germanium crystal”, *Journal of Applied Crystallography* (2014) 47 (2), 799-802
- R Camattari, A Battelli, V Bellucci, V Guidi, “Highly reproducible quasi-mosaic crystals as optical components for a Laue lens”, *Experimental Astronomy* (2014) 37 (1), 1-10
- Vincenzo Liccardo, Enrico Virgilli, Filippo Frontera, Vineeth Valsan, Elisa Buffagni, Claudio Ferrari, Elisa Bonnini, Andrea Zappettini, Vincenzo Guidi, Valerio Bellucci, Riccardo Camattari, “Study and characterization of bent crystals for Laue lenses”, *Experimental Astronomy* (2014) DOI: 10.1007/s10686-014-9425-y
- V Bellucci, R Camattari, V Guidi, “Proposal for a Laue lens relying on hybrid quasi-mosaic curved crystals” (2013) *Astronomy and Astrophysics* 560, 58
- V Bellucci, R Camattari, V Guidi, “Quasi-mosaicity as a powerful tool to investigate coherent effects” (2013) *SPIE Optical Engineering+ Applications*, 88610B-88610B-16
- E Virgilli, F Frontera, V Valsan, V Liccardo, V Carassiti, S Squerzanti, M Statera, M Parise, S Chiozzi, F Evangelisti, E Caroli, J Stephen, N Auricchio, S Silvestri, A Basili, F Cassese, L Recanatesi, V Guidi, V Bellucci, R Camattari, C Ferrari, A Zappettini, E Buffagni, E Bonnini, M Pecora, S Mottini, B Negri, “The LAUE project and its main results” (2013) *SPIE Optical Engineering+ Applications*, 886107-886107-17
- R Camattari, A Battelli, V Bellucci, I Neri, V Guidi, F Frontera “Fabrication of quasi-mosaic Ge crystals for the LAUE project”, *SPIE Optical Engineering+ Applications* (2013) 88610C-88610C-8
- I. Neri, R. Camattari, V. Bellucci, V. Guidi, P. Bastie, “Ordered stacking of crystals with adjustable curvatures for hard X- and γ -ray broadband focusing”, *Journal of Applied Crystallography* (2013) 46 (4), 0-0
- R. Camattari, V. Guidi, V. Bellucci, I. Neri, F. Frontera, M. Jentschel, “Self-standing quasi-mosaic crystals for focusing hard X-rays”, *Review of Scientific Instruments* (2013) 84, 053110
- V. Guidi, V. Bellucci, R. Camattari, I. Neri, “Curved crystals for high-resolution focusing of X and gamma rays through a Laue lens”, *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section B* (2013) 309, 249-253
- V. Bellucci, V. Guidi, R. Camattari, I. Neri, “Calculation of diffraction efficiency for curved crystals with arbitrary curvature radius”, *Journal of Applied Crystallography* 46 (2), 415-420 2013
- I. Neri, R. Camattari, V. Bellucci, V. Guidi, P. Bastie, “Stack of curved crystals as optical component for hard x-and gamma-ray focusing through a Laue lens”, *SPIE Astronomical Telescopes+ Instrumentation*, 844334-844334-10 1 2012
- V. Bellucci, R. Camattari, V. Guidi, A. Mazzolari, “Bending of silicon plate crystals through superficial grooving: Modeling and experimentation”, *Thin Solid Films* 520 (3), 1069-1073 6 2011
- V. Guidi, V. Bellucci, R. Camattari, I. Neri, “Proposal for a laue lens with quasi-mosaic crystalline tiles”, *Journal of Applied Crystallography* 44 (6), 1255-1258 7 2011

- V. Guidi, N. Barrière, V. Bellucci, R. Camattari, I. Neri, "Bent crystals by surface grooving method for high-efficiency concentration of hard x-ray photons by a Laue lens", SPIE Optical Engineering+ Applications, 81471E-81471E-7 2 2011
- R. Camattari, V. Bellucci, V. Guidi, I. Neri "Quasi-mosaic crystals for high-resolution focusing of hard x-rays through a Laue lens", SPIE Optical Engineering+ Applications, 81471G-81471G-8 2 2011
- I. Neri, V. Guidi, E. Bagli, V. Bellucci, R. Camattari, "Proposal For A High Reflectivity Laue Lens Tuned On The 511 keV Emission Line", X-ray Astrophysics up to 511 keV 1, 42 2011
- V. Bellucci, R. Camattari, V. Guidi, I. Neri, "Analytical And Numerical Approaches For Diffraction Efficiency In Low-curvature Curved Crystals", X-ray Astrophysics up to 511 keV 1, 6 2011
- V. Guidi, V. Bellucci, R. Camattari, I. Neri, "Bent crystals by superficial grooves for high-efficiency concentration of hard x-ray photons by a laue lens", X-ray Astrophysics up to 511 keV 1, 28 1 2011
- V. Bellucci, R. Camattari, V. Guidi, I. Neri, N. Barrière, "Self-standing bent silicon crystals for very high efficiency Laue lens", Experimental Astronomy 31 (1), 45-58 12 2011
- V. Bellucci, R. Camattari, V. Guidi, I. Neri, N. Barrière, N.V. Abrosimov, "Experimental study on grooved Si and Ge crystals for Laue lens application", Nuovo Cimento-C 34 (4), 503 1 2011
- V. Guidi, V. Bellucci, R. Camattari, I. Neri, "Mechanical properties of crystals bent through indentations for the realization of a Laue lens for concentration of hard x-rays", AIMETA 2011
- N. Barriere, V. Guidi, V. Bellucci, R. Camattari, T. Buslaps, J. Rousselle, G. Roudil, F.X. Arnaud, P. Bastie, L. Natalucci, "High diffraction efficiency at hard X-ray energy in a silicon crystal bent by indentation", Journal of Applied Crystallography 43 (6), 1519-1521 16 2010

PRESENTAZIONI A CONGRESSI S WORKSHOP

- V Bellucci, R Camattari, V Guidi, "Quasi-mosaicity as a powerful tool to investigate coherent effects" speech at SPIE (2013) Optical Engineering+ Applications
- V. Liccardo, E. Virgili, F. Frontra, V. Valsan, V. Guidi, V. Bellucci, R. Camattari, I. Neri, C. Ferrari, E. Buffagni, A. Zappettini, "Charaterization of bent crystals for Laue lenses", poster at SPIE (2012) Optical Engineering+ Applications
- R. Camattari, V. Bellucci, V. Guidi and I. Neri, "Proposal for a Laue lens tuned on the 511-keV annihilation line", poster at International Workshop on Positrons in Astrophysics (2012).
- V. Guidi, N. Barrière, V. Bellucci, R. Camattari and I. Neri, "Bent crystals by surface grooving method for high-efficiency concentration of hard x-ray photons by a Laue lens", poster a SPIE (2011) Optical Engineering+ Applications.
- R. Camattari, V. Bellucci, V. Guidi and I. Neri, "Quasi-mosaic crystals for high-resolution focusing of hard x-rays through a Laue lens", poster a SPIE (2011) Optical Engineering+ Applications.
- R. Camattari, V. Guidi, V. Bellucci, and I. Neri, "Proposal for a Laue lens with quasi-mosaic crystalline tiles", poster a International Conference on X-ray Astrophysics up to 511 keV (2011).

- I. Neri, E. Bagli, V. Bellucci, R. Camattari, V. Guidi, “Proposal for a high-reflectivity Laue lens tuned on the 511-keV emission line”, poster a International Conference on X-ray Astrophysics up to 511 keV (2011).
- V. Bellucci, R. Camattari, V. Guidi and I. Neri , “Analytical and numerical approaches for diffraction efficiency in low-curvature curved crystals”, poster a International Conference on X-ray Astrophysics up to 511 keV (2011).
- R. Camattari, N. Abrosimov, N. Barriere, P. Bastie, V. Bellucci, V. Guidi, I. Neri, G. Roudil, J. Rousselle, “High efficiency diffraction at hard X-ray energy in Silicon crystals bent by superficial indentation”, poster a International Conference on Charged and Neutral Particles Channeling Phenomena (2010).
- V. Bellucci, R. Camattari, V. Guidi , “Adjustable bending of silicon plates through mechanical indentations”, poster a International Conference on Charged and Neutral Particles Channeling Phenomena (2010).

Il sottoscritto acconsente, ai sensi del D.Lgs. 30/06/2003 n.196, al trattamento dei propri dati personali. Il sottoscritto acconsente alla pubblicazione del presente curriculum vitae sul sito dell'Università di Ferrara

Luogo e Data

Ferrara, 14-07-2015

Firma

