

Un microscopio a raggi x con risoluzione spaziale nanometrica

La tendenza attuale alla miniaturizzazione sempre più spinta ed alla realizzazione di strutture nanometriche ha come ovvia conseguenza la ricerca di metodi diagnostici ad alta risoluzione spaziale. Allo scopo di ovviare ai limiti intrinseci nelle tecniche di caratterizzazione attualmente utilizzate, è stata avviata una ricerca che ha portato allo sviluppo di un microscopio a raggi x di concezione innovativa, in grado di raggiungere risoluzioni spaziali nanometriche.

Dato l'alto potere penetrante dei raggi x e la loro capacità di fornire informazioni strutturali dettagliate, questo nuovo strumento permetterà di studiare le proprietà locali dei materiali, inclusi quelli biologici, con una risoluzione spaziale mai raggiunta prima.

Le lenti ad alto potere rifrattivo che vengono impiegate nei microscopi ottici non sono facilmente trasferibili nei raggi x in quanto in questa regione dello spettro elettro-magnetico la rifrazione diventa un fenomeno quasi trascurabile. Lo IESS (Istituto di Elettronica dello Stato Solido), in collaborazione con ricercatori del sincrotrone Elettra (Trieste), del PASTIS-CNRS (Brindisi) e dell'European Synchrotron Radiation Facility (ESRF-Grenoble), ha perciò sviluppato un nuovo tipo di "ottica" per microscopia con raggi x basata su un fenomeno di risonanza simile a quello che ha luogo in un interferometro, e le metodologie di misura relative. L'elemento ottico, che chiameremo guida d'onda (o WG da Wave-Guide), fornisce un fascio di raggi x altamente coerente con dimensioni spaziali, nella direzione perpendicolare alla superficie della guida d'onda, dell'ordine di qualche decina di nanometri (1 nanometro = 1/1.000.000 mm.) e con una divergenza di circa 1 mrad (0.057°). Si verifica inoltre un

An x-ray microscope with nanometric spatial resolution

The competition in pushing the miniaturisation and the fabrication of nanometric structures requires, as obvious consequence, the development of diagnostic tools with high spatial resolution. In order to overcome the intrinsic limits of the characterisation methods presently used, a research activity was started resulting in the development of an x-ray microscope of novel conception able to reach nanometric spatial resolution.

Due to the high penetration power of x-rays and to their capability to provide detailed structural information, this new instrument will allow to study the local properties of materials, including biomaterials, with a spatial resolution never reached before.

The high refractive power lenses commonly used in optical microscopy cannot easily be transferred to the x-ray part of the electro-magnetic spectrum where the refraction process becomes almost negligible. Thus for x-ray microscopy the IESS (Istituto di Elettronica dello Stato Solido), in collaboration with researchers of the Elettra Synchrotron Radiation (Trieste), of PASTIS-CNRS (Brindisi) and of the European Synchrotron Radiation Facility (ESRF-Grenoble), developed a novel x-ray optics based on a resonance phenomena similar to the optical interferometer, and the relative measurement methodologies. The optical element, that we call Waveguide (WG), provides an x-ray beam highly coherent with spatial dimensions, in the direction perpendicular to the WG surface, of the order of few tens of nanometers (1 nanometer = 1/1,000,000 mm.) and with a divergence of about 1 mrad (0.057°). Furthermore it causes a strong flux density enhancement (output flux density over input flux density) that in the most recent WG's achieved a value as high as 100. These unique features allowed to carry out novel microradi-

Focus

Un microscopio a raggi x con risoluzione spaziale nanometrica

An x-ray microscope with nanometric spatial resolution

aumento della densità di flusso (rapporto tra densità di flusso in uscita rispetto alla densità di flusso in entrata) che nelle guide d'onda più recenti ha raggiunto un valore record di 100. Queste caratteristiche uniche hanno permesso di realizzare una serie di esperimenti innovativi nel campo della microradiografia e della microdiffrazione, nei quali le proprietà strutturali locali dei campioni vengono "proiettate" e ingrandite su opportuni rivelatori. Per dimostrare le potenzialità di questa metodologia abbiamo scelto una struttura microelettronica di interesse industriale. I campioni-test, forniti dalla ST-Microelectronics, erano costituiti da substrati di Si sulla cui superficie erano state realizzate strisce di ossido di isolamento di dimensioni sub-micrometriche. Utilizzando metodologie di misura e di analisi dati opportune abbiamo effettuato esperimenti di microdiffrazione su questi campioni presso la linea ID13 dell'ESRF.

Questi risultati, recentemente apparsi su «Nature», mostrano per la prima volta in assoluto che i raggi x sono in grado di dare informazioni strutturali locali con risoluzioni nanometriche. Attualmente questa tecnica è da noi utilizzata all'interno di un progetto europeo del programma Information Societies Technology per la determinazione accurata delle deformazioni locali in materiali per la microelettronica.

Le applicazioni possibili di questa nuova metodologia non sono però limitate ai materiali per la microelettronica, né la tecnica di microdiffrazione esaurisce le potenzialità offerte dalle guide d'onda per raggi x. Interessanti ricadute sono previste in generale nello studio delle proprietà locali di materiali, anche biologici, e delle loro modifiche a seguito di processi di vario tipo. I campi di applicazione possibili sono perciò molteplici, quali l'analisi di nanostrutture, la caratterizzazione di materiali e di bio-materiali, lo studio di materiale biologico e di micro-cristalli di proteine, l'analisi microscopica di reperti, ecc.



CNR

Istituto di Elettronica dello Stato Solido

ography and microdiffraction experiments where the local properties of the samples were "projected" and magnified on suitable detectors. In order to demonstrate the potentialities of this methodology we chosen a microelectronics structure of industrial interest. The test samples, provided by ST-Microelectronics, were Si substrates with sub-micrometer stripes of insulating oxide on top. Applying suitable measurement and data analysis procedures we carried out microdiffraction experiments on these samples at the beamline ID13 of ESRF.

These results, recently published in «Nature», show for the first time that x-rays can give local structural information with a nanometric spatial resolution. Presently this technique is used by us in the frame of a European project of the Information Societies Technology programme for the accurate determination of local strain in microelectronics materials.

The potential applications of this new methodology are neither limited only to microelectronics material, nor is the microdiffraction technique the only possible application of x-ray waveguides. Interesting applications are foreseen in general in the study of locally varying material properties, including bio-materials, and in their modification during and after various processes. The possible application fields are therefore manifold, such as nanostructure analysis, materials and bio-materials characterisation, studies of biological matter and of protein micro-crystals, microscopic analysis in archeometry, etc.



CNR

Institute of Solid-State Electronics