

**ISTITUTO NAZIONALE DI FISICA
NUCLEARE**

Preventivo per l'anno 2004

Codice	Esperimento	Gruppo
	ARCHIMEDE	5
Rapp. Naz.: V. Rigato		

Rappresentante nazionale: V. Rigato
Struttura di appartenenza: LNL
Posizione nell'I.N.F.N.:

INFORMAZIONI GENERALI	
Linea di ricerca	Rivelazione e focalizzazione di radiazione EUV e soft-X con dispositivi a multistrato. Trasporto di luce di sincrotrone e radiazione XUV prodotta da sorgenti XUV di nuova generazione.
Laboratorio ove si raccolgono i dati	LNL, Univ. PD (Dip. Elettronica Informatica), Brescia (XRR), Trieste (Elettra), ESRF (Grenoble), Torino (Politecnico), LNF (DAFNE-Luce)
Sigla dello esperimento assegnata dal laboratorio	ARCHIMEDE
Acceleratore usato	AN 2000, CN DAFNE ELETTRA -BEARS ESRF - GILDA
Fascio (sigla e caratteristiche)	1H, Deuterio, 4He, 15N Luce di sincrotrone
Processo fisico studiato	Interazione di radiazione X e EUV con strutture a film sottile a multistrato. Crescita e nucleazione di strati ultrasottili a bassa rugosità. Crescita di super-reticoli a passo nanometrico.
Apparato strumentale utilizzato	Reattori UHV per RF magnetron Sputtering e Facing Target Sputtering. Profilometro AFM, Diffrattometro X, Apparato per riflettometria X e EUV. TEM. Acceleratori e camere di scattering. Camere di analisi con luce di sincrotrone.
Sezioni partecipanti all'esperimento	LNL LNF
Istituzioni esterne all'Ente partecipanti	Universita' di Padova (Dip. Fisica, Dip. Elettronica Informatica)Universita' di Brescia, Torino. Osservatorio Astronomico di Torino
Durata esperimento	3 ANNI

ISTITUTO NAZIONALE DI FISICA NUCLEARE

Preventivo per l'anno 2004

Struttura
LNF

Codice	Esperimento	Gruppo
	ARCHIMEDE	5
Resp. loc.: Gianfelice Cinque		

PREVENTIVO LOCALE DI SPESA PER L'ANNO 2004
In KEuro

VOCI DI SPESA		DESCRIZIONE DELLA SPESA					IMPORTI				A cura della Comm.ne Scientifica Nazionale
							Parziali		Totale Compet.		
							SJ		SJ		
Viaggi e missioni	Interno	Collaborazione Laboratori Nazionali di Legnaro Collaborazione Università` ed Enti di Ricerca					3.0 1.0		4.0	0.0	
	Estero	Collaborazione Università` di Rostov (Russia) Partecipazione Conferenza SPIE (U.S.A.)					2.0 1.0		3.0	0.0	
Materiale Consumo		Sistema di rivelazione di flusso per raggi X molli: fotodiodi calibrati NIST ad alta efficienza per fotoni X di bassa energia con amplificatori in corrente; integrati) Sistema di rivelazione per fotoelettroni tipo "total yield": channeltron con alimentatore alta tensione e preamplificatore in corrente a basso rumore; Lavorazioni flange per camera sperimentale, passanti e raccorderia da vuoto per alloggiamento/connessione rivelatori e movimentazioni.					2.5 5.0 2.5		10.0	0.0	
									0.0	0.0	
Trasp. e facch.											
Spese Calcolo		Consorzio	Ore CPU	Spazio Disco	Cassette	Altro			0.0	0.0	
Affitti e manutenz. apparecchiat.									0.0	0.0	
Materiale inventariabile									0.0	0.0	
Costruzione Apparati		Sistema di movimentazione meccanica di precisione per alto vuoto completa di elettronica per controllo remoto: doppia culla goniometrica movimentata con step motor (precisione 1/100 grado) e controllata da encoder angolare.					15.0		15.0	0.0	
Totale									32.0	0.0	

 Sono previsti interventi e/o impiantistica che ricadono sotto la disciplina della legge Merloni ? ☐
 Breve descrizione dell'intervento:

Mod EC./EN. 2

(a cura del responsabile locale)

ISTITUTO NAZIONALE DI FISICA NUCLEARE

Preventivo per l'anno 2004

Struttura
LNL

Codice	Esperimento	Gruppo
	ARCHIMEDE	5
Resp. loc.: V. Rigato		

PREVENTIVO LOCALE DI SPESA PER L'ANNO 2004
In KEuro

VOCI DI SPESA		DESCRIZIONE DELLA SPESA					IMPORTI				A cura della Comm.ne Scientifica Nazionale
							Parziali		Totale Compet.		
							SJ		SJ		
Viaggi e missioni	Interno	ELETTRA (TS), linea BEARS: misure di riflettanza risolta in energia, misure di scattering X diffuso. Torino: misure ottiche Brescia: misure XRR, XRD, microdiffrattometria Frascati: misure di test su prototipi di specchi per radiazione tra 400 e 500 eV.					2.0		7.0	0.0	
							1.5				
							1.0				
							2.5				
Viaggi e missioni	Estero	Grenoble ESRF GILDA : Qualificazione delle interfacce di specchi a multistrato. Convegno interazionale sui multistrati per applicazioni XUV GIAPPONE PXRMS 04 (1 persona) Plasma Surface Engineering International Conference PSE 2004 Germany (2 persone)					2.0		9.0	0.0	
							3.0				
							4.0				
Materiale Consumo		Target per sputtering di materiali ultra-puri, gas puri ed ultra puri, substrati per le deposizioni. Substrati speciali a bassa rugosità per prototipi di specchi in materiali speciali (SiO2, vetro, Zerodur, SiC, Silicio) Accessori da vuoto. Passanti UHV di moto, finestre di osservazione UHV. Flange.Raccordi. Materiali per preparazione provini per test e analisi X, TEM, SEM, AFM.					18.0		30.0	0.0	
							10.0				
							2.0				
Trasp. e facch.									0.0	0.0	
Spese Calcolo		Consorzio	Ore CPU	Spazio Disco	Cassette	Altro			0.0	0.0	
Affitti e manutenz. apparecchi.									0.0	0.0	
Materiale inventariabile		Alimentatore lineare programmabile GPIB low ripple, per impulsi fino a 20 kHz di ripetizione. +/-100V, +/-4A, Kepko BOP GPIB Tavolo antivibrante Newport per installazione apparato per misura dello stress intrinseco residuo degli specchi a multilayer.					5.0		9.5	0.0	
							4.5				
Costruzione Apparat		Realizzazione apparato per misura di stress residui di specchi a multilayer: Laser (633nm) 10 mW + beam expander, sistema di focalizzazione, collimatori variabili, attenuatore, splitter, accessori ottici per fissaggio componenti e trasporto fascio laser. Lavorazioni meccaniche per il montaggio dei campioni. Fotodiodo ed elettronica di lettura. PC industriale rack 19". Spettrometro UV+VIS range 190-850nm,1nm avg resolution@25um slit,Concave holographic aberration corrected grating, CCD 2048, high speed parallel interface, software ed accesori per collegament a bundle fibra ottica . Fibra ottica in quarzo bundle diametro 3.5 mm UV /VIS completa di collimatore per plasma deposition, schermata dal flusso di materiale di deposito. Compatibile UHV completa di passanti UHV. Automazione apparato di deposizione di specchi per test presso LNF DAFNE Accessori e replacement per portacampioni per deposizione di specchi su superfici curve (vedi applicazioni osservazione solare)					6.0		24.5	0.0	
							1.8				
							4.7				
							5.0				
							4.0				
							3.0				
Totale									80.0	0.0	

Sono previsti interventi e/o impiantistica che ricadono sotto la disciplina della legge Merloni ? ☐

Breve descrizione dell'intervento:

Mod EC./EN. 2

(a cura del responsabile locale)

ISTITUTO NAZIONALE DI FISICA NUCLEAREPreventivo per l'anno **2004**

Struttura
LNF

Codice	Esperimento	Gruppo
	ARCHIMEDE	5
Resp. loc.: Gianfelice Cinque		

ALLEGATO MODELLO EC2

ISTITUTO NAZIONALE DI FISICA NUCLEAREPreventivo per l'anno **2004**

Struttura
LNF

Codice	Esperimento	Gruppo
	ARCHIMEDE	5
Resp. loc.: Gianfelice Cinque		

ALLEGATO MODELLO EC2

Le richieste del gruppo di ricerca dei **LNF** prevedono per ARCHIMEDE nell'anno 2004:

- **15 kEuro per la costruzione di apparati sperimentali,**
- **10 kEuro per il materiale di consumo,**
- **4 kEuro per missioni italiane**
- **3 kEuro per missioni all'estero.**

TOTALE LNF: 32 kEuro

Nella prima voce si devono intendere comprese le spese riguardanti l'acquisto e/o la costruzione dei sistemi di movimentazione elettromeccanica di precisione per i test di riflettività degli elementi ottici con radiazione di sincrotrone. I goniometri remotizzati per movimentare il campione ed il rivelatore, devono essere equipaggiati dell'elettronica di controllo da interfacciare ad un PC per la presa dati in contemporanea al movimento angolare dei multilayer e/o del rivelatore. L'importo di spesa richiesto è consistente data l'alta precisione e ripetibilità angolare richiesta (commercialmente disponibile 0,01 gradi) nonchè la necessità di utilizzare sistemi compatibili con l'alto vuoto per evitare riassorbimenti dei raggi X molli riflessi.

Il secondo capitolo di spesa include la dotazione di rivelatori d'intensità del fascio X sia diretto che riflesso, in particolare fotodiodi ad alta efficienza per raggi X molli di energia sotto 1 keV incluso un semplice sistema di acquisizione singolo canale. A completamento del sistema di misura si deve considerare l'acquisto (almeno parziale) di un sistema di rivelazione per fotoelettroni, tipo channeltron, inclusa una catena elettronica completa di alimentazione che di acquisizione "total yield". Questo equipaggiamento si integra al rivelatore di fluorescenza X già presente e permetterà di effettuare misure di X-ray Absorption Spectroscopy anche sugli elementi leggeri presenti in campioni spessi quali i multilayers. Infine la camera sperimentale da utilizzare ha bisogno di una serie di modifiche principalmente per alloggiare nuove flange e passanti da vuoto tramite cui inserire i rivelatori, cablature, sistemi di movimentazione oltre che di un nuovo supporto.

Le ultime due voci comprendono ovviamente le spese necessarie per mantenere la collaborazione tra i LNF, sede delle misure di riflettività con luce di sincrotrone, ed i LNL dove vengono realizzati gli elementi ottici; infine gli scambi di ricercatori nell'ambito della collaborazione con l'Università di Rostov sono essenziali per lo studio dei supporti multigradino nonchè per la realizzazione dei sistemi ottici curvi ed il fissaggio dei multistrati via "optical contact".

ISTITUTO NAZIONALE DI FISICA NUCLEAREPreventivo per l'anno **2004**

Struttura
LNL

Codice	Esperimento	Gruppo
	ARCHIMEDE	5
Resp. loc.: V. Rigato		

ALLEGATO MODELLO EC2

Lo spelling relativo alle richieste finanziarie per il 2004 è riportato nell'allegato 1 per LNL e LNF.

Struttura
LNL

Codice	Esperimento	Gruppo
	ARCHIMEDE	5
Resp. loc.: V. Rigato		

ALLEGATO MODELLO EC2

ARCHIMEDE

Richieste di finanziamento 2004: LNL e LNF

Le richieste del gruppo di ricerca dei **LNL** prevedono per Archimede nell'anno 2004:

- **24.5 kEuro per la costruzione di apparati sperimentali,**
- **9.5 kEuro per la materiale inventariabile**
- **30 kEuro per il materiale di consumo,**
- **7 kEuro per missioni italiane**
- **9 kEuro per missioni all'estero.**

TOTALE LNL : 80 kEuro

Nella prima voce essenzialmente si devono intendere comprese

- 1) le spese riguardanti la realizzazione dell'apparato per la misura dello stress residuo dei film sottili con il substrate bending method (laser, accessori ottici per trasporto e focalizzazione fascio laser, lavorazioni meccaniche) necessario per qualificare i film prodotti in vista delle applicazioni astrofisiche. La qualificazione dello stress è indispensabile in quanto i multistrati tendono ad essere strutture ad elevato stress compressivo. In determinate condizioni termo-meccaniche (come il lancio su razzo, o una eccessiva illuminazione) i multistrati potrebbero dare delle failure adesive derivanti dal rilascio della energia elastica immagazzinata. Mediante opportuni schemi di polarizzazione modulata o mediante la introduzione di opportuni buffer layer atomici si può intervenire sullo stato di stress residuo fino a ottenere multistrati stabili. Attualmente presso LNL non è possibile effettuare la misura dello stress residuo e quindi manca una conoscenza fondamentale per la produzione degli specchi.
- 2) le spese relative alla gestione degli apparati di deposizione (automazione ulteriore per mezzo di PC dell'apparato produttivo per preparazione di multistrati Ni/TiO₂ per i test da effettuarsi presso DAΦNE (LNF).
- 3) acquisto di accessori e replacement per il portacampioni che verrà utilizzato per la produzione di specchi per osservazione solare (SWAP e HERSCHEL)
- 4) la spese per l'acquisizione di uno spettrometro UV/VIS a CCD completo di fibra ottica schermata, per la messa a punto del processo di preparazione di multistrati Ni/TiO₂ per i test da effettuarsi presso DAΦNE (LNF) mediante l'emissione di radiazione UV-VIS dal plasma di processo contenente Ar+O₂.

La voce di materiale inventariabile comprende l'acquisto di

- 1) un alimentatore programmabile a basso rumore (KEPCO Mod. BOP 100-4M)) per la polarizzazione modulata dei campioni nell'apparato di crescita per gli specchi per i test presso DAΦNE. Attualmente un alimentatore analogo è installato nell'apparato di produzione per specchi per osservazione solare ed è inamovibile perchè interfacciato al sistema produttivo mediante PC e i due apparati funzionano in parallelo.
- 2) Un tavolo antivibrante per l'alloggiamento della strumentazione per la misura dello stress residuo dei multistrati di cui sopra.

La voce di materiale consumo comprende essenzialmente l'acquisto di Target per sputtering di materiali ultra-puri, gas puri ed ultra puri, substrati per le deposizioni. Substrati speciali a bassa rugosità per prototipi di specchi in materiali speciali (SiO₂, vetro, Zerodur, SiC, Silicio) Accessori da vuoto. Passanti UHV di moto, finestre di osservazione UHV. Flange.Raccordi. Materiali per preparazione provini per test e analisi X, TEM, SEM, AFM.

Le richieste relative alle trasferte all'estero riguardano la possibilità di effettuare misure presso la facility ESRF –GILDA , e la partecipazione a due convegni internazionali:

PXRMS 04 Convegno biennale sulla produzione di multistrati per applicazioni XUV, si terrà in Giappone e al momento della scrittura non è disponibile la prima circolare.

PSE2004: Plasma Surface Engineering Conference: Garmisch (Germania). E' il più grosso convegno organizzato in Europa sulla scienza e tecnologia dei materiali prodotti con tecniche Fisiche e Chimiche da fase vapore. Il responsabile scientifico dell'esperimento ARCHIMEDE fa parte dell'EDITORIAL BOARD del convegno.

Le trasferte italiane dovranno consentire ai ricercatori del gruppo che lavora presso LNL (circa 6 ric. equiv.) di effettuare le necessarie misure presso le università e centri di ricerca coinvolti nel progetto.

Le richieste del gruppo di ricerca dei **LNF** prevedono per Archimede nell'anno 2004:

- **15 kEuro per la costruzione di apparati sperimentali,**
- **10 kEuro per il materiale di consumo,**
- **4 kEuro per missioni italiane**
- **3 kEuro per missioni all'estero.**

TOTALE LNF: 32 kEuro

Nella prima voce si devono intendere comprese le spese riguardanti l'acquisto e/o la costruzione dei sistemi di movimentazione elettromeccanica di precisione per i test di riflettività degli elementi ottici con radiazione di sincrotrone. I goniometri remotizzati per movimentare il campione ed il rivelatore, devono essere equipaggiati dell'elettronica di controllo da interfacciare ad un PC per la presa dati in contemporanea al movimento angolare dei multilayer e/o del rivelatore. L'importo di spesa richiesto è consistente data l'alta precisione e ripetibilità angolare richiesta (commercialmente disponibile 0,01 gradi) nonchè la necessità di utilizzare sistemi compatibili con l'alto vuoto per evitare riassorbimenti dei raggi X molli riflessi.

Il secondo capitolo di spesa include la dotazione di rivelatori d'intensità del fascio X sia diretto che riflesso, in particolare fotodiodi ad alta efficienza per raggi X molli di energia sotto 1 keV incluso un semplice sistema di acquisizione singolo canale. A completamento del sistema di misura si deve considerare l'acquisto (almeno parziale) di un sistema di rivelazione per fotoelettroni, tipo channeltron, inclusa una catena elettronica completa di alimentazione che di acquisizione "total yield". Questo equipaggiamento si integra al rivelatore di fluorescenza X già presente e permetterà di effettuare misure di X-ray Absorption Spectroscopy anche sugli elementi leggeri presenti in campioni spessi quali i multilayers. Infine la camera sperimentale da utilizzare ha bisogno di una serie di modifiche principalmente per alloggiare nuove flange e passanti da vuoto tramite cui inserire i rivelatori, cablature, sistemi di movimentazione oltre che di un nuovo supporto.

Le ultime due voci comprendono ovviamente le spese necessarie per mantenere la collaborazione tra i LNF, sede delle misure di riflettività con luce di sincrotrone, ed i LNL dove vengono realizzati gli elementi ottici; infine gli scambi di ricercatori nell'ambito della collaborazione con l'Università di Rostov sono essenziali per lo studio dei supporti multigradino nonchè per la realizzazione dei sistemi ottici curvi ed il fissaggio dei multistrati via "optical contact".

In KEuro

NB. La colonna A carico di altri enti deve essere compilata obbligatoriamente

(a cura del responsabile nazionale)

**ISTITUTO NAZIONALE DI FISICA
NUCLEARE**

Preventivo per l'anno 2004

Codice	Esperimento	Gruppo
	ARCHIMEDE	5
Rapp. Naz.: V. Rigato		

A) ATTIVITA' SVOLTA FINO A GIUGNO 2003									
Il resoconto dell'attività svolta è contenuto nell'allegato Nr. 3 (file pdf) I dati sperimentali relativi agli specchi prodotti per la riflessione di radiazione e.m. a 13nm, 19,nm e 30 nm sono riportati negli allegati Nr. 1 e 2.									
B) ATTIVITA' PREVISTA PER L'ANNO 2004									
L'attività prevista per il 2004 è riportata nell'allegato N.3 (file pdf).									
C) FINANZIAMENTI GLOBALI AVUTI NEGLI ANNI PRECEDENTI In kEuro									
Anno finanziario	Missioni interno	Missioni estero	Materiale di consumo	Trasp. e Facch.	Spese Calcolo	Affitti e Manut. Apparec.	Materiale inventar.	Costruz. apparati	TOTALE
2002	4.0	3.0	24.0	0.0	0.0	0.0	36.0	55.0	122.0
2003	5.0	4.5	18.0	0.0	0.0	0.0	22.0	17.0	66.5
TOTALE	9	7.5	42	0	0	0	58	72	188.5

Mod EC. 5

(a cura del rappresentante nazionale)

Development of Multilayer Coatings for Solar Space Experiments

Maria-Guglielmina Pelizzo^{1*}, Alessandro Patelli^{1**}, Piergiorgio Nicolosi¹, Valentino Rigato², Guido Salmaso², Elsa Bontempi³, Daniele Gardiol⁴

¹ Information Engineering Department, Università di Padova e INFN, Unità di Padova, Italy

² INFN, Laboratori Nazionali di Legnaro, Padova, Italy

³ Dipartimento di Ingegneria Meccanica, Università di Brescia, and INSTM, Italy

⁴ INAF - Osservatorio Astronomico di Torino, Italy

ABSTRACT

Deposition and characterization results of multilayer coatings optimized for HeII 30.4 nm high reflectivity will be presented. Additional characterization of reflectivity at HI Ly- α and in the visible spectral range has been also accomplished in order to investigate the performances of such coatings in view of their application to the UVCI instrument on board of ESA payload SOLO and to HERSCHEL, a sounding rocket experiment.

Key Words: Multilayer, Solar Corona

1. INTRODUCTION

Some important future space missions dedicated to sun disk and corona observations have been recently approved both by NASA (Solar Dynamics Observatory, Solar-B), and ESA (SOLAR Orbiter [1]). As known, observations of strong emission lines at 30.4 nm, 19 nm and 17 nm are fundamental for the comprehension of the physics of the solar activity and atmosphere dynamics. In this spectral region conventional coatings have almost none reflectance at normal incidence, so optics must be covered by multilayer coatings [2]. Even if multilayer optics have already flown on other space instruments (EIT on board of SOHO [3]; TRACE etc), the technological difficulties related to deposition and characterization of these coatings still make challenging their realization.

Among possible instruments candidate on board of SOLO the Ultraviolet and Visible-light Coronagraphic Imager (UVCI) is dedicated to the solar corona observation around 30.4 nm [4]. Naval Research Laboratory and Osservatorio Astronomico di Torino, in collaboration with University of Firenze, Padova and Pavia, have also studied a sounding rocket prototype of the same instrument (HELIUM Resonance Scattering in Corona and HELIOSphere). In this paper we present results so far obtained in design, realization and characterization of Mo/Si multilayer coatings for UVCI. Performances requirements are presented in Section 2, the deposition technique in Section 3, the multilayer characterization at 30.4 nm is discussed in Section 4, while HI Ly- α reflectivity measurements are presented in Section 5, finally visible reflectivity measurements and visible scattering measurements are reported in Section 6 and 7 respectively.

2. MULTILAYER DESIGN AND PERFORMANCES REQUIRED

A sketch of the optical design of UVCI (and HERSCHEL) is shown in Fig.1, while a complete description of the instrument can be found elsewhere [5]. An external occulter EO blocks the radiation incoming directly from the disk,

*pelizzo@dei.unipd.it; phone +39 049 8277763; fax +39 049 8277699; Information Engineering Department, Università di Padova e INFN di Padova, via Gradenigo 6B, 35131 Padova, Italy; **alessandro.patelli@lnl.infn.it; phone +39 049 8068406 fax +39 049 641925 INFN, Laboratori Nazionali di Legnaro, Strada Romea 4, 35020 Legnaro (Padova), Italy.

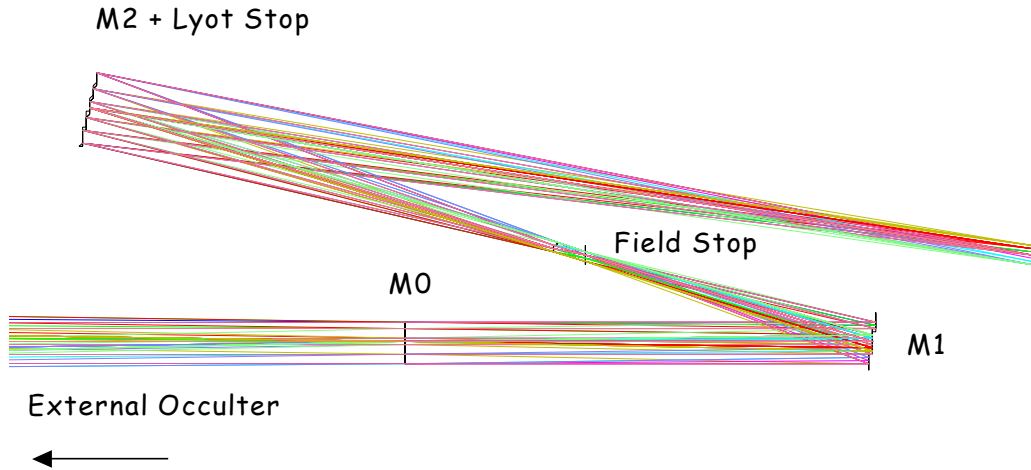


Fig.1 UVCI optical layout.

while mirror M0 rejects unwanted sun disk marginal rays entering EO. Mirrors M1 and M2 (primary and secondary) project the corona image between 1.2 and 4 solar radii onto the focal plane. Mirror M1 forms also an image of M0 on M2; a Lyot trap is placed back of M2, in order to absorb the radiation scattered by the M0's edge. Both M1 and M2 must be coated with multilayer for high 30.4 nm efficiency; in addition the multilayer bandpass must be as narrow as possible in order to suppress unwanted adjacent lines. In UVCI the same optical path is common also to 121.6 nm Ly- α radiation selected by using an Al+MgF₂ filter placed in front of the focal plane and to the visible light, which the same filter reflects to the visible light polarimeter assembly. A peculiar specification of UVCI multilayer is then to have high reflectance both at 121.6 nm and in the visible. Moreover, since visible light from disk is order of magnitude stronger than the one from the corona, scattered light inside the instrument can be really critical. For this reason, it is necessary not only to have a suitable baffling system, but also to minimize scattered light from the optics.

In order to define the design of the multilayer, the map of incidence angles on the mirrors dependent on the heliocentric distance of the emitting corona position has been determined from a preliminary optical configuration of the instrument. The map of M1 shows a variation of incidence angles from 7° to 11°, with different incidence angle values in the same mirror location due to rays coming from different corona regions. This makes quite difficult to design a graded multilayer matching the angle distribution. Moreover a simulation done with IMD software [6] shows how the reflectivity of an ideal Mo/Si multilayer optimized at 30.4 m, and 9° of incidence angle varies for incidence angles between 7° and 11° (Fig.2): the reflectivity peak shifts both spectrally and in amplitude, but the amount will not affect significantly the final performances of the instrument. Analog considerations are valid for M2.

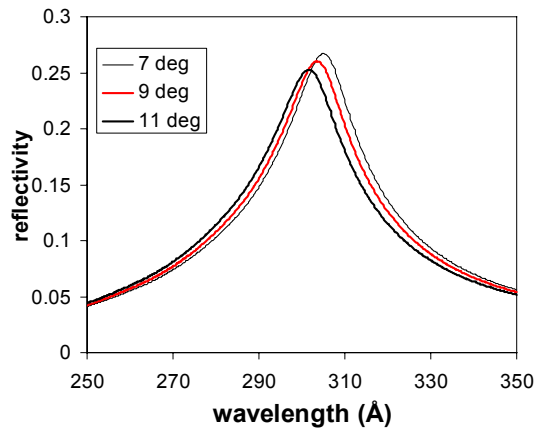


Fig.2 Multilayer bandpass variation with incidence angle.

Periodic multilayer structure with period $d=166 \text{ \AA}$ and $\Gamma=0.2$ (Γ is the ratio between Mo layer thickness and d) has been simulated. In Fig.3 multilayer reflectivity curves have been superimposed on typical solar disk emission spectrum, since this represents a worst case with respect to corona emission spectrum and the data were more easily available [7] [8]. Second order multilayer peak does not overlap Fe ion spectral lines between 17 and 20 nm, so no contribution of these lines to the 30.4 reflected radiation can be expected. Furthermore in Fig.4 the combined effect of double reflection on mirror M1 and M2 is shown. The resulting spectrum shows that the rejection of unwanted radiation due to adjacent lines as Si IX 26.9 nm and Mg VIII 31.5 nm is efficiently achieved.

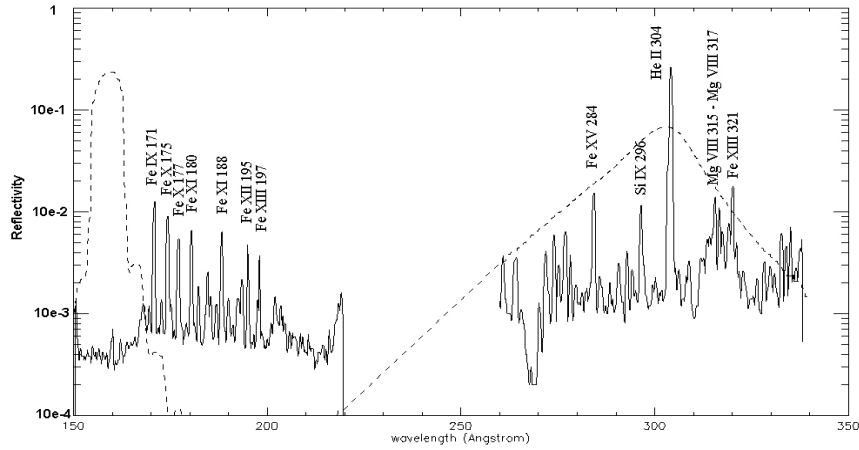


Fig.3 Solar disk emission spectra and multilayer reflectivity curve.

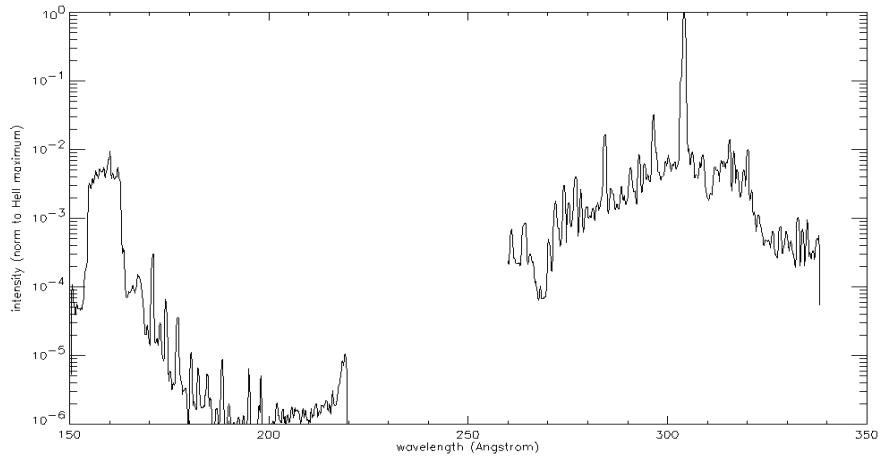


Fig.4 Combined effect of M1 and M2 efficiency on the reflected solar disk spectrum.

3. DEPOSITION TECHNIQUE AND STRUCTURAL CHARACTERIZATION

Periodic Mo/Si multilayer samples have been deposited onto (100) single crystal silicon wafers [9]. The number of periods deposited for 30.4 optimized samples is 15, and the structure is protected by 20 $\text{\AA}$ of additional Si naturally oxidized. Samples for 13 nm and 19 nm high reflectance have been also deposited with same techniques. The multilayers have been produced by RF-magnetron sputtering with a Ar plasma excited at 13.56 MHz. The preparation

of the multilayers has been performed at the materials laboratory of the LNL. The deposition apparatus consists of a chamber ($110 \times 72 \times 65 \text{ cm}^3$) evacuated by a turbo-molecular pump. The base vacuum is lowered down to $6 \cdot 10^{-8} \text{ mbar}$ by sputtering titanium from two $10 \times 20 \text{ cm}^2$ rectangular magnetron sources onto part of chamber walls before the multilayer deposition. The ultimate pressure is almost entirely made of H_2 gas (as results from Residual Gas Analyzer) and is enough to maintain the contamination of oxygen in the deposited films lower than 1 at% despite the low deposition rate of about 0.5 Å/s . The magnetron sputter sources used for multilayer deposition are planar 2" diameter disks. The RF power applied are 60W for Mo and 150W for Si. The plasma gas is Ar at the operating pressure of $5.0 \cdot 10^{-3} \text{ mbar}$. The substrate are placed at a distance of 16.5 cm from the target and parallel to the target surface. The sample-holder can be biased from -100V to $+100\text{V}$ and is moved from one target to the other for the deposition of alternating layers. All the plasma parameters have been characterized by cylindrical Langmuir probe measurement suited for RF-plasma [10]. The plasma potential has been measured to be $+25\text{V}$ and the Ar ion/adatom ratio is of the order of 2. The growth of the Mo layers is also assisted by the bombardment operated by the high energy argon neutrals reflected by the target surface. This flux can be evaluated to be of the same order of the ion flux but is characterized by a higher mean energy of about 50eV [11]. The multilayer structure has been characterized by X-ray and ion beam techniques. X-Ray Reflectance (XRR) have been carried with a Bruker "D8 Advance" diffractometer at the University of Brescia equipped with a Göbel Mirror and with an angular resolution of better than 0.01° and an accuracy of 0.001° . The XRR measurements show the presence of a highly regular structure. In order to investigate the layer micro-structure, X-ray micro-diffraction experiments were performed by means a D-Max Rapid Rigaku system equipped with an Image Plate detector. This equipment covers 204° in 2θ horizontally and $\pm 45^\circ$ in 2ϕ vertically from the direct beam position. The spot dimension was $300 \mu\text{m}$. All the analysed samples show the peculiar features characterized by the fact that the silicon layers are completely amorphous, while molybdenum layers show a polycrystalline structure. As can be seen in Fig.5 the Mo crystals are preferentially oriented with the (110) axis along the growth direction with a little angular spread. The crystallite size has comparable dimension as the molybdenum layer thickness. The growth direction in the pattern can be easily identified by the diffraction signal of the multilayer structure at the center bottom of the figure.

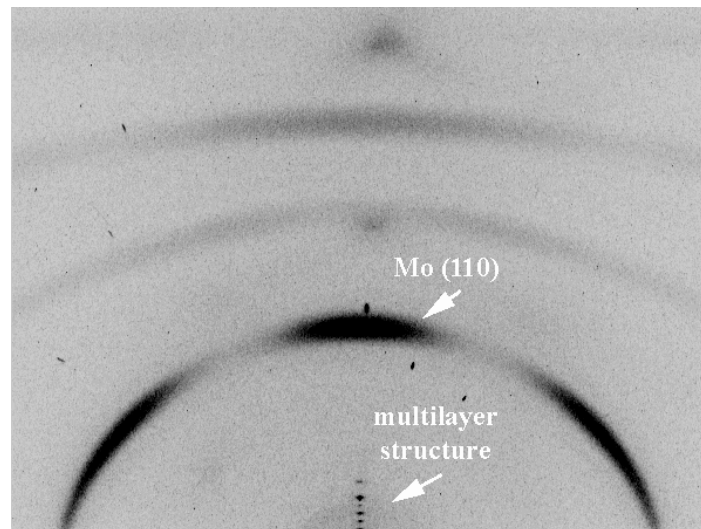


Fig.5 X-ray micro diffraction pattern of a sample design for 13 nm high efficiency. The pattern shows the preferential growth direction along the (110) axis of molybdenum. There is no evidence of silicon crystals.

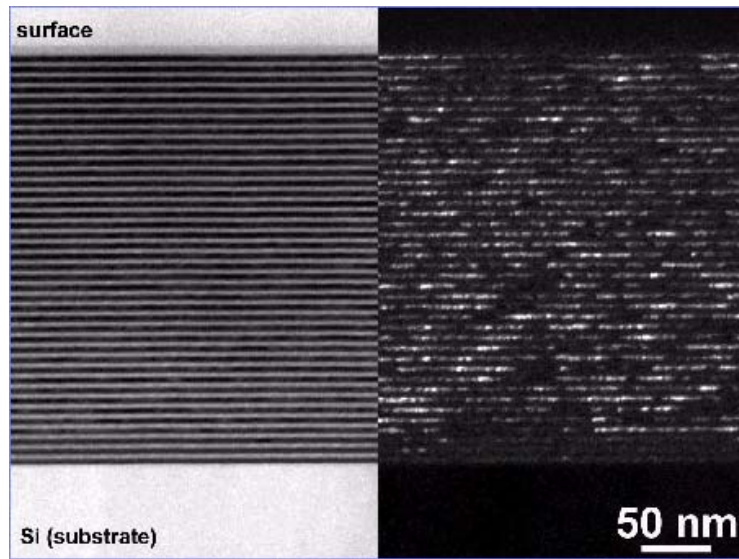


Fig.6 TEM images of a 40 periods multilayer mirror for the 13 nm high efficiency. The period thickness is 69 nm and the Γ value is 0.45. On the left is a bright field image of the whole multilayer structure, on the right a dark field image obtained by the selection of the Mo (110) diffraction peak.

The good quality of the multilayer structure is also confirmed by Transmission Electron Microscopy (TEM) measurements. The analysis has been performed with a Philips TECNAI F20 FEG-TEM microscope operating at 200 kV equipped with an EDAX energy-dispersive x-ray spectrometer at CNR-IMM (Bologna, Italy). The bright field TEM analyses, as seen in Fig.6 in the case of a 40 periods multilayer for 13 nm high efficiency, shows that the periodicity is very good and the interfaces roughness is low (rms lower than 0.5 nm). The above mentioned preferential orientation of Mo crystals is highlighted in the dark field TEM image.

By the use of ion beam techniques the multilayers composition has been analyzed for the determination of contaminants and for the control of the total amount of Mo and Si deposited. These analyses have been carried out at the LNL using the HVEC 2.5 MeV and CN 7.0 MeV Van der Graaff accelerators. Conventional α -particles Rutherford Back Scattering (RBS) at ion energies ranging from 1.8 to 2.2 MeV at scattering angles of 170° and 160° and different tilt angles has been performed for the investigation of silicon and molybdenum contents and profiles (Fig.7). Elastic Recoil Detection Analysis (ERDA) analysis has been used to determine the hydrogen concentration with a 2.2 MeV α -particle beam at 30° scattering angle and 15° incidence angle at the sample surface. Carbon and oxygen contents were determined using (d,p) nuclear reactions at 900keV. The oxygen and carbon concentration is lower than 1 at%, while hydrogen is below the ERD detection limit (1 at%).

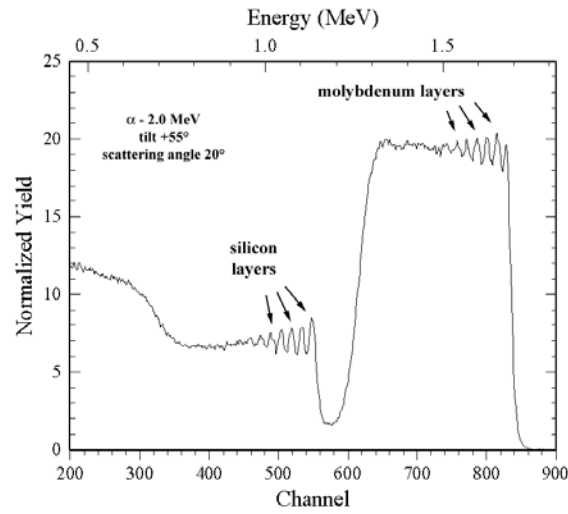


Fig.7 α -2.0 MeV RBS measured and simulated spectrum of a sample optimized for high 30.4 nm efficiency ($\theta=20^\circ$, $\varphi=55^\circ$). The multilayered structure is highlighted.

4. HEII 30.4 NM REFLECTIVITY MEASUREMENT

Reflectivity measurements have been performed with the system sketched in Fig.8 [12]. As a source, an hollow cathode lamp filled with He gas has been used. A grazing incidence monochromator selects the radiation that is refocused by a toroidal mirror. As a detector, a photon counting Channel Electron Multiplier (CEM) has been used. Both sample and detector have been mounted on motorized rotation stages. The sample can be also translated out of the optical path, in order to acquire the direct beam. Since the spectral width of the 30.4 nm line is intrinsically narrow, measurements have been performed at fixed wavelength as function of the incidence angle. Accordingly spectral resolution is set by the spectral line FWHM, and not by the instrument.

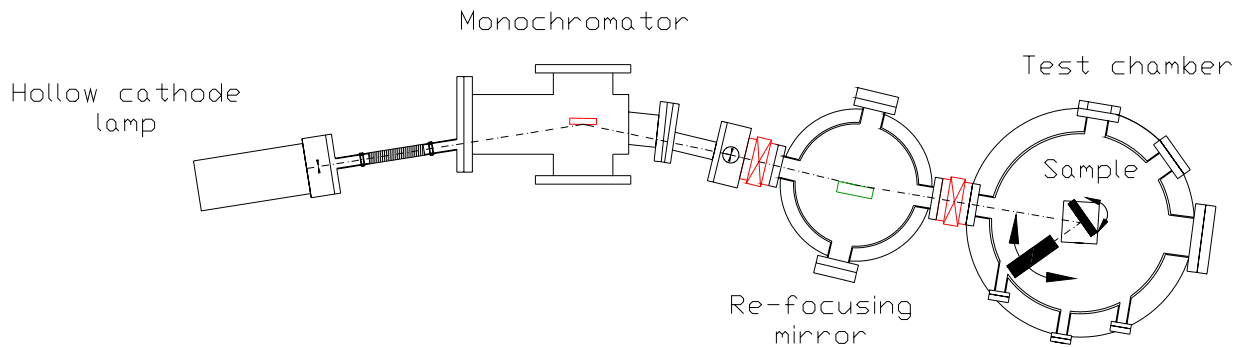
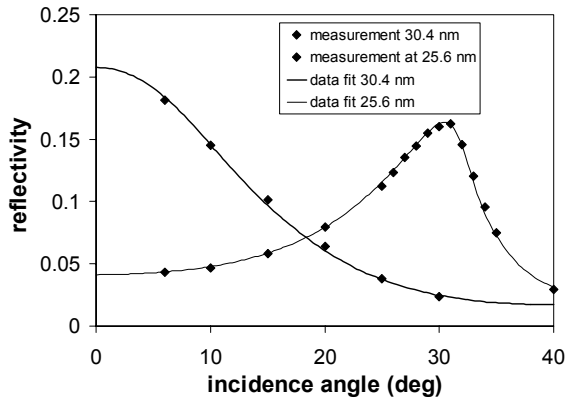
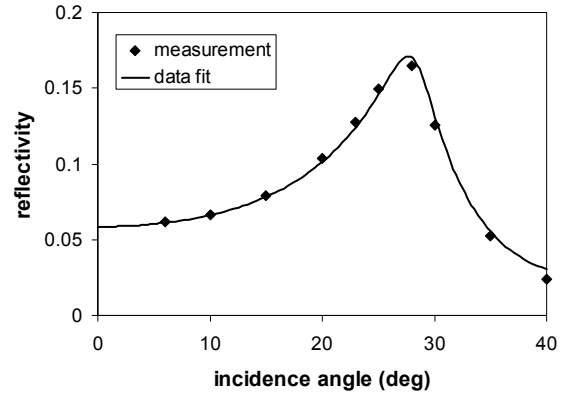


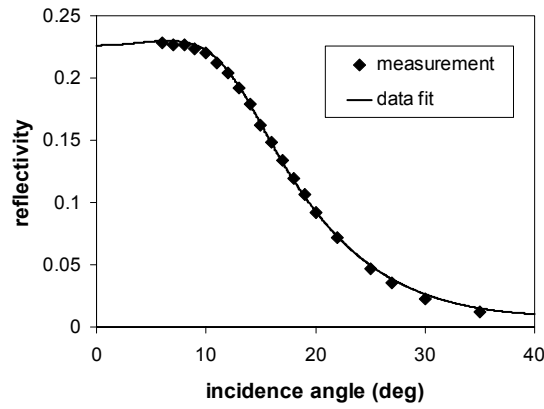
Fig.8 Grazing incidence reflectivity facility used for 30.4 nm characterization



(a)

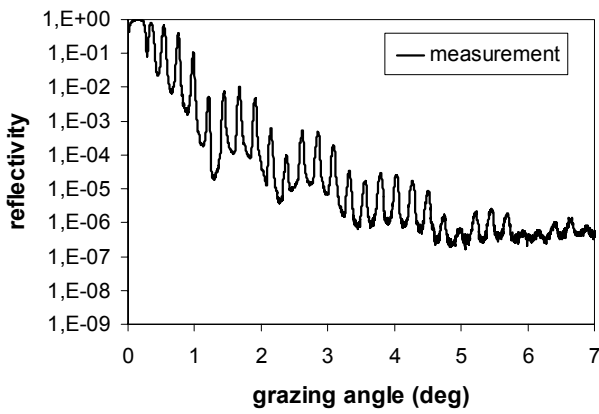


(b)

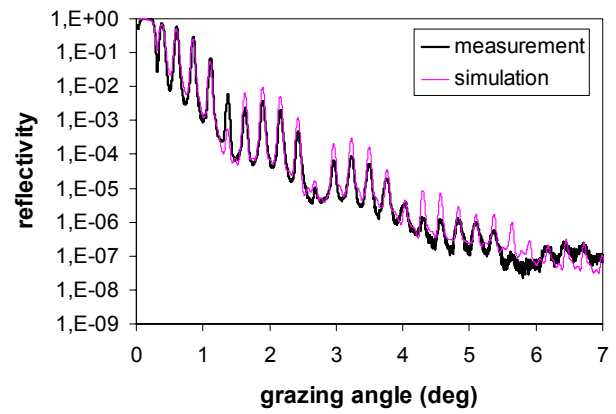


(c)

Fig.9 a, b, c. Reflectivity measurement at 30.4 nm and data fit of sample A, B and C respectively.



(a)



(b)

Fig.10a, b. XRR of sample B (a) and C (b).

It is interesting to note that the angular measurement technique allows also the recovering of some multilayer structure parameters as multilayer period d or ratio Γ . In Fig. 9a, b and c measurements and data fit of samples named A, B and C are shown. Sample A has been also measured using the He 25.6 nm spectral line. Periods of 161 Å, 189 Å, 166 Å have been recovered from data fit. XRR analysis have been done on samples B and C after reflectivity measurement (Fig.10), with the apparatus described in section 3. From XRR data d periods have been estimated to be 187 Å and 164.5 Å respectively. The discrepancy between values recovered by reflectivity data and XRR data can be attributed to the uncertainty in the calibration of the incidence zero angle positioning. From both reflectivity measurement and XRR the roughness has been estimated to be about 3-4 Å.

In-band reflectivity curves have been estimated by simulations with multilayer structural parameters d , Γ and σ as defined by XRR and angular reflectivity measurement data fit. Efficiency curves of sample A, B and C are shown in Fig.11; sample C, which has a period of ~ 166 Å, is the one centered at 30.4 nm

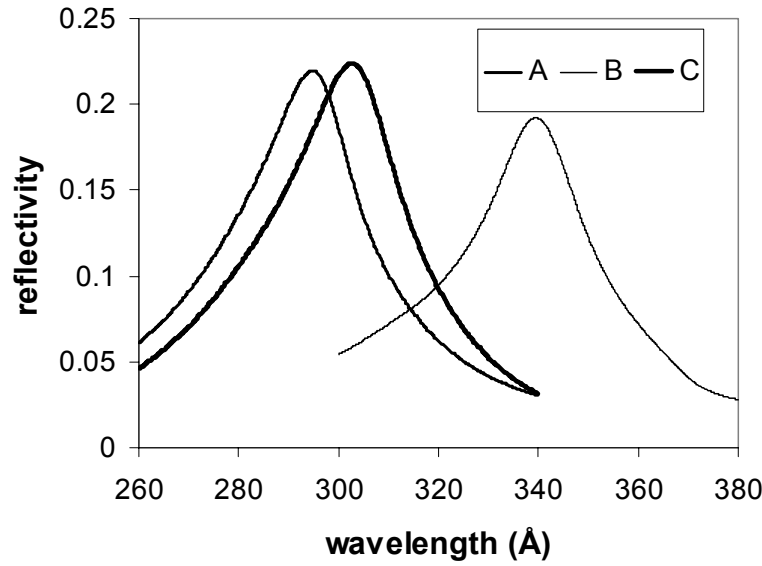


Fig.11. In-band efficiency curves of sample A, B and C.

5. LY- α 121.6 NM REFLECTIVITY MEASUREMENT

The 121.6 nm reflectivity measurements have been performed on sample B with a vacuum facility consisting of a normal incidence monochromator in Johnson–Onaka configuration [13], a re-focusing mirror chamber and a test chamber, inside which the multilayer sample has been positioned (Fig.12). As a source, a deuterium lamp sealed with a MgF_2 window emitting in the 115–250 nm spectral range has been used. A 600 l/mm Pt coated grating selects the radiation and the toroidal mirror reflects it on the multilayer sample, which is mounted on a rotation stage. Two uncoated CEMs were accommodated inside the test chamber on a rotating arm oriented at 180° one respect to the other; in such a way both the direct beam and reflected beam have been acquired. The CEMs were previously inter-calibrated by acquiring the same direct beam with both of them.

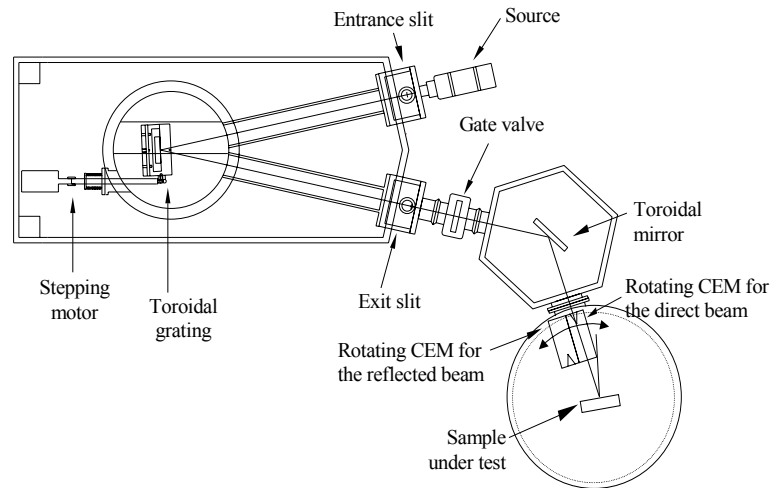


Fig.12 Vacuum facility for used for Ly- α reflectivity measurement.

Reflectivity measurements have been performed at different incidence angles. Simulation of reflectivity at 121.6 nm has been performed using multilayer structural parameters d and Γ derived by 30.4 nm reflectivity measurement. Actually the 121.6 nm reflectivity does not depend on multilayer structure, but only on SiO₂ cap-layer. On top of the multilayer an additional 20 Å of Si have been deposited for protection; an unknown part of this layer becomes naturally oxidized. Simulations have been performed considering a top layer of total thickness of 20 Å composed by two sub-layers, one of amorphous Si and another of SiO₂. No interface roughness has been considered since only unrealistic roughness values could affect the reflectivity at this wavelength. In Fig.13 reflectivity measurements are shown. Simulation with a 10 Å SiO₂ layer fit the data, proving that only half of the top layer becomes oxidized. In simulations $P=0.7$ polarization degree of the radiation exiting the monochromator has been taken in account. As shown in Fig.14, in fact, the trend of the curve is strongly affected by the polarization degree of incidence radiation.

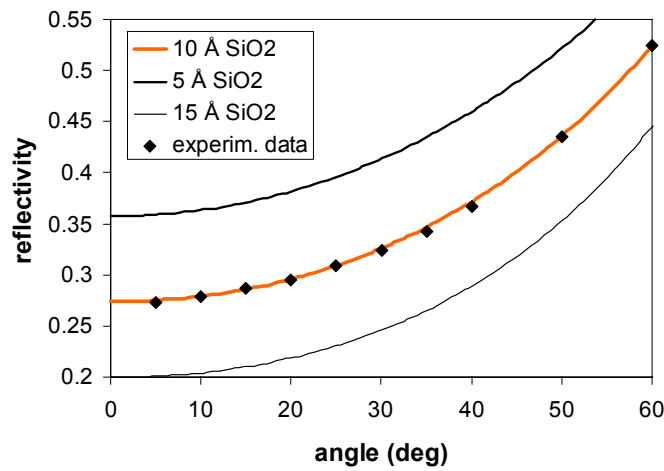


Fig.13 Reflectivity measurement at 121.6 nm and simulations for different thickness of SiO₂ layer.

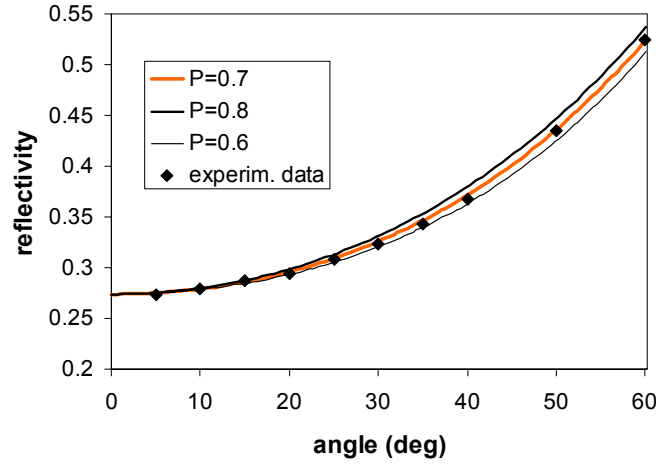


Fig.14 Reflectivity measurement at 121.6 nm and simulations for different polarization degree of incidence radiation.

6. VISIBLE RANGE REFLECTIVITY MEASUREMENT

Measurements in the visible spectral range have been performed using the set-up sketched in Fig.15. An halogen lamp in front of a pinhole and a collimating lens are placed on a rotating arm. After reflection on the multilayer surface, the beam passes through a condensing lens, which focuses it on the entrance slit of a Czerny-Turner spectrograph. A spectral interval of 50 nm can be acquired by a photodiode array. To acquire the direct beam, the arm on which the source is mounted has been rotated and the sample translated out of the optical path. Background signal due to both electronic noise and room light has been subtracted both from direct and reflected radiation acquisition, and reflectivity has been achieved by the ratio of the two. The incidence angle on the sample was 35° . In this case, since SiO_2 is transparent to visible radiation, various layers of Mo and Si contribute to the reflectivity. Results and simulation are shown in Fig.16 and are in good agreement with the multilayer structure already defined.

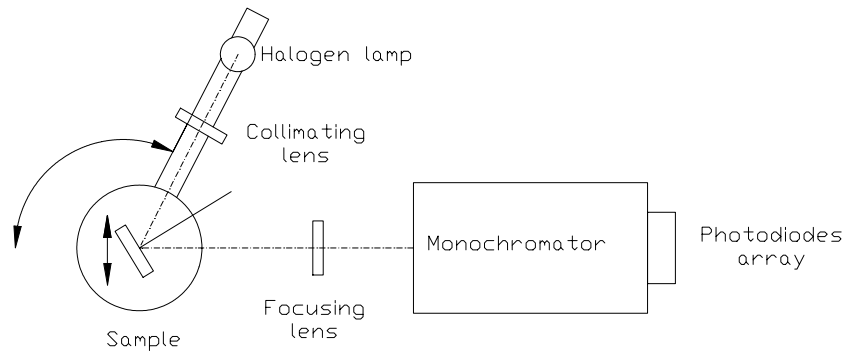


Fig.15 Set-up used for visible range reflectivity measurement.

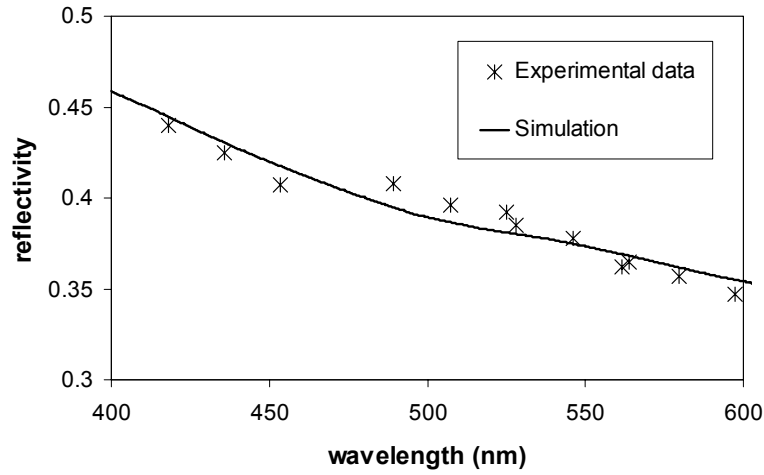


Fig.16 Reflectivity measurement and simulation in the visible spectral range.

7. ON-GOING SCATTERING MEASUREMENT

The rms roughness of the deposited multilayers substrates as measured by AFM results of the order of 1-2 Å. As already demonstrated [17] [12], multilayer coatings mainly preserves the same roughness of the substrate. Preliminary BRDF scattering measurements have been performed with a 632.8 nm laser. Results are under analysis. Since space optics substrates are made of BK7 or Zerodur, visible scattering from polished substrates is going to be measured, before and after deposition. AFM measurements have been already performed on uncoated polished surfaces, and will be repeated after deposition. Comparison between pre- and post- deposition roughness values and between AFM and BRDF results will be performed.

8. CONCLUSION

Multilayer coatings with high EUV reflectivity have been studied for solar space experiments. Design optimization has been performed to match UVCI/HERSCHEL requirements. Multilayers samples have been deposited on Si-wafers by RF-magnetron sputtering; structural and layer interface characteristics have been investigated both through nuclear and optical techniques. Reflectivity characterization at 30.4 nm, 121.6 nm and in the visible spectral range has been done. Visible scattering measurements and data analysis are in progress.

ACKNOWLEDGMENTS

The authors thanks Vania Da Deppo of University of Padova for helping with some optical design data, Laura Depero of University of Brescia for XRR measurements, Giovanni Mattei and Paolo Mazzoldi of University of Padova for TEM analysis, Andrea Voltolina and Oberto Citterio of Osservatorio Astronomico di Brera for AFM analysis, Andrea Novi of Officine Galileo for BK7 substrate samples, Giuseppe Rossi of Istituto Elettrotecnico Nazionale Galileo Ferraris di Torino for preliminary BRDF measurement, Stefano Nannarone, Angelo Giglia, Gianluca Selvaggi e Maddalena Pedio for preliminary reflectivity measurement at ELETTRA X-MOSS beamline.

REFERENCES

1. Solar Orbiter, *A High Resolution Mission to the Sun and Inner Heliosphere*, Assessment Study Report., ESA-SCI (2000)6, 2000.
2. E. Spiller, in *Physics, fabrication, and applications of multilayered structures*, edited by P. Dehz and C. Weisbuch (Plenum Publishing Corporation, 1988), 271-309.
3. Delaboudinière et al., Proc. SPIE Vol. 1742, 296, 1992.
4. S. Fineschi et al, "Extended UV Corona Imaging from the Solar Orbiter: the Ultraviolet and Visible-light Coronagraph (UVC)", *Solar Encounter: The First Solar Orbiter Workshop*, Puerto de la Cruz, Tenerife, Spain, 4-18 May 2001 (ESA-SP 493, September 2001).
5. S. Fineschi et al, "Coronagraphic Imager for HERSCHEL (HElium Resonance Scattering in Corona and HELiosphere), to be presented at SPIE *Astronomical Telescopes and Instrumentation*, Hawaii, conf. 4853, 2002
6. D.L. Windt, "IMD-Software for modeling the optical properties of multilayer films", Comp. Phys. **12**, 360-370, 1998.
7. R. A. Harrison, "High-resolution observations of extreme ultraviolet sun", Solar Physics, **170**, 124-141, 1997.
8. J.W. Brosius et al., "Measuring Active and Quiet-Sun Coronal PLasma Properties with Extreme-Ultraviolet Spectra from SERTS", ApJ Suppl. S., **106**, 143-164, 1996.
9. P.Nicolosi et al.: "First realization and characterization of multilayer EUV reflective coatings", *Soft X-Ray and EUV Imaging System II*, SPIE Proc. Vol. 4506, 76-83, 2001.
10. M.B.Hopkins, W.G.Graham, Rev. Sci. Instrum. **57** (9), 2210-2217, 1986.
11. V. Rigato, A. Patelli, "Novel methods of synthesis of Mo/Si(H) multilayers for Extreme UV applications", 19th International Conference on X-ray and Inner-Shell Processes, Rome 2002, submitted to AIP proceedings.
12. L. Poletto et al., "Optical performances and characterization of an EUV and soft X-ray test facility", *Ultraviolet and X-Ray Detection, Spectroscopy, and Polarimetry III*, SPIE Proc. Vol. 3764, , 94-102, 1999.
13. G. Bonanno, G. Naletto, G. Tondello, "A test facility to calibrate EUV detectors", *Proc. of an European Space Agency Symposium on "Photon detectors for space instrumentation*, H. Habing, ESA Special Publication 356, 233-236, 1992.
14. P.B. Mirkarimi et al. "Mo/Si and Mo/Be multilayer thin films on Zerodur substrates for extreme-ultraviolet lithography", Appl. Opt. **39**, 1617-1625, 2000.

ARCHIMEDE
ARchitects for Mirrors EUV Devices.

Richieste 2004

Attuale R&D in corso	2
Attività svolta e risultati conseguiti	3
Nuovi Sviluppi	5
Nuovo apparato di deposizione e stato dell'attività in collaborazione con LNF	6
Problemi aperti e richieste per il 2004	10
Partecipazione a progetti europei.	11
HERSCHEL	12
SWAP	15
Report e pubblicazioni	16
Lista altri documenti allegati	17
REPORT <i>"Process related properties of nanoscaled a-Si(H)/Mo multilayers for extreme UV applications"</i>, AIP Conference Proceedings Vol. 652 X-Ray and Inner-Shell Processes (Rome 24-28 June 2002), 103-111 (2002)	18

ARCHIMEDE

ARchitects for Mirrors EUV Devices.

Relazione riassuntiva dello stato di avanzamento del progetto aggiornato a giugno 2003 e proposta per il 2004.

Sezioni coinvolte:

INFN-LNL
INFN-LNF

Scopo dell'esperimento:

Progettazione e realizzazione di specchi a multistrato ad alta riflettanza per radiazione nell'estremo UV e raggi X Molli.

Attuale R&D in corso.

Attualmente l'attività di ricerca e sviluppo è incentrata su 3 tematiche:

1. Produzione di ottiche a multistrato per applicazioni nell'osservazione solare. I LNL sono coinvolti nei seguenti progetti internazionali con il compito di procurement (realizzazione e test) di ottiche per esperimenti di osservazione del sole:
 - a. esperimento **UVCI - HERSCHEL** (vedi allegato). Realizzazione di un precursore prototipo di coronografo UVCI inteso a sfruttare il programma di voli sub-orbitali su razzo della NASA (in collaborazione con Naval Research Laboratory USA). L'esperimento è stato selezionato da NASA in primavera 2003. Tempistica: realizzazione primi prototipi entro 2004 (vedi time schedule). TASK: Produzione di elementi ottici riflettivi a 30.4nm e 121.6 nm.
 - b. Esperimento **SWAP (Sun Watcher using APS detectors and image Processing)** (Allegato report luglio 2002). SWAP è uno strumento precursore di uno strumento più complesso previsto per SDO (SOLAR DYNAMIC OBSERVATORY) e rientra nel programma ESA per il satellite PROBA 2 adatto a test di strumentazione avanzata. Tempistica: Realizzazione primi prototipi entro 2004. TASK: Produzione di elementi ottici riflettivi a circa 19 nm.
- Progetto collegato: Progetto ASI I/R/113/02 "High Reflectance multilayer coatings for EUV optics"**
2. realizzazione di ottiche per litografia nell'estremo UV a circa 13 nm nell'ambito del progetto MIUR FIRB: **"Prototipo per nanofabbricazione di chip per elettronica e di dispositivi per optoelettronica basato su microlitografia EUV"**.
3. progettazione e realizzazione di prototipi di ottiche multistrato per radiazione nel range di energia da 400 a 500 eV per dispositivi operanti con luce di sincrotrone o con **sorgenti X di nuova generazione** (laser plasma sources, free electron laser). Possibile impiego in microscopia X e in microanalisi X.

Attività svolta e risultati conseguiti

L'attività è stata incentrata sull'ottimizzazione del processo di produzione di specchi Si/Mo e Si(H)/Mo a multistrato per radiazione nell'estremo UV compresa tra 13 e 31 nm. La tecnica di deposizione è magnetron sputtering a radiofrequenza in plasmi di Ar e Xe.

Nel range di lunghezze d'onda citato, i LNL sono coinvolti nella realizzazione di ottiche per astrofisica per l'osservazione della corona solare a 30.4 nm nell'esperimento HERSCHEL (NASA- Naval Research Laboratory, Osservatorio astronomico di Torino -vedi allegato) e nell'osservazione del disco solare a 19.5 nm nell'esperimento SWAP (**S**un **W**atcher using **A**PS detectors and image **P**rocessing, -Royal Observatory of Belgium; Solar Physics Department). In ambedue i casi il processo ottimale messo a punto su campioni di $2 \times 2 \text{ cm}^2$, verrà aggiustato per l'applicazione finale su ottiche curve di dimensioni dell'ordine di 5-7 cm di diametro (il disegno ottico definitivo è ancora in fase di definizione), non appena sarà conclusa la fase di realizzazione e commissioning del portacampioni motorizzato (finanziato in parte dalla commissione 5).

Per la messa a punto del processo produttivo si è deciso di saggiare le potenzialità realizzative dell'attuale apparato sperimentale e della metodologia adottata producendo specchi basati sul sistema Si/Mo nelle condizioni estreme, cioè alle lunghezze d'onda più basse vicino alla soglia di assorbimento del Si a circa 13 nm. Questa attività è stata molto utile per la realizzazione di specchi ad alta riflettanza che verranno utilizzati nell'ambito della attività di ricerca Nr. 2. In queste condizioni gli effetti della interdiffusione atomica e della rugosità interfacciale introdotti dal metodo sono amplificati in quanto il periodo degli specchi Si/Mo è minimo (circa 6 nm). Gli specchi disegnati per lavorare a 13 nm hanno riflettività teoriche ad incidenza normale molto elevate (dell'ordine del 70%). L'obiettivo degli esperimenti compiuti nel primo semestre fino a giugno 2003 è stato volto a studiare la correlazione tra le variabili di processo e i valori della riflettanza. I risultati ottenuti sono stati presentati alle seguenti conferenze e workshop:

- a) conferenza internazionale "X ray and Inner Shell Processes" tenutasi a Roma a giugno 2002 [1]
- b) Conferenza Internazionale Plasma Surface Engineering 2002 tenutasi Garmisch (DE) a Settembre 2002 [2]
- c) "36th IUVSTA Workshop on nanostructured materials" Plzen, Czech Republic (Ottobre 2002), relazione su invito dal titolo "**Process related properties of nanoscaled a-Si(H)/Mo multilayers for extreme UV applications** "

In sintesi sono stati quantificati gli effetti del bombardamento ionico delle interfacce Mo/Si causati

- 1) dall'intenso flusso delle particelle di Ar riflesse dal target di Mo durante il processo produttivo di sputtering. L'effetto di questo flusso di "reflected neutrals" era stato ipotizzato al momento della sottomissione del proposal dell'esperimento ARCHIMEDE alla commissione nazionale V nel 2001, ma non erano chiari gli effetti complessivi sulle strutture a multistrato, né tantomeno erano quantificati gli effetti in termini di flusso di Ar che ora sono pienamente compresi.
- 2) dal flusso e dalla energia di bombardamento delle particelle di Ar e Xe utilizzate nel processo di sputtering e variare secondo opportuni schemi.

Per la caratterizzazione del processo di sintesi sono stati impiegati dispositivi diagnostici di plasma basati su sonde di Langmuir e metodi di calcolo di tipo Monte Carlo per la quantificazione del bombardamento ionico (in termini di energia E e rapporto tra flusso di ioni e di atomi depositati Ji/Ja e più in generale dell'apporto energetico delle varie specie coinvolte nel processo di sintesi del singolo strato e della interfaccia tra strato e strato. Il laboratorio dei materiali dei LNL si è recentemente dotato del software messo a punto dal Max Planck Institute IPP (Garching) (Lab. di fisica del plasma), adatto alla quantificazione del bombardamento ionico dei layer negli esperimenti di sputtering. Con tali strumenti si è potuto studiare la dinamica della deposizione dei materiali.

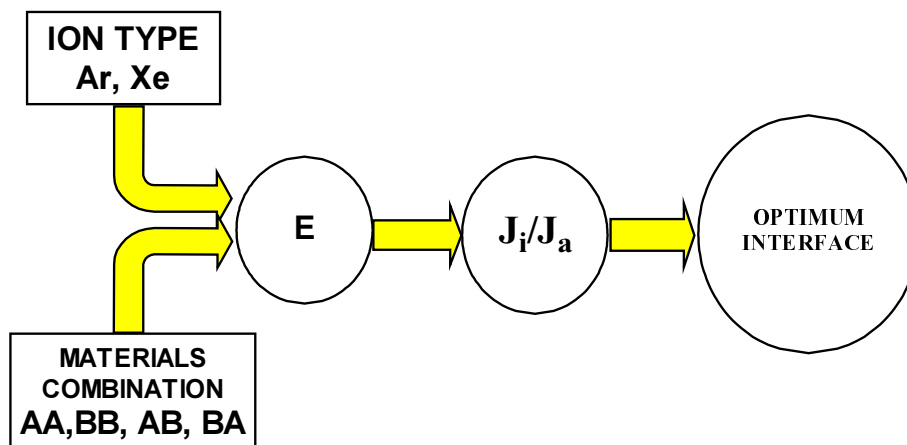
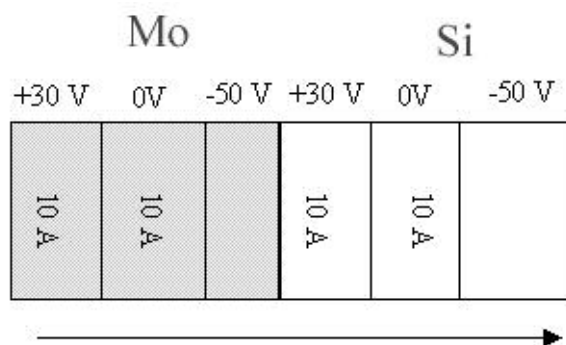


Fig. 1 Interfacce ottimali si possono ottenere soltanto ottimizzando la tipologia di ioni che bombardano il film, la loro energia E e il flusso ionico J_i rapportato al flusso atomico J_a di deposizione del materiale A e B.

I risultati hanno mostrato che per raggiungere i valori massimi teorici di riflettività è necessario avere un controllo quantitativo di tutti gli aspetti del processo di produzione (inclusendo la diagnostica quantitativa del plasma di processo) con particolare riguardo agli effetti non intenzionali dovuti al bombardamento dei film durante la loro crescita. E' in questa direzione che si stanno svolgendo gli esperimenti attualmente in corso presso LNL.

I migliori risultati ottenuti si riferiscono a specchi Si/Mo a multistrato formati da 40 periodi di lunghezza pari a circa 70 nm, per i quali è stata messa a punto una particolare modulazione del bombardamento ionico come riportato (a titolo esemplificativo) nella figura seguente:



Essenzialmente l'energia di bombardamento viene ridotta al minimo con una polarizzazione positiva durante la crescita dei primi 10 Å per evitare l'intermixing tra Si e Mo. Quindi viene gradualmente aumentata nei successivi 10 Å fino a raggiungere la massima energia di bombardamento (circa 70 eV) per la parte rimanente del singolo strato di Si e Mo in modo da ottenere una superficie finale dello strato caratterizzata da bassa rugosità.

In questo modo si sono ottenute riflettività misurate superiori al 60% come mostrato nella tabella 1 e nella successiva tabella 2.

Campioni	Bias (V)	Δ_{RBS} (Å)	Γ_{RBS}	ΔR (%)	R_{mis} (%)
Q319A	30/0	72.2	0.4	-13	63.4
Q320A	30/-50	74.1	0.4	-12.1	62.7
Q321A	20/0/-50	74.1	0.4	-9.9	64.6

Tab 1 Dati relativi a campioni realizzati con modulazione della polarizzazione. ΔR rappresenta lo scostamento % rispetto al valore massimo predetto dai calcoli per interfacce ideali. Le riflettività risultano migliorate rispetto ai campioni realizzati a bias costante preparati nel corso del 2002. Si può notare come i valori siano prossimi ai valori massimi teorici calcolati nel caso di interfacce ideali.

Campione	Bias (V)	Δ_{XRR} (Å)	Γ_{XRR}	R_{mis} (%)	ΔR (%)
Q324A	20	69.7	0.45	64.3	-11.1
Q339A	+30/0/-50	71.7	0.45	67.0	-6.7

Tab 2 Dati relativi ai campioni realizzati con modulazione della polarizzazione a pressione di $2.5 \cdot 10^{-3}$ mbar. Le riflettività risultano migliorate rispetto ai campioni realizzati a $5.0 \cdot 10^{-3}$ mbar

Gli ottimi risultati ottenuti sono stati applicati anche alla produzione di specchi Si/Mo adatti a riflettere la radiazione a 19 e 30 nm per le applicazioni di osservazione solare. La preparazione è stata facilitata a causa del maggiore periodo di questi multistrati e i risultati ottenuti sono risultati prossimi ai valori teorici.

Nuovi Sviluppi

Attualmente visti gli ottimi risultati ottenuti con il sistema Si/Mo l'attenzione è stata rivolta alla introduzione di un nuovo composto, il B_4C , sia come strato spaziatore nel nuovo sistema Al/ B_4C che come strato di inibizione delle interdiffusione nel sistema Si/Mo.

Infatti per le applicazioni astrofisiche nel range tra 17 e 30 nm la riflettività di picco raggiungibile con il sistema Al/ B_4C è maggiore di quella ottenibile con il sistema Si/Mo (figg. 2-3). Per questo sistema (scarsamente studiato in letteratura) è necessario valutare ovviamente le condizioni di compatibilità chimica tra i materiali, la stabilità meccanica e le proprietà interfacciali ottenibili con gli attuali mezzi di deposizione.

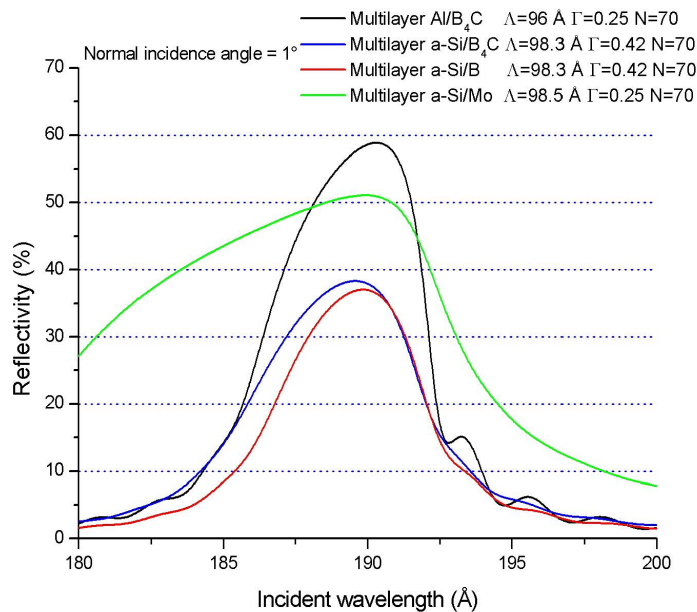


Fig 2. Andamento della riflettività speculare di specchi ottenuti con diverse combinazioni di materiali adatti alla applicazione SWAP.

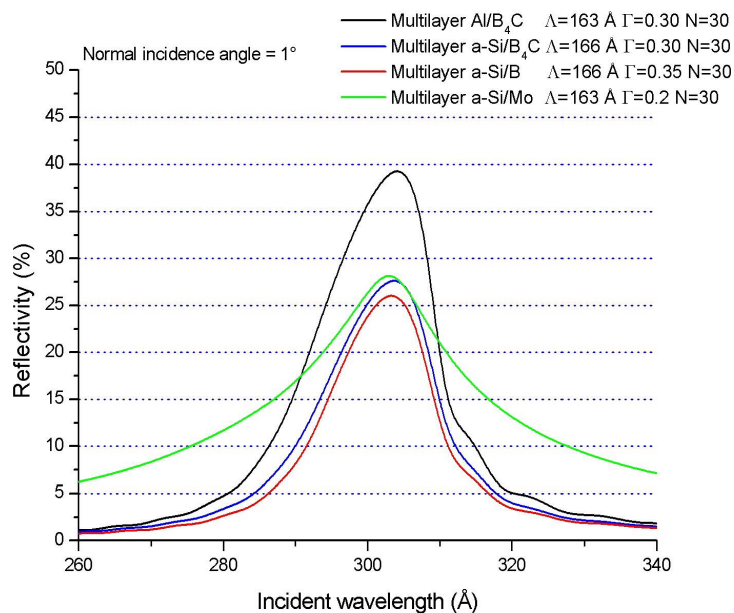


Fig 3. Andamento della riflettività speculare di specchi ottenuti con diverse combinazioni di materiali adatti alla applicazione UVCi-HERSCHEL.

I primi prototipi di questi specchi del sistema Al/B₄C sono stati già preparati e verranno misurati durante il turno di misura presso il sincrotrone ELETTRA a luglio 2003.

Nuovo apparato di deposizione e stato dell'attività Nr. 3 in collaborazione con i Lab. Nazionali di Frascati dell'INFN.

All'inizio del 2003 per rendere possibili gli sviluppi connessi alla possibilità di utilizzare specchi a multistrato prodotti ai LNL in applicazioni con luce di sincrotrone ed in particolare con DAΦNE (LNF), si è proceduto alla messa a punto di un nuovo apparato UHV di deposizione per sputtering a 3 sorgenti che attualmente

funziona in parallelo al sistema di più grosse dimensioni esclusivamente dedicato allo sviluppo delle ottiche per le applicazioni astrofisiche. Attualmente quindi presso LNL vi sono due impianti dedicati alla sintesi di multistrati per applicazioni nell'estremo UV e raggi X molli.

L'impianto originario è in corso di potenziamento (come previsto) per poter consentire la sintesi degli specchi per le applicazioni di osservazione solare.

Precisamente per quanto attiene la installazione del nuovo sistema Facing Target Sputtering sull'apparato di deposizione originario si è provveduto alla installazione delle 4 sorgenti e sono iniziati i test principali di commissioning dell'apparato. Il commissioning di detto apparato richiederà sia complesse sessioni di diagnostica di plasma sia la determinazione dettagliata dei profili di deposizione ottenuti con le mutate condizioni sperimentali e quindi coinvolgerà gran parte del tempo rimanente nel 2003.

La realizzazione del portacampioni necessario alla sintesi di specchi su substrati piani e curvi (per le applicazioni astrofisiche SWAP e HERSCHEL) di dimensioni maggiori delle attuali è in corso. Sono sopravvenute delle necessità di modificare il disegno originale per consentire la polarizzazione dei substrati secondo i risultati sperimentali ottenuti.

L'aggiunta dei nuovi stadi polarizzabili è stata commissionata e attualmente lo sviluppo del software di gestione dei 5 assi di movimentazione è in fase avanzata di sviluppo.

Il nuovo apparato di deposizione consente la deposizione di specchi su aree non maggiori di circa 2 cm x 2 cm. Tuttavia queste dimensioni sono sufficienti per compiere gli esperimenti che coinvolgeranno 3 sincrotroni.

1. ESRF – linea GILDA (caratterizzazione fine di interfacce)
2. ELETTRA linea BEARS (misura di riflettività risolta in energia e misure di scattering non-speculare)
3. DAΦNE

L'esperimento ARCHIMEDE prevede di testare entro il 2004 presso DAΦNE degli specchi concepiti per avere alta riflettività nella regione spettrale tra 2 e 4 nm.

Gli specchi che verranno prodotti sono del sistema Ni/Ti e Ni/TiO₂ o Ni/TiO_x

La riflettività calcolata per questi sistemi è rappresentata nella figura 4 per radiazione di 426 eV.

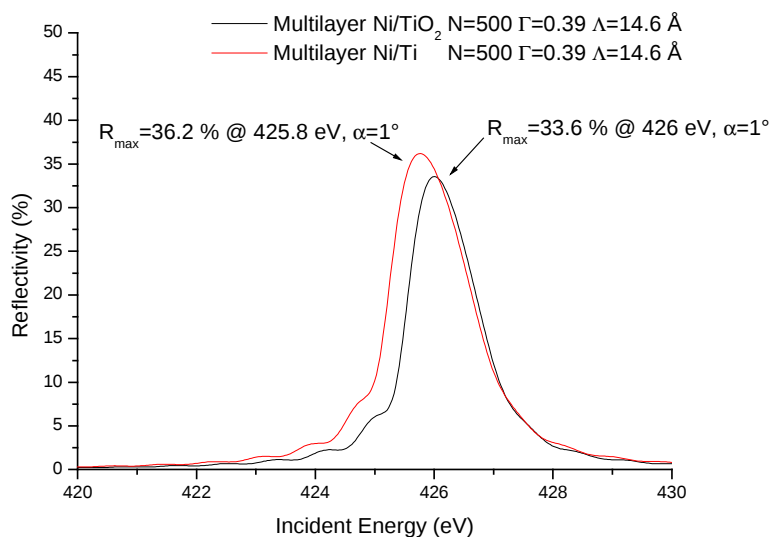


Fig. 4 Riflettività teoriche dei sistemi Ni/Ti e Ni/TiO₂ adatti a riflettere radiazione a circa 426 eV.

La realizzazione di questi multistrati è assai difficile in quanto si tratta di depositare multistrati il cui periodo è di circa 1.5 nm formati da circa 500 periodi di Ni/Ti o Ni/TiO₂ e NiO_y/TiO_x.

La sintesi di questi reticoli è un attualissimo campo di investigazione scientifica ed esistono solo rari esempi di specchi sintetizzati con la tecnica di sputtering che sono caratterizzati da riflettività ben lontane dai valori teorici per la difficoltà tecnologica connessa alla realizzazione delle interfacce tra i due materiali.

Inoltre il sistema Ni/TiO₂ e Ni/TiO_x non è ancora stato realizzato sperimentalmente da alcun laboratorio al mondo per le difficoltà tecnologiche connesse alla deposizione di un metallo puro (Ni) e di un ossido (TiO₂).

Tale sistema tuttavia potrebbe possedere caratteristiche migliori di stabilità rispetto al sistema Ni/Ti.

Per il test di questi specchi prototipo LNF prevede di estendere il range di energia verso i 400-480 eV (fig. 5) e di dotarsi una facility per la caratterizzazione preliminare degli specchi per quanto attiene riflettività e scattering non speculare (fig. 6)

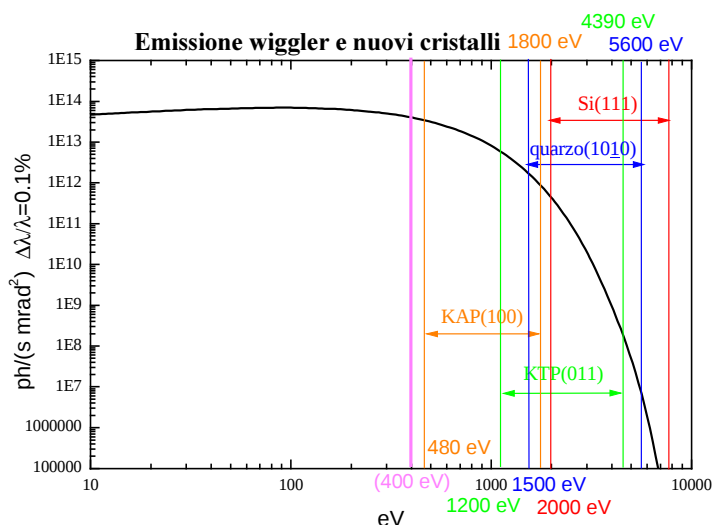


Fig. 5 Potenziale range di energia per X-molli sull'apparato DAΦNE con impiego di cristalli a largo spacing.

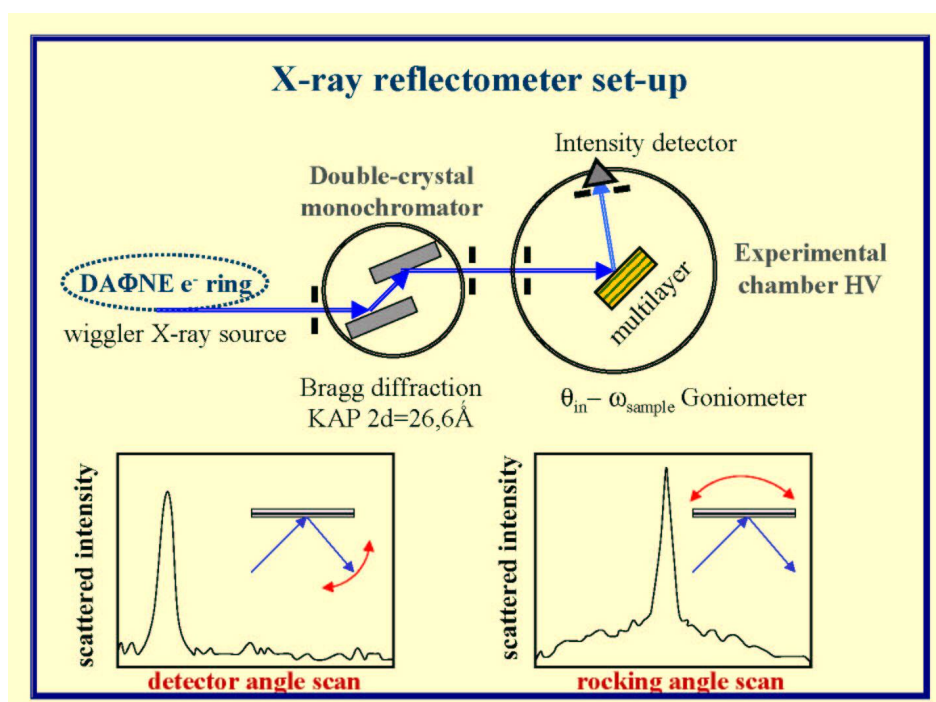


Fig. 6. Schema dell'apparato da realizzarsi a LNF per i test di prototipi di multistrati concepiti per lavorare attorno i 400-480 eV.

La parte di attività sperimentale relativa al progetto Archimede, originalmente proposto dai LNL ed oggi condotto in collaborazione con i LNF, prevede complessivamente lo studio, la realizzazione e la caratterizzazione di prototipi per ottiche artificiali periodiche multistrato che lavorino ad incidenza quasi normale nella finestra spettrale 200-500 eV. Obiettivo del progetto lo studio di fattibilità' anche di ottiche in

geometria curva (focalizzante) e *multistep* (in questa geometria pseudo-sferica e' possibile ottenere una larga accettazione angolare).

Il gruppo presso i LNF ha proposto l'utilizzazione della facility di Luce di Sincrotrone DAΦNE-Light per la parte di caratterizzazione dei sistemi multistrato (piani e curvi) mediante:

- i) misure sperimentali della struttura fisica locale dei multistrati atomici, utilizzando la tecnica XAS (X-ray Absorption Spectroscopy);
- ii) realizzazione e caratterizzazione di supporti a *multistep* su cui vengono fissati gli elementi multistrato mediante tecniche del tipo "optical contact", ovvero senza l'uso di collanti;
- iii) misure ottiche di riflettività delle strutture periodiche multistrato isolate e nella geometria composita a *multistep*.

i) Nel Dicembre 2002 il lavoro preliminare di commissioning sulla linea a raggi X è stato ultimato con la messa in operazione e la calibrazione in energia del monocromatore a doppio cristallo e con i test della camera sperimentale. Il sistema messo a punto ha consentito la misura in trasmissione delle soglie K di elementi leggeri e le soglie L di metalli di transizione (spettroscopia XANES - X-ray Absorption Near Edge Spectroscopy - ad energie inferiori a 5 keV). E' in fase di implementazione anche il sistema di rivelazione di fluorescenza (rivelatore Si PIN raffreddato Peltier con analizzatore multicanale interfacciato a PC) che consentirà misure di caratterizzazione della struttura atomica locale sia inter- che intra-strato nello spessore dei multilayer mediante la tecnica XAS. La ridotta resa di fluorescenza nella regione degli X molli suggerisce la dotazione anche di un sistema di rivelazione degli elettroni fotoemessi per misure in "total yield". E' previsto quindi l'acquisto di un channeltron e la costruzione di un alimentatore a basso rumore (alimentato DC con batterie di pile) nonché della dotazione di una catena elettronica di acquisizione a basso rumore.

ii) Dopo le misure spettroscopiche finite nel Dicembre 2002 l'anello di accumulazione DAΦNE è a tutt'oggi in fase di shut-down (per upgrade della macchina e per l'inserimento dei nuovi esperimenti di fisica delle particelle), con conseguente ritardo nella programmazione dell'attività sperimentale con radiazione di sincrotrone. Fermo restando che le diverse modifiche di macchina apportate a DAΦNE (per aumentarne la luminosità) rispetto alla configurazione ottica prima della sosta non modifichino sostanzialmente le sorgenti di luce, questo periodo è stato sfruttato anche per realizzare un upgrade delle beamlines; in relazione al programma ARCHIMEDE sono stati acquistati:

- a) nuovi cristalli con largo passo reticolare (KAP - 2d circa 27 Å);
- b) finestre di separazione UHV/HV ultrasottili (1000 Å polimeriche);

Queste modifiche consentono di estendere la regione di misura alle basse energie fino alla soglia dell'ossigeno (~500 eV). Sarà dunque accessibile la misura diretta della riflettività di multilayer nella cosiddetta finestra dell'acqua, lavorando con fasci di luce di sincrotrone monocromatici in incidenza quasi normale sugli elementi in prova.

Misure di riflettività potranno essere realizzate secondo due modalità:

- a) misure risolte in energia con rivelatore fisso ed elemento ottico fisso;
- b) misure ad energia fissa, rivelatore fisso e determinazione della "rocking curve" dell'elemento ottico.

Questi esperimenti potranno essere realizzati in vuoto in una camera di misura già esistente in fase di upgrade. Si prevede infatti l'acquisto di goniometri remotizzati di precisione per la movimentazione angolare del campione e dei rivelatori. Per questi ultimi, il range spettrale (VUV/soft X-ray) ed il tipo di misura (intensità relativa di fasci X diretti e riflessi) si prevede l'acquisto di fotodiodi dotati di un semplice sistema di acquisizione.

iii) La realizzazione di alcuni prototipi per supporti a gradino (con superfici curve) dove posizionare gli elementi ottici multistrato sarà studiata successivamente alla realizzazione dei primi multilayers con riflettività consistenti nella regione dei raggi X molli. Per questa parte del progetto si sfrutteranno soprattutto le conoscenze acquisite dal gruppo dei LNF in collaborazione con l'Università di Rostov nell'ambito del precedente progetto di Gruppo V MUST. Questo esperimento ha infatti già realizzato diversi sistemi riflettenti in geometria multistep con superfici curve (cilindriche e sferiche) dove, mediante "optical contact", sono stati posizionati e allineati diversi cristalli.

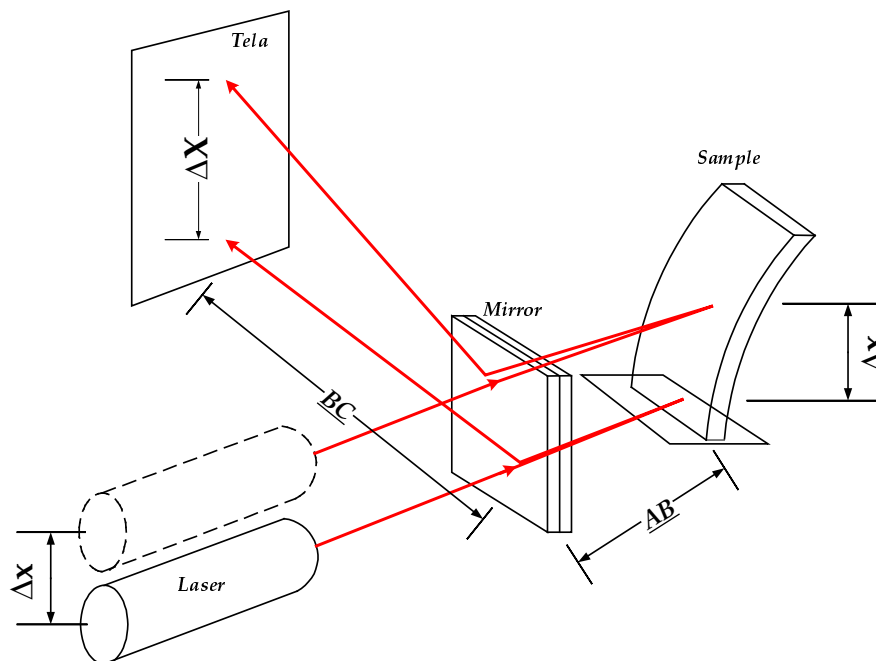
Questa parte del progetto estenderà la fattibilità anche a sistemi multistrato, importanti per coprire una regione di energia non accessibile con cristalli convenzionali e soprattutto ad angoli di incidenza non ottenibili con cristalli mediante diffrazione alla Bragg.

Problemi aperti e richieste per 2004

Il programma di sviluppo presso LNL prevede di effettuare degli investimenti nel 2004 per

1. qualificare gli specchi prodotti per quanto concerne il loro stato di stress residuo
2. mettere a punto il processo di deposizione per il sistema Ni/TiO₂

Per quanto riguarda il punto 1., bisogna osservare che la conoscenza dello stress residuo dei multilayer è collegata a questioni di affidabilità a lungo termine delle ottiche. La qualificazione e quantificazione dello stress residuo dei multistrati prodotti è indispensabile in quanto i multistrati tendono ad essere strutture ad elevato stress compressivo. In determinate condizioni termo-meccaniche (come il lancio su razzo, o una eccessiva illuminazione) i multistrati potrebbero dare luogo a delle failure adesive derivanti dal rilascio della energia elastica immagazzinata. Mediante opportuni schemi di polarizzazione modulata o mediante la introduzione di opportuni buffer layer atomici si può intervenire sullo stato di stress residuo fino a ottenere multistrati stabili. Attualmente presso LNL non è possibile effettuare la misura dello stress residuo e quindi manca una conoscenza fondamentale per la produzione degli specchi. La valutazione economica per dotare il laboratorio di un apparato dedicato è di circa 10.5 kEuro tra materiale inventariabile e costruzione apparati. La tecnica scelta per misura dello stress residuo si basa sul metodo della misura della curvatura del substrato soggetto a stress e può essere implementata in diversi modi. Essenzialmente si deve misurare la curvatura di un substrato (di spessore e modulo elastico noti) su cui è depositato un multistrato (di spessore totale noto) in stato di stress compressivo o tensile. Tale curvatura può essere determinata mediante una misura di deflessione del substrato (ipotizzato lungo e sottile) vincolato in un punto. Tale deflessione è spesso micrometrica e quindi richiede delle tecniche di amplificazione dello spostamento del raggio laser riflesso. Questa tecnica, nota con il nome di bending-beam method, è schematizzata nella figura seguente.



Nota la deflessione del substrato si ricava il valore dello stress residuo mediante la formula:

$$\sigma_0 = -\frac{E_s}{6 \cdot (1 - \nu_s)} \cdot \frac{t_s^2}{t_f} \cdot (k_d - k_s)$$

dove σ_0 è lo stress residuo. E , ν e t sono il modulo di Young, il coefficiente di Poisson e lo spessore, rispettivamente. Gli indici s e f rappresentano il substrato e il film, rispettivamente. $k_s = 1/R_s$ and $k_d = 1/R_d$ sono le curvature del substrato prima e dopo la deposizione del multistrato.

Per quanto concerne il punto 2., la possibilità di ottenere multistrati del tipo Ni/TiO₂ (e più in generale del tipo Metallo/Ossido) per i test da effettuarsi presso DAΦNE, si basa sulla possibilità di controllare prontamente la concentrazione di O₂ nel plasma di processo costituito da Ar. Durante la deposizione di Ni la concentrazione di O₂ dovrà essere tenuta al minimo (mediante una sistema di pompe getter) . Durante la preparazione degli

strati di TiO_2 invece l'ossigeno dovrà essere fatto fluire nell'apparato di deposizioni in concentrazione appena sufficiente a garantire la stechiometria del TiO_2 . Per garantire ciò, il flusso di ossigeno sarà controllato mediante una valvola piezo-elettrica a risposta molto veloce (dell'ordine del ms) interfacciata ad uno spettrometro UV/VIS capace di monitorare le righe di emissione dal plasma. Se si monitorizzano le righe di emissione del Ti si può determinare il flusso di atomi di titanio in fase gassosa che viaggiano tra il target e il substrato da rivestire. Il flusso di tali atomi è funzione dello sputtering yield del Ti dalla sorgente, che varia in funzione della concentrazione dell'ossigeno nel reattore a causa dell'inquinamento della sorgente di titanio che si riveste di sub-ossido di titanio. Le righe di emissione del titanio sono perciò un ottimo indicatore (temporalmente eccellente) della concentrazione di ossigeno nel reattore. Questo metodo è già stato testato presso LNL e si pensa di utilizzarlo per tentare la sintesi di multistrati Ni/TiO_2 adatti ai test da effettuarsi presso DAΦNE. Lo spettrometro UV/VIS e la fibra ottica in quarzo con passanti UHV necessari per la messa a punto del processo costano all'incirca 9.7 kEuro.

Per lo spelling delle altre spese si veda l'apposito documento allegato.

Partecipazione a progetti europei.

Lo studio condotto fino ad ora sulla produzione di specchi vicino alla soglia di assorbimento del Si ha consentito al nostro laboratorio di entrare a far parte delle network europee che si occupano della produzione di detti specchi per la realizzazione delle nuove apparecchiature che prevedono di utilizzare la radiazione e.m. prodotta da sorgenti laser di nuova generazione.

In particolare nell'ambito del sesto programma quadro dell'unione europea LNL ha presentato un Specific Targeted Research Project dal titolo "**EXTREME ULTRAVIOLET (XUV) FOR NANOMETER SCALE ANALYSIS AND ENGINEERING AND LIFE SCIENCE DEVELOPMENT**" – XUV-ANALYTICS". Dal progetto proposto appare chiaro come la comunità internazionale consideri estremamente strategico disporre di apparati diagnostici basati su radiazione XUV. (si veda l'allegato).

UVCI-HERSCHEL

The UVCI coronagraph scientific objective is to investigate the solar wind acceleration from a range of solar source structures by obtaining simultaneous observations of the electron, proton and helium solar coronae, and to obtain the first measurements of the coronal helium abundance. The test in flight of the UVCI has the purpose to establish proof-of-principle for the Ultraviolet Coronagraph, which is in the ESA Solar Orbiter Mission baseline. While the Solar Orbiter flight is still many years away, the HERSCHEL three-year program is essential in order to prove the validity of the UVCI new concept before the Solar Orbiter instrument choice is finalized. The UVCI for the first time will directly image and characterize on a global coronal scale the two most abundant elements, hydrogen and helium. In addition it will image the corona in visible light. This will directly address three outstanding questions in the Sun-Earth Connection theme: the origin of the slow solar wind, the acceleration mechanism of the fast solar wind and the variation of Helium abundance in coronal structures.

The UVCI instrument consists of an externally occulted, off-axis Gregorian telescope **with multilayer coated optic**. The UVCI obtains monochromatic images in the Lyman-alpha lines of neutral hydrogen, H I λ 1216 Å, and of singly-ionized helium, He II λ 304 Å, and measures the polarized brightness (pB) of the visible K-corona.

The design has been modified and optimized for a sounding rocket flight at 1 AU (as compared to the Solar Orbiter platform at 0.2-0.3 AU). The sounding rocket payload will carry two channels. The first channel (A) is optimized for He II Lyman-alpha 304 Å. The second channel (B) is optimized for the H I Lyman-alpha 1216 Å, and visible. The driving factor for splitting the coronagraph design in the two channels is the short duration of the sub-orbital flight. In order to test the possibility of carrying out all three observations with one channel, however, the He II channel is designed to make also a visible light measurement. Indeed, a mirror coating optimized for the λ 304 Å line still has a good reflectivity at λ 1216 Å and in the visible.

In the optical layout of UVCI the solar disk-light is blocked on the front aperture by the external occulter (EO), Fig. 1.

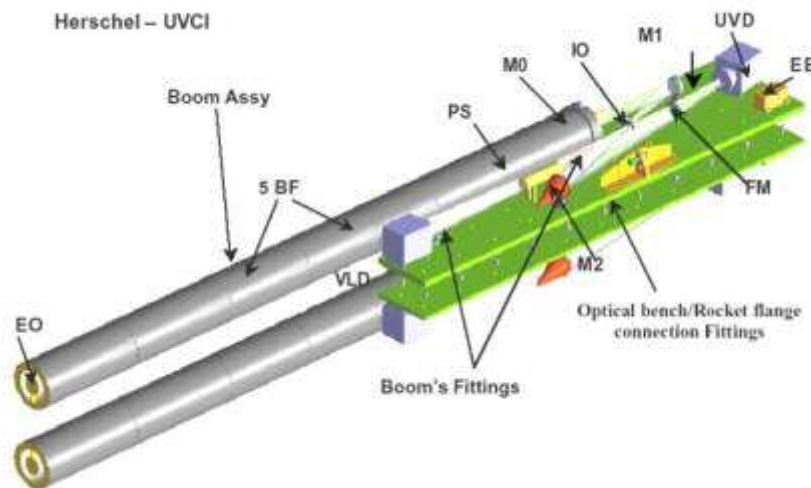


Fig. 1 - Scheme of the structure of the UVCI coronagraph (NASA HERSCHEL program). The two channels H I and He II, are anchored to a common optical bench

The disk-light passing through the annular front aperture is reflected back through it by a sun-disk rejection mirror (M0) behind the external occulter. This "solar shield" has an entrance aperture that is entirely in the shadow of the external occulter. Coronal light (plus diffracted disk light) passes through the entrance aperture onto the telescope's primary mirror, M1. The secondary mirror M2 focuses only the coronal light on the detector plane. In the H I UVCI (channel B), the UV light passes through the interference filter and is directly imaged.

In the He II coronagraph (channel A), the EUV light passes through a thin Al filter. A filter wheel mechanism is used to exchange the Al filter with a mirror for the visible light measurement.

Polarization analysis, required to obtain pB images in the visible light, is achieved with electro-optically modulated liquid crystal variable retarder (LCVR).

In parallel to the UVCI project a laboratory activity for the development of a polarimetry technology based on liquid crystals for the study of the K-solar corona is carried at the OATo. Measurements of the linearly polarized emission from the K-corona provide information on the coronal medium electron density. This instrument is thought to be implemented on space-borne coronagraphs, such as the HERSCHEL/UVCI sounding rocket project.

In most astronomical applications the degree of polarization, represented by the normalized Stokes parameters Q/I , U/I (linear polarization), or V/I (circular polarization), is small (about 10%). It can however be measured very accurately with modulation techniques. In order to achieve accuracies better than 1% in polarization measurements for solar and stellar astronomy, a signal-to-noise of $S/N \approx 10^3$ is required. At these accuracies, the dominant sources of noise - a part from the photon statistics - are the stability of the sky (i.e. seeing), telescope, and detector.

Liquid crystals retarders (LCVR) are electrically variable waveplates. Retardance is altered by applying a variable, low voltage waveform, with the birefringence decreasing with the increasing voltage, causing a reduction in retardance. The change of the LCVR retardance induced by the variable voltage, is usually given for a fixed wavelength. We propose to replace mechanically rotating retarders of a polarimeter with (LCVR), with the advantage of having no moving parts in the instrument.

The coronal Polarized Brightness (pB) is weakly λ -dependent, therefore the wider the polarimeter bandpass the higher is the S/N ratio. The retardance of LCVR is λ -dependent. Therefore, the polarimeter response as a function of λ must be characterized in order to determine the wider filter bandpass that can be utilized for the pB measurement. Fixed retardance waveplates, on the other hand, can be made achromatic.

Other laboratory activities for the LCVR-based polarimeter of the UVCI/HERSCHEL experiment are the development of a spectro-polarimeter for measurements of the Mueller matrix of optical components as a function of wavelength, the procurement and integration of the UVCI LCVR-based polarimeter and the characterization of the polarimeter response as a function of wavelength.

In 2002, the laboratory set-up for the measurements of optics' Mueller matrices vs. wavelength (spectro-polarimeter) has been assembled. Finally, the optical components for the flight UVCI polarimeter have been selected and their procurement has been completed. The laboratory spectro-polarimeter will be used to characterize these components and the flight prototype of the UVCI LCVR-based polarimeter.

HERSCHEL schedule

Years	2002				2003				2004				2005				2006			
Months	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
1)Preliminary design																				
2)I/F meeting																				
3)Detailed design																				
4)Fabrication																				
5)Polarimeter test program																				
6)Assembly and tests																				
7)Performance tests																				
8)Pre-integration review																				
9)Shipping to NRL																				
10)Tests at NRL																				
11)Pre-Ship review																				
12)Shipping to WSM																				
13)Launch activities																				
14)Data analysis																				

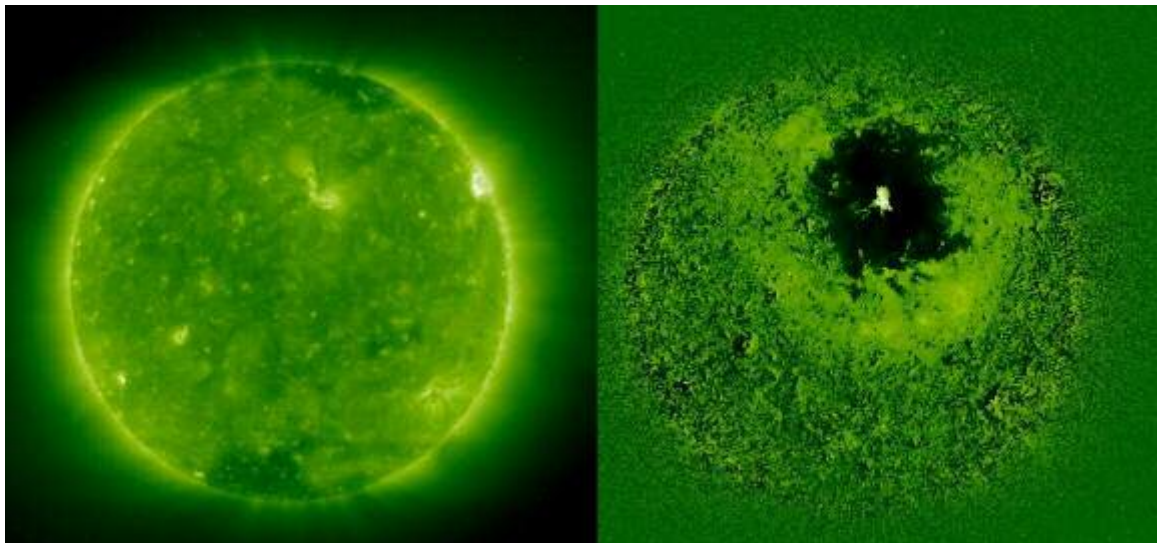
- 1) Preliminary design is at institutional level
- 2) Date is 01/04/03
- 3) Optics, mounts, baffles, structure, electrical
- 4) Optics, coronagraph multilayer mirrors, structure, polarimeter, computer;
 Development of flight MCP FPA
 Development of flight EUV/visible CCDs and FPA from functioning BB
 Polarimeter: fabrication, environmental tests
 Repackaging EIT
- 5) Environmental, characterization
- 6) Assembly of coronagraph (opto/mech): vacuum, cleaning, alignment
 Unit test: electrical compatibility, instrument functional tests
- 7) Photometry, polarization, characterization of EUV, visible, UV detectors
- 8) April 05
- 9) The shipping procedure takes two weeks
- 10) Integration, performance and environmental
- 11) September 05
- 12) The shipping procedure takes two weeks
- 13) One month

SWAP

“Sun Watcher using APS detectors and image Processing”

SWAP is an extreme ultraviolet (EUV) telescope that will provide images of the solar corona at a temperature of 1.5 MK. SWAP will be flown on the PROBA II micro-satellite that will be launched in 2005 for a nominal mission of 2 years. The SWAP instrument will be build by a Belgian/Italian consortium under the supervision of the Centre Spatial de Liège. After launch, the Royal Observatory of Belgium will be responsible for the scientific exploitation of the SWAP data and the near real time distribution of space weather warnings derived from the SWAP data.

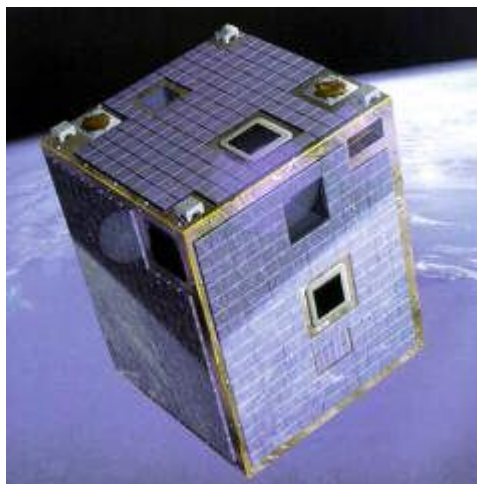
SWAP builds upon the heritage of the Extreme ultraviolet Imaging Telescope (EIT) onboard the joint ESA-NASA mission SOHO which monitors the solar corona since 1996. SWAP will continue the systematic CME (coronal mass ejection) watch program of the aging EIT instrument, but at an improved image cadence (1 image every minute instead of every 15 minutes). Thanks to this higher image cadence, SWAP will be a solar monitor capable of recording every event in the low solar corona that might be of relevance to the space weather. These events include EIT waves (global waves propagating across the solar disc from the CME eruption site), EUV dimming regions (transient coronal holes from where the CME has lifted off) and filament instabilities (a specific type of flickering during the rise of a filament). Systematic detection by the SWAP instrument of these phenomena that are associated with the early development of CMEs gives a 3-day warning before the CME can hit the Earth magnetosphere and cause geomagnetic storms.



On the left, an EIT image in the Fe XII bandpass (19.5 nm) taken on 1997/05/12, just prior to a coronal mass ejection. On the right, a processed image showing clearly the EIT wave. This event was the earliest warning of the halo CME that would hit the Earth magnetosphere and produce an intense geomagnetic storm (peak Dst <-100) two days and 22 hours later.

The primary objective of the PROBA II is in orbit technology demonstration. In this respect, SWAP will demonstrate various improvements over the old EIT design. In contrast to EIT, SWAP will be an *off-axis* Ritchey-Chretien telescope which allows for simpler baffling and a smaller aperture. Instead of using classical CCD technology, the SWAP images will be focused on a CMOS-APS detector, covered with an EUV sensitive scintillator layer. Spectral filtering around the Fe XII emission line (19.5 nm) is achieved with EUV multilayers deposited on the mirrors, and completed with a set of aluminium filters blocking the visible light. The experience gained with SWAP will be of use for upcoming missions: the “Solar Dynamics

Observatory”(NASA, launch 2007), for which the Centre Spatial de Liège and the Royal Observatory of Belgium will provide 6 other telescopes of a similar design as SWAP, and the Solar Orbiter (ESA, launch 2011)..



Artist impression of the PROBA micro-satellite in orbit.

Website: <http://sol.oma.be>

Pubblicazioni

1. P. Nicolosi, A. Patelli, M.G. Pelizzo, V. Rigato, G. Maggioni, L. Depero, E. Bontempi, G. Mattei, L. Poletto, P. Mazzoldi, G. Tondello, *“First realization and characterization of multilayer EUV reflective coatings”*, in San Diego, California, US, 2001, Proceedings SPIE 4506 ‘Soft X-Ray and EUV Imaging Systems II’, pp. 76-83.
2. V. Rigato and A. Patelli, *“Process related properties of nanoscaled a-Si(H)/Mo multilayers for estreme UV applications”*, AIP Conference Proceedings Vol. 652 X-Ray and Inner-Shell Processes (Rome 24-28 June 2002), 103-111 (2002)
3. M.G. Pelizzo, A. Patelli et al., *“Development of Multilayer Coatings for Solar Space Experiments”*, SPIE Conference, Hawaii 2002, SPIE Proceedings Vol. 4853
4. V. Rigato, A. Patelli et al. *“Effects of ion bombardment and gas incorporation on the properties of Mo/a-Si:H multilayers for EUV applications”*, Surface and Coatings Technology in press

LNL Annual Reports:

1. A. Patelli, V. Rigato, G. Maggioni, et al., *“EUV mirrors produced by RF-magnetron sputtering”*, Ann. Report LNL 2000,133-134 (2000).
2. A. Patelli, V. Rigato, G. Maggioni, et al., *“Mo/Si multilayer coatings for EUV mirrors”*, Ann. Report LNL 2001,134-135 (2001).
3. A. Patelli, F. D’Acapito, G. Salmaso, et al., *“Structural and interface modification of Mo/Si multilayer mirrors”* Ann. Report LNL 2002
4. A. Patelli, V. Rigato, G. Salmaso, et al., *“Effects of deposited energy on the surface during growth of Mo/Si multilayers”*, Ann. Report LNL 2002
5. A. Patelli, V. Rigato, *“Ion assistance effects on the growth of Mo/Si multilayers”*, Ann. Report LNL 2002

Lista documenti allegati:

1. SWAP project details
2. XUV-ANALITICS UE proposal details
3. PAPER: "Effects of ion bombardment and gas incorporation on the properties of Mo/a-Si:H multilayers for EUV applications", Surface and Coatings Technology in press (2003)
4. Paper "Development of Multilayer Coatings for Solar Space Experiments", SPIE Conference, Hawaii 2002, SPIE Proceedings Vol. 4853

Novel methods of synthesis of a-Si(H)/Mo multilayers for Extreme UV applications

V. Rigato^a, A. Patelli^{a,b}

^a INFN, Laboratori Nazionali di Legnaro, Via Romea, 4, 35020 Legnaro (Padova), Italy

^b Dipartimento di Ingegneria dell'Informazione, Università di Padova, Via Gradenigo 6/A, 35100 Padova (Italy)

Abstract. This report is focused on the control of the plasma sputtering process used for the synthesis of multilayer mirrors for extreme UV and soft X-ray optical devices. The case of a-Si/Mo and of a-Si(H)/Mo multilayers will be discussed, with emphasis on the study of the basic parameters that control the growth of the single Mo and a-Si(H) layers. The deposition apparatus will be described. The effects of the plasma composition and of the bombardment of the growing layers by Ar⁺ ions and electrons on the properties of the layers are reported. The hydrogen concentration can be varied up to about 30 at% in the a-Si(H) layers: the hydrogen incorporation leads to a decrease of the material density. The accurate control of the plasma density and of the electron temperature and plasma potential is accomplished through the Langmuir probe method, that permits the accurate measurement of the energy of the Ar⁺ ions and of their fluence. The possibility of using the present apparatus for the synthesis of a class of ML designed for smaller wavelength applications (down to the water window spectral region) is discussed.

1. INTRODUCTION

The aim of the ARCHIMEDE project financed by INFN is to grow multilayer mirrors with high normal-incidence reflectivity for x-ray and EUV wavelengths in the spectral region from 2.4 to 30 nm onto large shaped substrates. In this spectral region the foreseen applications in astrophysics and in projection nanolithography are extremely important. Furthermore the lower wavelength region from about 2.4 to about 4.0 nm is of particular interest for x-ray microscopy of organic structures (viruses, proteins, DNA) in aqueous environment down to 20 nm in size. For any such envisaged application, it is necessary to collect the x-ray radiation emitted from a source and focus it onto an object. This can be accomplished by accurately depositing x-ray multilayer mirrors consisting of alternating high/low refractive index layers with a minimum absorption, onto large, curved substrates.

For maximum reflectivity, abrupt and flat interfaces are essential. For this reason a low substrate temperature and the absence of energetic particle irradiation during growth should be used to minimize bulk diffusion and interface mixing. These growing conditions may lead to a cinematically limited growth with an increased roughness as a consequence. Therefore the deposition process needs a careful optimization.

Many research groups are involved in the production of these multilayer structures by different techniques as DC magnetron sputtering [1-3] and evaporation [4]. In this work the multilayers are prepared by RF plasma magnetron sputtering.

In the magnetron sputter deposition process we expect that the energetic particles present in the plasma affect the surface morphology of the growing film. In multilayers' growth these effects will be enhanced due to the large amount of interfaces.

We will summarize our results on the growth of a-Si(H)/Mo multilayer suited for applications at 13nm and at 30.4 nm wavelength. The emphasis will be mainly on the growth method and on the process variables that permit to control the preparation of these multilayers.

EXPERIMENTAL

The experimental apparatus used at LNL for producing the X-Ray /EUV mirrors consists in a AISI 304/316 sputtering chamber with dimensions 110 × 72 × 65 cm evacuated by a 1000 l/s turbomolecular pump down to about 10⁻⁷ mbar. Two rectangular 10 × 20 cm² titanium magnetrons sputter sources are used for depositing Ti onto part of

the chamber walls before multilayer deposition starts. In this way the ultimate pressure of about 10^{-8} mbar can be routinely achieved. The oxygen and water vapor residual pressures are thus kept at a value such that they do not contaminate the growing Mo and Si layers. In the deposition region of the sputtering chamber up to 4 magnetron sputter sources can be installed. These sources are either 2" planar or 2"×6" rectangular. Direct sputter deposition or facing target deposition can be accomplished by internally interchanging the hardware. The samples can be mounted onto different sample holders, capable of different movements as needed.

In the following we will describe the apparatus comprising two planar 2" UHV type II unbalanced magnetron sputter sources (AJA International) and a sample holder with two positions that can be biased positive or negative with respect to ground or it can be left floating. The method is sputtering up-word with the sputter target normal making an angle of 0° , 10° , and 20° with respect to the sample normal. For measuring the temperature of the sample during film deposition a 1.0 mm shielded "K" type thermocouple is fixed onto the sample holder near the sample position. The sample holder motion is controlled by a personal computer that also controls the open/close status of the source shutters. The samples are positioned alternatively over the Mo or Si sources following a time sequence that is pre-determined by the user on the basis of the mirror design and is stored in the computer program. We do not spin the samples around their axis during deposition as it is done in most other laboratories [1-3], instead our deposition is static and the experimental parameters are chosen so that we can guarantee a film uniformity of better than 1% absolute over a region $2 \times 2 \text{ cm}^2$. The distance between target and substrate is set at 16.5 cm.

The plasma gas is an Ar (99.9999%) and H_2 (99.9999%) mixture. The operating total pressure is $5 \cdot 10^{-3}$ mbar as measured by a MKS capacitive gauge, Model 627B, capable of extremely stable readings in the range 10^{-1} to $1 \cdot 10^{-5}$ mbar. This instrument is also used for precise measurement of the H_2 partial pressure. For the deposition of the a-Si(H) layers the H_2 partial pressure has been varied from 1% to 10%. Standard a-Si/Mo multilayers are obtained in pure Ar plasma.

Each source is driven by a RF power supply (RFPP 5S and AE RFX600) at 13.56MHz connected to a low-loss matching box. The two power supplies are regulated in the forward power mode: $W_{\text{Si}}=150\text{W}$ ($V_{\text{B, Si}}$ about -500V), $W_{\text{Mo}}=60\text{W}$ ($V_{\text{B, Mo}}$ about -300V). For molybdenum the net Ar^+ current density during sputtering has been determined to be 5.0 mA/cm^2 by weighting the total amount of deposited Mo onto a domed shaped surface after a given period of time assuming a sputtering Yield $Y_{\text{Mo}}(300\text{eV})=0.45$.

In the experimental setup used in this experiment the samples are biased with the aid of a power amplifier (KEPCO Mod. BOP 100-4M) sourcing currents from -4 A to +4 A at bias voltages (V_{B}) from -100V to +100V. This amplifier is interfaced to a programmable function generator (NF 1940) that permits to program an arbitrary sample bias profile for the modulation of the ion and electron bombardment during the film growth. Several experiments have been carried out by DC biasing the samples at voltages from -50V (enhance Ar^+ bombardment) to +70V (electron bombardment, sample heating). Some samples have been grown with a pulsed DC waveform at 1.0 kHz and 50Hz (negative -50V, positive +70 V, 25%/75% duty cycle).

Ion Beam Analysis (Rutherford Backscattering Spectrometry -RBS- and Elastic Recoil Detection Analysis -ERD-) is used routinely for determining both deposition rates and contamination of the deposits. The deposition rates of Si is about $2.4 \cdot 10^{14} \text{ atoms/cm}^2/\text{s}$ ($0.48 \text{ \AA/s}$) and that of Mo is $3.0 \cdot 10^{14} \text{ atoms/cm}^2/\text{s}$ ($0.47 \text{ \AA/s}$) as measured by RBS.

Four kind of samples are investigated in this paper: 1) 200nm thick a-Si, a-Si(H) and Mo single layers; 2) bilayers of a-Si (or a-Si(H)) and Mo 200nm + 200nm; 3) a-Si(H)/Mo multilayer mirrors designed for $\lambda=30.4\text{nm}$ ($\Lambda=d_{\text{Si}}+d_{\text{Mo}}$ about 16 nm, $d_{\text{Mo}} = 3.0\text{nm}$; 15 periods); 4) a-Si(H)/Mo multilayer mirrors designed for $\lambda=13 \text{ nm}$ ($\Lambda=d_{\text{Si}}+d_{\text{Mo}}$ about 7 nm, $d_{\text{Mo}} = 2.8\text{nm}$; 40 periods). All these samples are deposited onto Si single crystals with surface roughness of about 0.1 nm using different bias voltages.

To know the Ar^+ energy and bombardment flux of the growing films as a consequence of the above mentioned bias procedure, we performed the measurement of the plasma density, plasma potential (V_{p}) and electron temperature (T_{e}) of the RF glow discharge as a function of the position near the deposition surface at different bias voltages. This has been accomplished by means of a motorized cylindrical Langmuir probe apparatus suited RF plasma diagnostics [5] and characterized by high speed data acquisition (Scientific Systems SmartProbe).

RESULTS

By X-Ray diffraction analysis (not reported in the present paper) and RBS analysis we found that the Si and Si(H) layers are X-ray amorphous and that they incorporate Ar with average concentration varying between 1 to 7 at%. On the other hand Ar incorporation in Mo layers is found to be much lower (of the order of less than 0.5 at% as determined by RBS). Mo layers are nano-crystalline with (110) preferred orientation.

Particle bombardment is generally accomplished by accelerating Ar^+ ions into the growing films by applying an appropriate voltage to the substrate. This method permits to control directly the amount of bombardment of the growing film if the plasma potential and ion density are known. In Fig. 1 the plasma potential and electron temperature are shown as a function of the different bias conditions used in this work. As it can be seen the electron temperature is about 4 eV for bias below about +25V, and jumps to more than 6 eV for higher V_B values. The plasma potential V_p is about +23V for bias voltages up to +25V and raises at about $V_p=+74\text{V}$ at positive bias of +70V. The Ar^+ flux bombarding the Si and Mo samples as a function of sample bias is shown in Fig. 2 together with the total energy flux to the growing films. We notice that the ion flux varies from about 10^{15} ions/cm²/s ($V_B=+70\text{V}$) to about $4\text{--}6 \cdot 10^{14}$ ions/cm²/s at a dc bias of 0V or negative. The energy $e(V_p-V_B)$ of these ions can be very low when the plasma potential and bias potential are very near. From the data reported in Fig. 2 we see that the energy deposited intentionally into the sample surface is maximum when the sample is negatively biased at -50V and reaches its minimum when the sample is positively biased. The measured temperature of the growing surface when positively biased is in the range 100-150 °C while the 0V and -50V biased samples are deposited at a temperature that does not exceed 50°C. The ratio between the deposited atoms and the Ar ion fluxes varies in the range from about 2 to 4.

As a matter of fact the growing film is also bombarded by other energetic particles whose origin is intrinsic to the plasma sputtering process: the sputtered particles themselves and the reflected Ar atoms which are responsible for a complex bombardment process that cannot be easily controlled. The Ar atoms reflected back from the target can be characterized in terms of Particle Reflection Coefficient (R_N) which represents the ratio of the number of back-scattered particles to the number of incident particles and in terms of the Energy Reflection Coefficient (R_E) that quantifies the fraction of the initial input energy to the target that is carried away by the reflected particles.

The process of reflection of Ar atoms from Si is completely different and less efficient than that of Mo. Following the data reported in [6,7] based on TRIM.SP Monte Carlo calculations [8] $R_E^{\text{Si}}=5.8 \cdot 10^{-5}$ and $R_N^{\text{Si}}=3.8 \cdot 10^{-3}$ (for energy $E_{\text{Ar}}=500\text{eV}$, normal incidence) while for Mo we expect $R_E^{\text{Mo}}=0.04$ and $R_N^{\text{Mo}}=0.24$ (for 300 eV, normal incidence). This means that during the Si deposition the effects due to reflected Ar neutrals are negligible. Furthermore the Si sputtered particles undergo lot of collisions with the Ar gas particles and reach the substrate with energy much lower than the original sputter ejection energy due to the considerable thermalization. On the other hand, when the samples are positioned over the molybdenum target they are subject to the bombardment operated by the high flux of reflected Ar neutrals and by the sputtered Mo atoms less efficiently thermalized than Si atoms because of their higher mass. In order to quantify the flux and energy of the bombardment we performed calculation of the reflected Ar flux at our substrates by integrating the angular end energy distributions that resulted from TRIM.SP [8] calculations using the measured value of Ar^+ impinging current. The results of this calculations show that the flux of reflected neutrals to our substrates can be estimated to vary from about 2 to about $6 \cdot 10^{14}$ Ar/cm²/s (see Fig. 2). The average energy at the substrate of the backscattered Ar is about 35 eV taking into account the effects of thermalization [9]. The estimated contribution of the backscattered particles is comparable to the intentional flux and it is high enough to produce measurable effects on the film microstructure and to the quality of the Si/Mo interfaces. The energy of the backscattered atoms dominates the surface bombardment for bias potentials higher than 0 V.

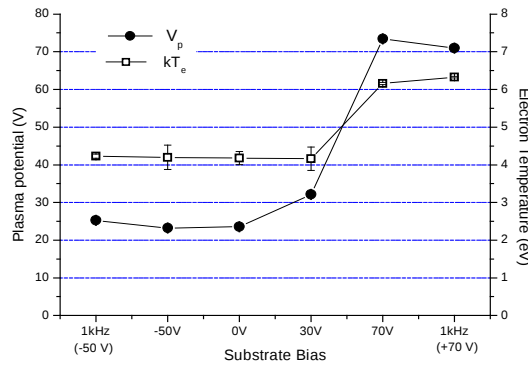


FIGURE 1 Plasma potential and electron temperature as a function of the different bias conditions. The data at 1 kHz refer to a bias profile with $-50V(25\%)/+70V(75\%)$. The plasma potential and electron temperature are measured both in the negative and positive pulse period and are found to be quite different.

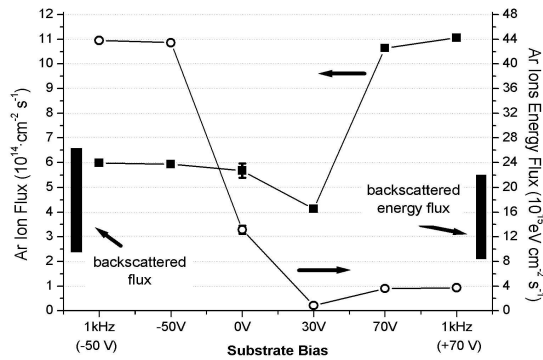


FIGURE 2 Ar^+ fluxes bombarding the samples as a function of DC sample bias. The total energy flux to the growing film is shown. The backscattered Ar flux and the corresponding energy flux in the case of Mo deposition is estimated from TRIM.SP calculations and geometrical parameters.

Ar Incorporation

The incorporation of rare gases at concentration ranging from a small fraction of percent to several atomic percent is often observed in films deposited at low temperature using rare gas plasma sputter deposition. Since rare gases are only weakly physisorbed on solid surfaces, their incorporation can only occur by trapping of incident energetic particles. As said above there are two primary sources of these energetic species: a) ions which are accelerated to the substrate by an induced or applied negative substrate bias, b) ions that are neutralized and reflected from the sputtering target. The measurement of Ar incorporation is important for understanding the effects of the Ar bombardment on the micro-structural properties of the growing films. The argon content in the 200nm thick a-Si films is shown in Fig. 3 as a function of the different bias conditions. As it can be seen when these samples are positively biased they trap much less Ar due to both the increase of the layer temperature caused by the electron bombardment, and to the lower energy of argon ions. The samples obtained at $V_B = -50V$ show a lower Ar incorporation than those obtained at $V_B = 0V$ due to the resputtering induced by the energetic Ar flux (Fig. 2). We

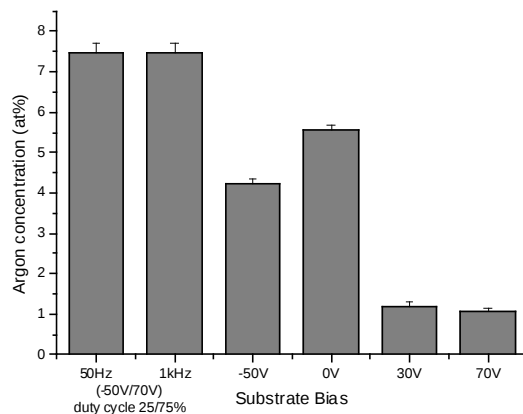


FIGURE 3 Argon atomic concentration in the thick a-Si layers as a function of different bias.

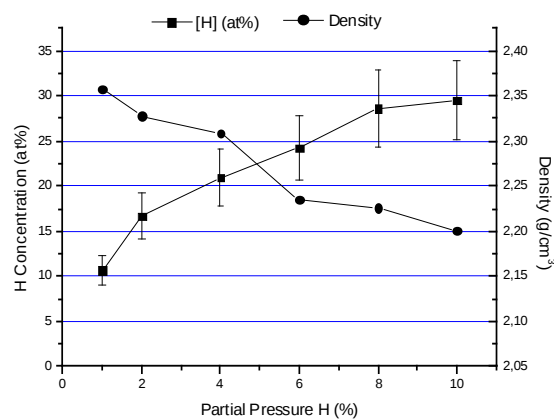


FIGURE 4 Density of a-Si(H) films as determined by X-Ray reflectometry as a function of the H_2 partial pressure in the deposition plasma. The H atomic concentration is determined by ERD.

observe a high Ar incorporation (7.4at%) in thick a-Si layers subject to alternate $-50\text{V}(25\%)/+70\text{V}(75\%)$ polarization either at 1 kHz or at 50 Hz. These layers are bombarded by Ar^+ (75eV) for $\frac{1}{4}$ of the period (with fluxes equal to those obtained for steady $V_B = -50\text{V}$ polarization- see Fig. 2) and by both an intense flux of plasma electrons and by a very high flux of low energy Ar ions, for the remaining fraction of the period. The temperature of the growing layers in these conditions rises to about 100-150°C. The average Ar concentration in the a-Si layers of different multilayers mirrors is reported in Table 1. As it can be seen the average Ar content in the a-Si thin layers decreases with the Si layer thickness. The effective deposition rate of silicon is also dependent on the layer thickness as it can be seen from the data reported in Table 1, the effect being more pronounced for negative bias voltages.

H Incorporation

In Si/Mo mirrors technology silicon is the "spacer" material characterized by low radiation absorption. In mirror design it would be desirable to reduce the density of the spacer material so that less absorption occurs at each layer. The gain in the theoretical reflectance at normal incidence of a a-Si(H)/Mo mirror may be of 1.5% for a reduction of the density of a-Si(H) of about 10%. The incorporation of hydrogen can be accomplished by sputter depositing Si in a $\text{Ar}+\text{H}_2$ gas mixture. The most important effect of incorporation of hydrogen in silicon is the reduction of the material density.

In Fig. 4 the hydrogen incorporation and the density of the thick a-Si(H) layers deposited at different H_2 partial pressures are shown. The progressive incorporation of H is accompanied by a decrease of the film density as expected. The density data have been determined by X-Ray reflectometry [10] on 200 nm thick coating deposited at $V_B=0\text{V}$.

Our ERD analysis performed on the Mo thick layers deposited in Ar/H_2 gas mixtures containing 1 to 10% H_2 do not reveal measurable H incorporation into the Mo layers. This is due to the fact that the heat of solution for H in bulk Mo is positive [11].

TABLE 1. Ar concentration and a-Si effective deposition rates in a-Si layers and a-Si/Mo multilayers deposited at different bias .

Sample	Average Ar Concentration in a-Si (at%)	a-Si Layer Thickness (nm)	Variation of a-Si deposition rate in ML with respect to thick layers
Thick a-Si layer, $V_B = 0\text{V}$	5.5	~200	-
Thick a-Si layer, $V_B = -50\text{V}$	4.2	~200	-
30.4 nm Mirror , $V_B = 0\text{V}$	4.0	13.5	-0.3%
30.4 nm Mirror , $V_B = -50\text{V}$	3.2	12.8	-2.2%
13.0 nm Mirror , $V_B = 0\text{V}$	3.2	3.9	-2.0%
13.0 nm Mirror , $V_B = -50\text{V}$	2.6	2.9	-8.8%

DISCUSSION

In view of the application of the sputter deposition technology to the preparation of mirrors for wavelength lower than 10 nm, we focussed our attention on the issues concerning nanometer thick layers preparation at low deposition rates: in the present work the deposition rates of Si is about $2.4 \cdot 10^{14}$ atoms/cm²/s (0.48 Å/s) and that of Mo is about $3.0 \cdot 10^{14}$ atoms/cm²/s (0.47 Å/s). For the operating pressure of $5 \cdot 10^{-3}$ mbar the calculations of the backscattered particles flux and of the transport of particles through the plasma gas show that the Si layers at the beginning of the growth of the Mo over-layer, and the Mo layers themselves, are bombarded by Ar reflected particles with energy of about 35 eV at fluxes in the range from 2 to $6 \cdot 10^{14}$ particles/cm²/s even when V_B is very near V_p . This displacement energy is high enough for creating bulk and surface defects [12]. The bombarded thickness of Si of about 1 nm as deduced from TRIM.SP calculations. This effect is more important for the a-Si/Mo and a-Si(H)/Mo multilayers designed for $\lambda=13$ nm for which the total thickness of each a-Si (or a-Si(H)) layer is about 3nm. Because the plasma potential is about +23V intermixing also occurs when Si is initially deposited onto Mo with $V_B \leq 0$. Here the bombarding energy $E=e(V_p-V_B)$ is higher than 25 eV and leads to atomic displacements. Furthermore the deposition rate of a-Si is initially much lower than the "bulk" value due to the amplified re-sputtering [13] of Si atoms caused

by the presence of the Mo substrate. These facts suggest that a mixed Si_xMo interface is readily formed on both interfaces that may cause a deterioration of the reflectivity properties of the multilayer. The lower effective deposition rate of a-Si and the lower average incorporation of Ar in a-Si/Mo multilayers with respect to the thick single a-Si layers deposited under the same conditions (see Table 1) may be an experimental evidence of these interfacial effects connected with noble gas particle bombardment. In the measurement of the EUV reflectivity it is not possible, without a direct measurement of the interface roughness, to separate the contributions of atomic intermixing from those induced by interface roughness. As a matter of fact the reflectivity of the multilayers designed for 13 nm radiation shows a marked dependence on the applied bias: the maximum reflectivity of our multilayers (of order of 60-62%) is obtained for positive bias ($V_B > +20\text{V}$). This points out a beneficent effect of bombardment characterized by high fluxes of low energy particles. These reflectivity values are well below the maximum ideal value of about 70-72%. The mirrors designed for $\lambda=30.4\text{ nm}$ show a reflectivity at normal incidence not higher than 24% that is lower than the maximum ideal value of 26-27%. Despite the excellent periodicity and repeatability of the layer deposition (as deduced by XRR and HR-TEM not reported in this paper) the main concern remains the quality of a-Si/Mo interfaces.

The maximum theoretical values of the normal incidence EUV reflectance of the multilayers are not obtainable without the control of the bombarding energy of Ar ions and of backscattered particles. Experimentally this can be accomplished in several ways. The energy of the bombarding particles could be modulated by applying a bias profile $V_B(t)$ such that the intentional bombardment is optimized (reduced) at the interfaces to avoid intermixing and then increased in order to obtain smoother interfaces [14-15]. As far as the reflected neutrals, TRIM.SP calculations show that R_E and R_N can be reduced by using, as sputtering gas, higher mass noble-gases like Xe and Kr. Furthermore both R_N and R_E at the substrate increase at high incidence angles. Thus by adopting a tilted geometry of deposition a modulation of the backscattered flux can be achieved

CONCLUSIONS

An experimental sputter deposition set-up used for developing new processes and for studying the effects of plasma parameters on the physical properties of X/EUV multilayer mirrors is described. The results presented in this paper concern specifically the preparation of a-Si/Mo and a-Si(H)/Mo multilayers with high normal-incidence reflectivity at 13 and 30.4 nm. The Ar and hydrogen incorporation in a-Si(H) layers are studied. Hydrogen can be successfully incorporated into silicon up to atomic concentrations of about 30%. The incorporation of hydrogen leads to a measurable decrease of the density of the spacer material, that calculations indicate as possible source of reflectance improvement. It is shown that Ar is incorporated only into silicon layers: the Ar content is related to the applied bias. We found that by varying the bias of the substrates we can improve the reflectance of the deposited mirrors of more than 15%, but without reaching the highest possible values due to combined effects of intermixing and interface roughness. The presented results show that the plasma sputter deposition technique when applied to the production of high reflectance X-ray multilayer mirrors needs a very accurate control of intentional and unintentional energetic particle irradiation of the growing film.

Acknowledgments

We wish to thank Dr. E. Bontempi of the University of Brescia for the XRR tests for determination of Si(H) density and Dr. M.G. Pelizzo of the University of Padova for the EUV reflectivity.

References

1. Feigl, T., Yulin, S., Kuhlmann, T. and Kaiser, N., "Damage resistant and low stress Si-based multilayer mirrors" in *Soft X-Ray and EUV imaging Systems II*, edited by A. Tichenor et al., SPIE Proceedings 4506, 2001, pp. 121-127.
2. Bajt, S., Alameda, J., Barbee Jr., T., Clift, et al., "Improved reflectance and stability of Mo/Si multilayers" in *Soft X-Ray and EUV imaging Systems II*, edited by A. Tichenor et al., SPIE Proceedings 4506, 2001, pp. 65-75.
3. Eriksson, F., Johansson, G. A., Hertz, H. M., and Birch, J., "Enhanced Soft X-Ray Reflectivity of Cr/Sc Multilayers by Ion Assisted Sputter Deposition" in *Soft X-Ray and EUV imaging Systems II*, edited by A. Tichenor et al., SPIE Proceedings 4506, 2001, pp. 84-92.
4. Louis, E., Yakshin, A.E., Görts, P.C., et al., "Mo/Si multilayer coating technology for EUVL, coating uniformity and time stability" in *Soft X-Ray and EUV imaging Systems*, edited by N. Kaiser et al., SPIE Proceedings 4146, 2000, pp. 60-63.
5. Hopkins, M.B., Graham, W.G., *Rev. Sci. Instrum.* **57** (9), 2210-2217 (1986).

6. Coufal, H., Winters, H. F., Bay, H. L., and Eckstein, W., *Phys. Rev. B* **44** (10), 4747-4758 (1991).
7. Eckstein, W., and Biersack, J. P., *Z. Phys. B* **63**, 471-478 (1986).
8. Eckstein W. Computer Simulation of Ion-Solid Interactions, Springer Verlag, Berlin 1991
9. Somekh, R.E., *J. Vac. Sci. Technol. A* **2** (3), 1285-1291 (1984).
10. Kojima, I., Wei, S., Li, B., Fujimoto, T., and Kojima, I., *J. Surf. Anal.* **4**, 70 (1998)
11. Hjörvarsson, B., Vergnat, M., Birch, J., Sundgren, J.-E., and Rodmacq, B., *Phys. Rev. B* **50**, 11223-11226 (1994).
12. Tsao J.Y et al., *Nuclear Instrum. Meth.* **B39**, 72-80 (1989)
13. Berg S. et al., *J. Vac. Sci. Technol. A* **10**(4), 1592-1596 (1992)
14. Zhou X. W. and Wadley H.N.G., *J. Appl. Phys.* **87**(12), 8487-8496
15. Zhou X. W. and Wadley H.N.G., *J. Appl. Phys.* **88**(10), 5737-5743

Codice	Esperimento	Gruppo
	ARCHIMEDE	5
Rapp. Naz.: V. Rigato		

PREVISIONE DI SPESA

Piano finanziario globale di spesa

In KEuro									
ANNI FINANZIARI	Miss. interno	Miss. estero.	Materiale di cons.	Trasp. e Facch.	Spese Calc.	Affitti e Manut. Appar.	Mater. inventar	Costr. appar.	TOTALE Compet.
2004	11	12	40	0	0	0	9.5	39.5	112.0
TOTALI									
	11,0	12,0	40,0				9,5	39,5	112,0

ISTITUTO NAZIONALE DI FISICA NUCLEARE

Preventivo per l'anno 2004

Struttura
LNF

Codice	Esperimento	Gruppo
	ARCHIMEDE	5
Resp. loc.: Gianfelice Cinque		

COMPOSIZIONE DEL GRUPPO DI RICERCA

N	RICERCATORE Cognome e Nome	Qualifica				Affer. al gruppo	%	N	TECNOLOGI Cognome e Nome	Qualifica				%
		Dipendenti		Incarichi						Dipendenti		Incarichi		
		Ruolo	Art. 23	Ricerca	Assoc.					Ruolo	Art. 23	Ass. Tecnol.		
1	BURATTINI Emilio	I Ric	Ric.	P.O.	AsRic	5	40							
2	CIBIN Gianantonio			5		50								
3	CINQUE Gianfelice			5		50								
4	MARCELLI Claudio			5		30								
Numero totale dei ricercatori Ricercatori Full Time Equivalent								4 1.7	Numero totale dei Tecnologi Tecnologi Full Time Equivalent					0 0
N	TECNICI Cognome e Nome	Qualifica						%						
		Dipendenti		Incarichi										
		Ruolo	Art. 15	Collab. tecnica	Assoc. tecnica									
1	RACO Agostino	O.T.						30						
Numero totale dei Tecnici Tecnici Full Time Equivalent								1 0.3						
SERVIZI TECNICI								Annotazioni:						
Denominazione						mesi-uomo								

 Osservazioni del direttore della struttura in merito alla
disponibilità di personale e attrezzature

ISTITUTO NAZIONALE DI FISICA NUCLEARE

Preventivo per l'anno 2004

Struttura
LNL

Codice	Esperimento	Gruppo
	ARCHIMEDE	5
Resp. loc.: V. Rigato		

COMPOSIZIONE DEL GRUPPO DI RICERCA

N	RICERCATORE Cognome e Nome	Qualifica				Affer. al gruppo	%	N	TECNOLOGI Cognome e Nome	Qualifica			%	
		Dipendenti		Incarichi						Dipendenti		Incarichi		
		Ruolo	Art. 23	Ricerca	Assoc.					Ruolo	Art. 23	Ass. Tecnol.		
1	DELLA MEA Gianantonio			P.O.		5	20	1	CARTURAN Sara			Univ.	50	
2	PATELLI Alessandro				AsRic	5	80	2	MAGGIONI Gianluigi			Univ.	30	
3	RETELLO Silvio				Dott.	5	70	3	RIGATO Valentino	Tecn.			70	
4	SALMASO Guido				Dott.	5	100							
5	VEZZU' Simone				Dott.	5	70							
								Numero totale dei Tecnologi Tecnologi Full Time Equivalent					3 1.5	
								N	TECNICI Cognome e Nome	Qualifica			%	
										Dipendenti	Incarichi			
										Ruolo	Art. 15	Collab. tecnica	Assoc. tecnica	
Numero totale dei ricercatori Ricercatori Full Time Equivalent								5 3.4	Numero totale dei Tecnici Tecnici Full Time Equivalent					0 0
	SERVIZI TECNICI							Annotazioni:						
	Denominazione					mesi-uomo		CARTURAN Sara – ass. tecnol. Università di Padova/LNL (da luglio 2003) / 2 borse di studio coperte nel 2004 con fondi FIRB-MIUR (SILVESTRINI Davide – 100% ARCHIMEDE, RAVAGNAN Jacopo – 50% ARCHIMEDE)						

Osservazioni del direttore della struttura in merito alla disponibilità di personale e attrezzature
Il supporto richiesto è compatibile con le risorse della struttura

[illegible]