

Radiografia e assorbimento

Interazione dei raggi X

Interferometria di Talbot-Lau con raggi X di alta energia
e sorgenti convenzionali

Matteo Abis
matteo.abis@psi.ch

Scuola Galileiana di Studi Superiori
Classe di Scienze Naturali

22 Novembre 2013



Figura: Una delle prime radiografie realizzate da Wilhelm Röntgen, 1886.

- Indice di rifrazione complesso $n = 1 - \delta + i\beta$.
- Legge di Beer-Lambert

$$\begin{aligned}\psi_f &= e^{-ik(\delta-i\beta)z} \psi_i \\ &= e^{-i\varphi z} e^{-\mu z} \psi_i\end{aligned}$$

- $\delta \rightarrow$ interazione di fase, rifrazione
- $\beta \rightarrow$ assorbimento

Effetto Talbot

1836



Figura: Henry Fox Talbot nel 1864.

Effetto Talbot

Propagatore di Fresnel

- Propagazione come moltiplicazione nello spazio di Fourier:

$$\psi(z = z_0) = \mathcal{F}_x^{-1} \mathcal{P} \mathcal{F}_x \psi(z = 0)$$

- Onda con periodo p_1 lungo x , propagazione lungo z .
- Vettore d'onda $\vec{k} = (k_x, k_z)$.
- Propagatore a distanza z_0 ($k_{xj} = 2\pi j/p_1$):

$$\mathcal{P} = e^{-iz_0 k_{xj}^2 / 2k}$$

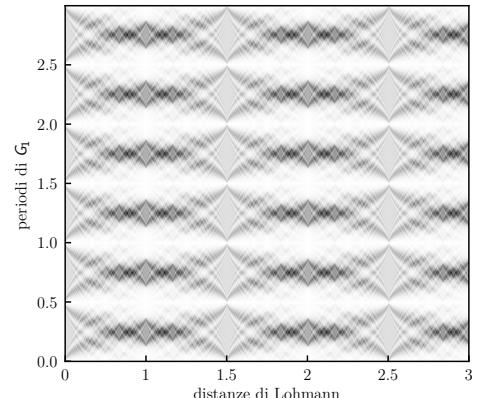
- Il propagatore è uguale a 1 per distanze

$$\mathcal{P} = 1 \iff z_n = n \frac{p_1^2}{2\lambda}$$

4 / 18

Effetto Talbot

immagine di un reticolo ricreata a distanze regolari



5 / 18

3 / 18

Interferometro di Talbot

Principio fondamentale

Rifrazione \rightarrow spostamento laterale delle frange.
Confrontare la figura d'interferenza con e senza il reticolo fornisce informazioni su δ .

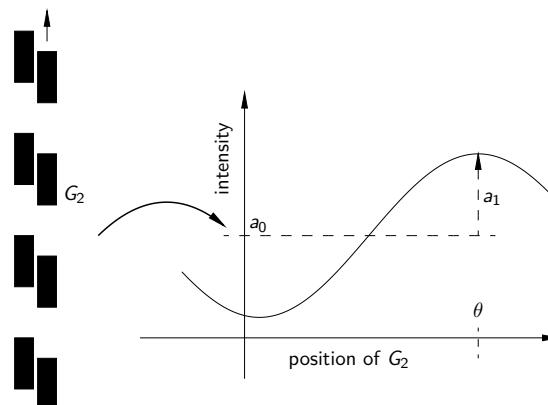
Angolo di rifrazione

$$\alpha = -\frac{1}{k} \frac{\partial \phi}{\partial x}$$

Interferometro di Talbot

Periodo microscopico e reticolo analizzatore

Scansione della figura d'interferenza con un secondo reticolo G_2 .



7 / 18

Analisi dati

Tre segnali dalle curve di *phase stepping*

Confronto delle curve con (s_c) e senza (s_s) campione

$$s(x) = a_0 + a_1 \cos\left(\frac{2\pi}{p_2}x + \theta\right)$$

Analisi dei parametri a_0 , a_1 e θ

assorbimento

$A = a_{0c}/a_{0s}$ radiografia tradizionale

fase differenziale

$P = \theta_c - \theta_f$ spostamento laterale delle frange

riduzione di visibilità

$B = \frac{a_{1c}}{a_{1s}} \frac{\partial a_0}{\partial a_{0c}}$ disomogeneità su scala microscopica

Sensibilità e visibilità

Visibilità

Visibilità

rapporto tra ampiezza e media della curva senza campione

$$v = \frac{2a_1}{a_0}$$

Per aumentare la visibilità sono necessari

- assorbimento $\approx 100\%$ della radiazione nei reticolati
- massima omogeneità e qualità dei reticolati
- allineamento su scale di $\approx 10\text{ }\mu\text{m}$

Sensibilità

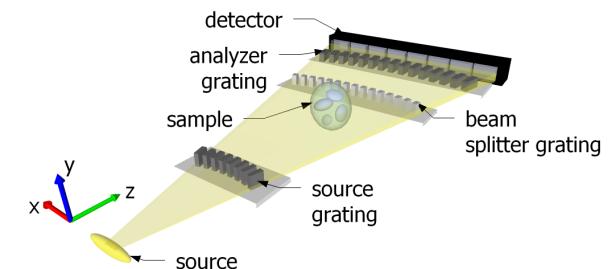
Errore statistico sull'angolo di rifrazione

$$\sigma_\alpha \propto \frac{p_2}{v}$$

necessari periodi piccoli ($2.8\text{ }\mu\text{m}$) e visibilità elevata

10 / 18

Geometria *edge-on*



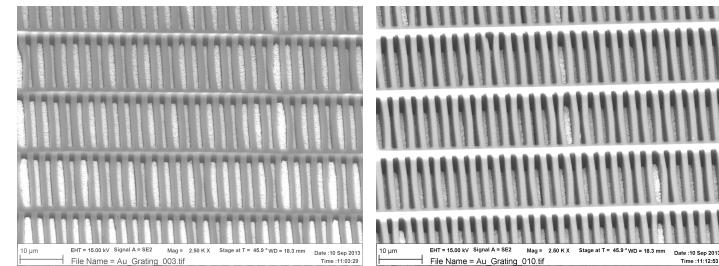
- assorbimento fino a $160\text{ keV} \rightarrow$ spessore di $800\text{ }\mu\text{m}$ d'oro
- impossibile da fabbricare con periodo di $2.8\text{ }\mu\text{m}$
- illuminazione da un lato \rightarrow reticolati unidimensionali ma profondi

11 / 18

12 / 18

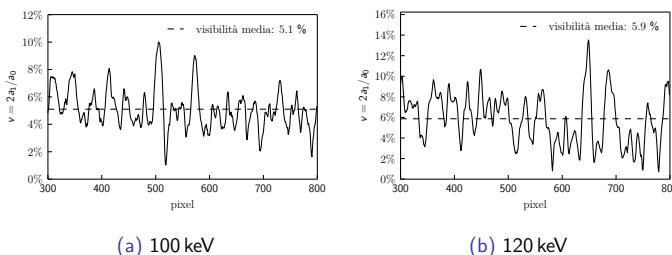
Reticoli al microscopio elettronico

Deformazioni e sviluppo incompleto di alcune aree.



Prestazioni

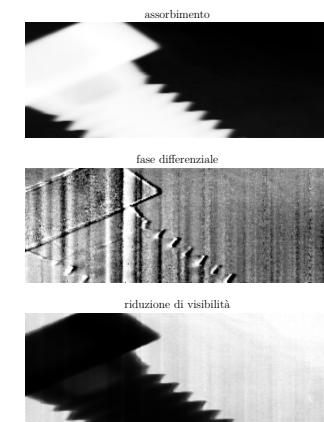
Visibilità ridotta dai difetti nei reticoli
massimo teorico $\approx 25\%$



Immagini

Vite di zinco a 100 keV

scansione verticale di 1 cm con 100 linee.



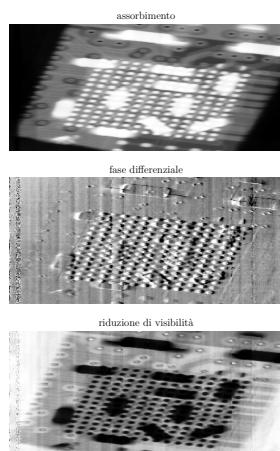
13 / 18

14 / 18

15 / 18

Immagini

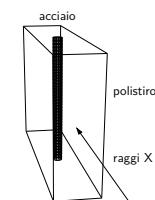
Chip a 100 keV



Immagini

Complementarietà dei segnali

Campione di polistirolo e acciaio, 120 keV



Assorbimento polistirolo $\approx 2\%$
Scattering $\approx 20\%$

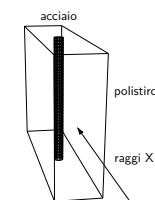
16 / 18



Immagini

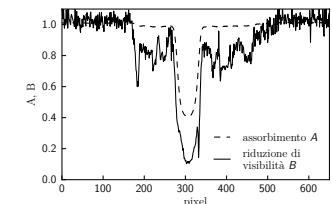
Complementarietà dei segnali

Campione di polistirolo e acciaio, 120 keV



Assorbimento polistirolo $\approx 2\%$
Scattering $\approx 20\%$

17 / 18



17 / 18

Conclusioni

- Realizzazione di due interferometri con energie di 100/120 keV
- Illuminazione *edge-on* possibile anche a energie superiori
- Dimostrazione della complementarietà dei segnali
- Possibile riduzione del tempo di esposizione di un ordine di grandezza con il miglioramento dei reticolati
- Applicabile a scanner di sicurezza e per la tomografia, che richiedono voltaggi elevati