

STRUMENTAZIONE FISSA CHNet: ANALISI CON FASCI DI IONI

INFORMAZIONI GENERALI

Nelle tecniche di analisi con fasci ionici (Ion Beam Analysis, IBA) la composizione del campione da analizzare viene dedotta dall'osservazione dei prodotti di interazione fra quest'ultimo, usato come bersaglio, e un fascio di particelle accelerate di energia dell'ordine dei MeV. Rivelando la radiazione emessa nelle interazioni fra gli ioni del fascio e gli atomi o i nuclei del bersaglio è possibile caratterizzare il campione sia qualitativamente che quantitativamente.

Il campione non ha bisogno di essere trattato né messo in vuoto (le misure vengono infatti eseguite principalmente su canali in cui il fascio viene estratto in atmosfera); quando possibile si può effettuare l'analisi anche sull'opera intera, se trasportabile presso il laboratorio.

Si hanno diverse tecniche a seconda della radiazione che si decide di rivelare; alcune fra le tecniche più usate sono PIXE, PIGE, BS e IBIL.

PIXE: Particle Induced X-ray Emission

Nel caso della PIXE si rivela la radiazione X prodotta dall'interazione fra fascio e bersaglio, che è caratteristica delle specie atomiche che l'hanno emessa. Con questa tecnica è possibile quindi risalire alla composizione atomica del bersaglio; inoltre, conoscendo sezione d'urto di produzione X, efficienza del rivelatore, geometria di misura e numero di particelle incidenti è possibile anche determinare la concentrazione di ciascun elemento nel campione.

I maggiori limiti della tecnica sono:

- la difficoltà di rivelare elementi leggeri ($Z \leq 10$), a causa dell'assorbimento dei raggi X nel campione stesso e nel percorso fra campione e volume attivo del rivelatore
- non è possibile effettuare una vera e propria analisi stratigrafica, anche se questo problema può essere parzialmente superato effettuando analisi per diverse energie di fascio incidente, tecnica che prende il nome di PIXE differenziale [1,2,3].

Normalmente, in una singola misura da pochi minuti con correnti da poche centinaia di pA a qualche nA, possono essere rivelati tutti gli elementi con $Z > 10$, anche se presenti in traccia.

Lo spessore sondato con questa tecnica può arrivare a diverse decine di micron, se l'analisi viene fatta su una matrice leggera con tracce medio-pesanti (i limiti sono dovuti sia al range degli ioni nel materiale del bersaglio che all'assorbimento dei raggi X emessi nel percorso fino alla regione attiva del rivelatore).

PIGE: Particle Induced Gamma-ray Emission

Con la PIGE è possibile superare alcuni dei limiti della PIXE, per esempio quando il problema è rivelare la presenza di elementi leggeri situati in strati più profondi del campione.

Quando il fascio di ioni accelerati si scontra con il bersaglio, si possono verificare reazioni anelastiche con i nuclei del bersaglio stesso, con la conseguente emissione di raggi γ . Dato che ogni reazione produce uno spettro γ caratteristico, gli isotopi presenti nel bersaglio, e quindi gli elementi, possono essere identificati e le loro concentrazioni misurate. Il principale vantaggio della PIGE rispetto alla PIXE è che per i raggi γ , più energetici dei raggi X, non si ha autoassorbimento nel materiale del bersaglio. Qualche problema si ha invece nell'analisi quantitativa; infatti, anche se l'identificazione degli elementi è immediata, la sezione d'urto di produzione γ è fortemente dipendente dai cambiamenti di energia del fascio incidente.

BS: Spettrometria di Backscattering

La Spettrometria di Backscattering è basata sulla rivelazione degli ioni del fascio diffusi all'indietro dai nuclei del bersaglio. Questa tecnica ha il vantaggio di permettere la rivelazione di elementi leggeri ($Z > 1$ con fasci di protoni), essendo sensibile anche alla composizione isotopica degli elementi più leggeri.

Proprio grazie alla sua capacità di rivelare elementi/isotopi leggeri e di dare informazioni sulla stratigrafia del campione, la BS viene spesso usata come complemento dell'analisi PIXE. La sensibilità della tecnica è fortemente dipendente da ione del fascio e nucleo del bersaglio, ma è comunque molto inferiore a quella della PIXE. Gli spessori sondati dipendono dalle caratteristiche di fascio e bersaglio e possono arrivare fino alle decine di micron nel caso di protoni di alta energia in matrici leggere; nei casi migliori si può ottenere una risoluzione sullo spessore su scala nanometrica.

IL: Ionoluminescenza

Per ionoluminescenza si intende l'emissione di luce UV/VIS/IR indotta in materiali luminescenti dall'impatto di ioni di energia di qualche MeV/amu. I fotoni vengono emessi contestualmente alla diseccitazione dei livelli energetici più esterni degli atomi colpiti, e quindi lo spettro IL può dipendere significativamente dagli atomi vicini a quelli che lo emettono, dando informazioni sui legami chimici. Questa analisi consente di identificare velocemente il materiale (ad esempio il cristallo) costituente il campione. L'uso combinato di IL e altre tecniche IBA risiede soprattutto nella possibilità di correlare informazioni quantitative sugli elementi presenti (PIXE, PIGE) con la distribuzione spaziale dei materiali ottenuta tramite l'imaging IL [4]. La IL viene usata per caratterizzare nuovi materiali, minerali, campioni di interesse geologico e oggetti artistici/storici [5,6,7]. Un caso in cui la tecnica IL è fondamentale come complemento alla PIXE è per esempio l'identificazione di terre rare in matrici complesse, come alcuni campioni geologici; la PIXE infatti ha una sensibilità molto bassa per questi elementi[14]. I sistemi di rivelazione della luce attualmente utilizzati permettono di ottenere una elevata efficienza, e quindi acquisire rapidamente spettri di luminescenza usando basse correnti di fascio (in casi favorevoli è possibile acquisire uno spettro IL con correnti dell'ordine dei pA in pochi secondi).

RIFERIMENTI

1. M.E. Fedi et al., Nucl. Instrum. & Meth. B 189 (2002) 56–61;
2. P.A. Mandò et al., Nucl. Instrum. & Meth. B 239 (2005) 71–76;
3. Ž. Šmit et al., Nucl. Instrum. & Meth. B 266 (2008) 2047–2059;
4. C. Yang et al., Nucl. Instrum. & Meth. B 77 (1993) 188;
5. E.J. Teo et al., Nucl. Instrum. & Meth. B 201 (2003) 501;
6. E. Vittone et al., Nucl. Instrum. & Meth. B 181 (2001) 134;
7. H. Calvo del Castillo, J. L. Ruvalcaba, T. Calderòn, Anal. Bioanal. Chem. 387 (2007) 869;
8. K.G. Malmqvist, Radiation Physics and Chemistry 71 (2004) 817–827;