

Phần 3

PHÂN TÍCH HUYNH QUANG TIA X BẰNG PHÂN GIẢI NĂNG LƯỢNG SỬ DỤNG ÔNG PHÁT TIA X KÍCH THÍCH

I. GIỚI THIỆU

Mục tiêu của chương này là bàn về hệ thống phân tích huỳnh quang tia X (XRF) trong phòng thí nghiệm và trong công nghiệp trong đó sử dụng ống phát tia X để kích thích và phân giải năng lượng sử dụng detector bán dẫn. Ngược lại với nhiễu xạ Bragg các thiết bị phân tán được sử dụng. Như detector ED trực tiếp đo năng lượng của tia X bằng cách tập hợp các ion hoá được tạo ra trong một số vật liệu bán dẫn phù hợp. Phạm vi của chương này không bao gồm các chủ đề có trong các chương khác: hệ thống EDXRF trực tuyến (xem chương 7), phản xạ toàn phần XRF (TXRF) (xem chương 9), chùm phân cực XRF (xem chương 10) và kỹ thuật phân tích huỳnh quang vi mô XRMF (xem chương 11).

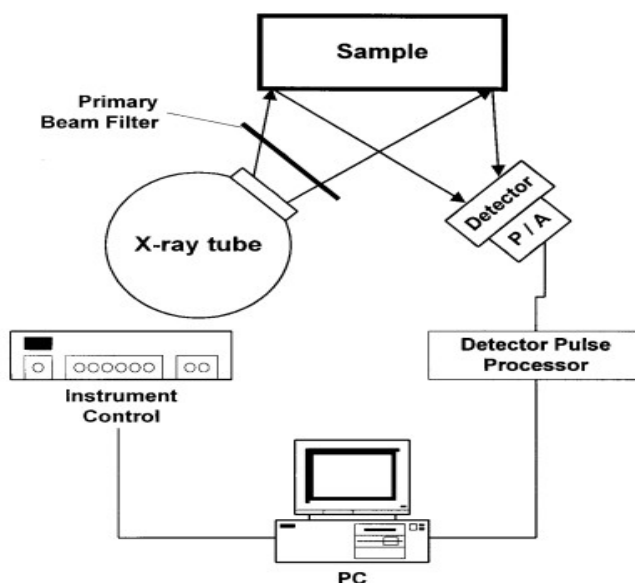
Trước đây phương pháp tiếp cận với EDXRF được sử dụng là ống đếm tỉ lệ hoặc Detector nhấp nháy để xác định năng lượng trực tiếp của tia X. Những hệ thống như vậy bị hạn chế bởi những ứng dụng của chúng vì độ phân giải năng lượng vốn đã nghèo nàn còn cản trở sự phân chia đặc trưng của tia X của các phần tử liền kề trong bảng tuần hoàn. Những hạn chế về độ phân giải năng lượng của Detector dẫn đến chúng được gọi là không phân tán, nhưng nhược điểm này đã được đem một cách hiệu quả trong một số thiết bị thông qua việc sử dụng bố trí các chùm phin lọc sơ cấp và thứ cấp (Ross, 1928; Kirkpatrick, 1939; Kirkpatrick, 1944; Field, 1993). Những bước đột phá thực sự trong EDXRF diễn ra vào cuối những năm 1960 (Bertolini et al., 1965; Bowman et al., 1966; Elad and Nakamura, 1966; Aitken, 1968) với sự xuất hiện của những Detector diode trạng thái rắn và mạch xử lý xung liên quan đến chúng. Những hệ thống do đó đã được phát triển qua những năm 1970, thường trong kính hiển vi điện tử đến điểm mà tại đó phổ tia X thực tế với độ phân giải năng lượng của 200 eV hay nhỏ hơn trở thành có thể (Frankel and Aitken, 1970; Landis et al., 1971; Heath, 1972). Mặc dù độ phân giải năng lượng của Detector bán dẫn rất kém hơn so với thực hiện bằng hệ thống XRF tán sắc bước sóng (WD), tăng hiệu suất vốn có trong phương pháp phân giải năng lượng bù trừ trong nhiều ứng dụng phân tích và cho phép sử dụng vô số các hình học thực nghiệm không thực tế với WDXRF. Một loạt các hệ thống phân tích EDXRF dựa trên các nguồn phóng xạ, ống tia X, máy gia tốc hạt tích điện, chùm electron sơ cấp được gia tốc, và các nguồn ánh sáng gia tốc đã được phát triển trong những năm gần đây.

Trong phạm vi của chương này, chỉ có những hệ thống EDXRF trong đó ống phát tia X được sử dụng để kích thích được tiếp tục quan tâm xem xét. Các tài liệu trong chương này thảo luận về những dạng thiết bị của phương pháp phân giải năng lượng trong đó đặc biệt nhấn mạnh về việc sử dụng năng lượng thấp, ống phát tia X thu gọn kết hợp với Detector bán dẫn.

Các thành phần cơ bản của một thiết bị EDXRF trong phạm vi của chương này được mô tả bằng sơ đồ ở Hình 1. Mỗi hệ thống con chính của một công cụ đó trình bày chi tiết trong các phần sau.

II. NHỮNG HỆ THỐNG ÔNG PHÁT TIA X KÍCH THÍCH

Trong phép phân tích phổ EDXRF, không có sự phân biệt về đặc tính vật lý của bức xạ thứ cấp mà những lá mẫu đi vào Detector. Điều này có nghĩa rằng tất cả năng lượng của photon trong chùm thứ cấp tương tác với Detector, việc phát hiện và xử lý một chuỗi tín hiệu bị hạn chế với việc xử lý những sự kiện và thường là trong dải từ 1-50 keps. Như một hệ quả trực tiếp, EDXRF có tổng công suất đếm bị hạn chế đối với tất cả các nguyên tố phát ra tia X, do đó điều cần thiết là hàm lượng của các phổ tới được tối ưu hóa cho việc sử dụng các thông tin hữu ích của nó.



Hình 1. Những thành phần cơ bản của một ống phát tia X kích thích

Điều này có thể yêu cầu nhiều hơn một sự thu nhận được thực hiện trong điều kiện kích thích khác nhau để kiểm soát dải năng lượng cần phải được thu thập trong các hệ thống phát hiện. Ngoài ra các hệ thống kích thích có thể được tối ưu hóa để tăng tỉ số đỉnh – phông thông qua việc sử dụng các dạng hình học khác nhau như TXRF hoặc phân cực EDXRF. Trong cả hai trường hợp này thì ống tia X mà năng lượng cao hơn

thường được yêu cầu và cần phải áp dụng một số chọn lọc để hệ thống kích thích. Việc chọn lọc này là có thể đạt được trong TXRF sử dụng một hoặc nhiều ống với vật liệu bia là Mo và W. Trong trường hợp phân cực EDXRF, nhiều hơn một ống với điện áp cao hoặc thành phần phân cực có thể được sử dụng.

Sử dụng việc chọn lọc kích thích trong EDXRF là hoàn toàn trái ngược với kỹ thuật EDXRF. Trong WDXRF khả năng chọn lọc cao của sự tán sắc và các quá trình do kết hợp với các hệ thống đo và đo đơn giản với tốc độ đếm cao để xử lý cho mỗi bước sóng hẹp. Do đó quá trình đo có tính chọn lọc cao và tốc độ đếm trong một dải nguyên tố riêng biệt với một hệ thống WDXRF hiện đại có thể thực hiện tốt với 10^6 CPS. Thông thường, quy tắc chung trong phương pháp WDXRF được sử dụng 2 – 3 lần kV của mức hấp thụ của các nguyên tố cao nhất quan tâm và cho phép để áp dụng tối đa dòng thiết lập tại đó. Tóm lại, chúng ta có thể xem sự khác biệt giữa các công đoạn thiết yếu giữa phép phân tích phổ EDXRF và WDXRF như sau:

WDXRF sử dụng băng rộng kích thích và phát hiện có chọn lọc.

EDXRF sử dụng kích thích có chọn lọc và phát hiện băng rộng.

Có nhiều cách khác nhau trong việc chọn lọc trạng thái kích thích mà được thực hiện trong phép phân tích phổ EDXRF. Việc sử dụng TXRF và phân cực được bao phủ ở những nơi khác trong tập sách này và sẽ không được xem xét tiếp ở đây. Các phương thức quan trọng nhất trong đó kích thích có chọn lọc được thực hiện trong EDXRF như sau:

Lựa chọn vật liệu ống anode

Biến thiên của điện áp ống (kV)

Sử dụng các chùm pin lọc sơ cấp

Sử dụng các bia thứ cấp (và bộ lọc kết hợp)

Việc lựa chọn các vật liệu ống anode thường quyết định 1 lần thực hiện tại thời điểm mua trong bối cảnh dự kiến. Chi phí cao của ống phát tia X thường cản trở các thay đổi hoạt động và những ống tia X công suất thấp kép (Kis-Varga, 1988) thường không bán trên thị trường thương mại.

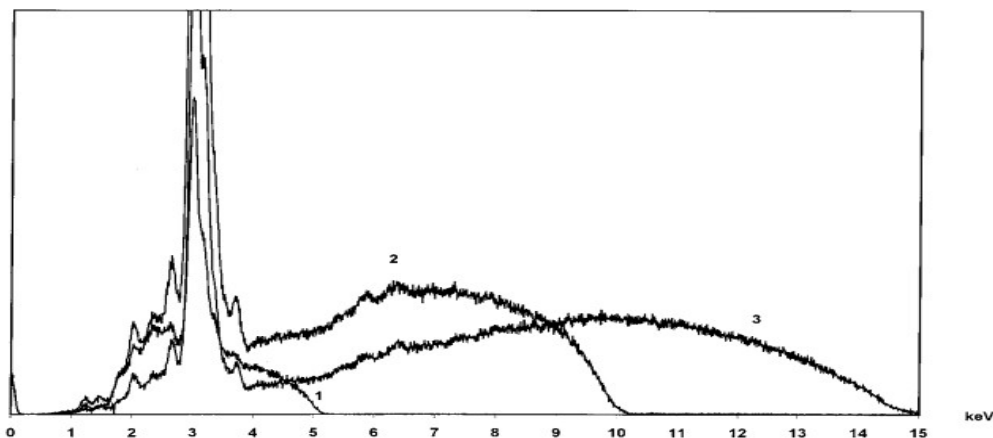
Các loại tia X kích thích được thể hiện bằng sơ đồ trong hình 2.

Những phân đồ sẽ mô tả sự sắp xếp đặc trưng đối với kích thích và mô tả làm thế nào để những tình trạng kích thích có thể xác định được. Những nghiên cứu về vấn đề này có thể tìm thấy trong các bài giảng về XRF (Sandborg và Shen, 1984; Vane và Stewart, 1980; Gedcke et al., 1977).

A. Kích thích trực tiếp phin lọc kích thích trực tiếp

Trong hình 2, các chùm (1) đại diện cho các cấu hình được sử dụng để kích thích trực tiếp mẫu bằng việc phát ra tia X từ anode. Bộ lọc chùm tia X sơ cấp có thể được sử dụng để thay đổi phổ tia X mà cuối cùng được sử dụng để kích thích các thành phần trong mẫu. Tối ưu việc chọn lựa Kv và chùm phin lọc sơ cấp là cực kỳ quan trọng cho việc thu thập dữ liệu tốt nhất từ hệ thống EDXRF. Đối với tất cả các phương pháp phân tích phổ cơ sở chính đối với kết quả chính xác và giới hạn phát hiện là tỉ số photon – đỉnh (P/B). Tuy nhiên như đã đề cập ở phần trước, khả năng đếm bị hạn chế đối với hệ thống EDXRF và việc phân tích mẫu đa thành phần được thêm vào những biến trong tình trạng kích thích tối ưu. Nói chung, Kv điều chỉnh độ nhạy và chùm phin lọc sơ cấp chỉnh photon.

Sự phân bố năng lượng của phổ đạt tại lúc mẫu hiệu chỉnh hiệu suất kích thích đối với vạch trong XRF. Để kích thích huỳnh quang tia X cần phải có năng lượng tia X tới phía trên mép hấp thụ đối với một chuỗi các vạch thành phần được kích thích. Để có sự kích thích đầy đủ, cần phải có một cường độ cao của tia X có năng lượng cao hơn so với các mép và được cho là ống Kv nên là 1.5 – 2 lần mép hấp thụ quan tâm. Qua áp này đảm bảo rằng có một tỉ lệ đáng kể phổ lõi ra của ống tia X đối với các vạch kích thích quan tâm. Hình 3 cho thấy phổ ống tia X không có phin lọc bị tán xạ từ một mẫu film polime mỏng khi ống tia X được vận hành tại 5, 10 và 15 Kv. Phổ tán xạ quan sát được là chấp nhận được và được cho thấy rõ ràng:



Hình 3. Phổ tán xạ, kích thích không phin lọc được tạo ra bởi bia bạc của ống phát tia X vận hành tại 5, 10 và 15 Kv

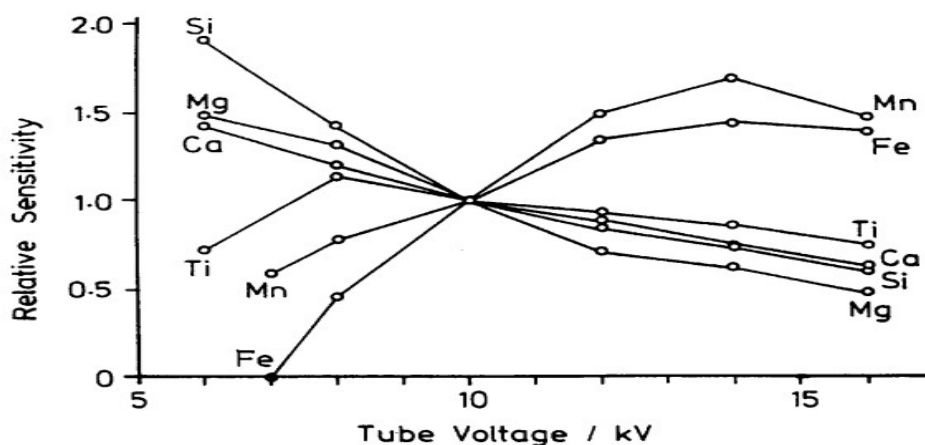
Điểm cắt năng lượng cao tại thế vận hành Kv. Việc này cũng được biết trong Duane-Hunt.

Đặc tính mạnh trong vạch L của Ag (xung quanh 3 keV) từ ống anode, cường độ của vạch Ag tăng với Kv.

Tại vạch L của Ag và Rh thì đặc biệt hiệu quả đối với kích thích ánh sáng trong dải 1 – 2.5 keV. Một khi vạch năng lượng cao hơn (ví dụ vạch K của Fe tại 6.4 keV) được tìm thấy, vạch L tạo ra không kích thích vì năng lượng của chúng thấp hơn mức hấp thụ (vạch K của Fe tại 7.11 keV) và các bước bức xạ hãm tạo ra sự kích thích. Mặc dù cường độ cao của bức xạ hãm thấp hơn vạch L của Ag, nó là phổ tích phân kích thích năng lượng cao hơn mức hấp thụ, điều này thì rất quan trọng. Khi ống tia X có Kv vượt quá năng lượng mức K của vật liệu ống anode những đặc tính của vạch K sẽ bắt đầu chiếm ưu thế với phổ kích thích. Điều này được thể hiện trong hình 6 trong đó mô tả phổ kích thích bị tán xạ với ống hoạt động tại 35 kV mà tại đó đặc tính vạch K của Ag bị kích thích mạnh.

Độ nhạy của phép phân tích được điều chỉnh bằng kV áp dụng cho các ống tia X và một ví dụ cho điều này được thể hiện trong hình 4. Mẫu là một miếng thép đã được ép và kV được đặt trong dải 6 – 16 kV sử dụng một đường chân không bên trong phổ kế và không có chùm pin lọc sơ cấp. Tại mỗi kV bia Rh của ống tia X được điều chỉnh để đạt thời gian chết là 50%. Cường độ một loạt vạch K đã được sử dụng và độ nhạy cho môi trường phân được chuẩn hóa với giá trị 10 kV. Từ những biểu đồ rất rõ sau đây:

Cường độ Si suy giảm khi kV tăng. Điều này là do khoảng cách ngày càng tăng của phổ ống chính từ sự hấp thụ của mức K của Si và sự đóng góp tăng của một vài thành phần khác với số đếm trong phổ. Nhân tố thứ hai này là quan trọng và bắt nguồn từ tổng tốc độ đếm đối với toàn bộ phổ.



Hình 4. Những ảnh hưởng của kV vào độ nhạy đối với các thành phần chính trong một mẫu địa chất

Các vạch K của Fe không được kích thích cho đến khi ít nhất 8 kV được đặt vào. Mép hấp thụ K của Fe tại 7.111 keV và độ nhạy cực đại đối với Fe xấp xỉ 2 lần giá trị này.

Các quy luật chung mà trong đó thế kV được đặt hai lần cao hơn năng lượng mép hấp thụ là hợp lý. Tuy nhiên, nhiều yếu tố được tìm kiếm trên một dải năng lượng rộng lớn hơn dải năng lượng, thường có một điểm mà tại đó phổ “cân bằng” đó là điều bất tiện đối với việc phân tích. Khi điều này xảy ra, tách phổ thành hai hoặc nhiều vùng quan tâm và đặt vào một thế kV để phù hợp nhất mỗi dãy nguyên tố. Trong mọi trường hợp khi kV và số các thành phần tăng, tầm quan trọng của việc sử dụng một bộ lọc sơ cấp và tách phổ thành các vùng năng lượng tối ưu.

B. Lựa chọn bộ lọc sơ cấp

Bộ lọc sơ cấp hoạt động như một chất hấp thụ tia X và được đặt giữa ống tia X và mẫu để thay đổi phổ lõi ra của ống tia X mà mẫu được chiếu xạ. Nói chung, thế kV phải được chọn trước tiên để đảm bảo độ nhạy kích thích cao sau đó chọn bộ lọc. Các bộ lọc làm việc để giảm phân tán xạ trong vùng quan tâm và giảm cường độ kích thích của đỉnh năng lượng thấp hơn. Những đặc trưng của bộ lọc được định nghĩa bởi đường cong hấp thụ tia X mà được kiểm soát bởi việc lựa chọn vật liệu và độ dày của nó. Những bộ lọc thường là mỏng, là những lá kim loại tinh khiết có độ dày trong khoảng 10 – 500 μm . Một số bộ lọc điển hình có dải sử dụng từ vài kV và phạm vi sử dụng tối ưu thể hiện trong bảng 1.

Phổ tia X được tạo ra bởi những bước xạ không qua bộ lọc có thể thấy trong hình 3. Những ứng dụng của phổ tia X trong việc áp dụng một bộ lọc nhôm mỏng và dày được thấy trong hình 5, trong đó điện áp ống tia X được sử dụng là 15 kV.

Những bộ lọc nhôm hoạt động như một bộ lọc hấp thụ đơn giản, nó có một mép hấp thụ đơn tại 1.56 keV. Từ những đồ thị, những bộ lọc nhôm hấp thụ hoàn toàn tại vạch L của Ag như là hệ quả của hệ số hấp thụ khối khoảng 700 cm^2/g . Những bước ở vùng năng lượng thấp tạo ra bởi những phổ được lọc qua một lớp Al mỏng với tỉ số P/B đối với những nguyên tố từ S đến V (2.3 – 5 keV). Sự thiếu vắng của vạch L trong Ag (hoặc L trong Rh, Mo) từ ống loại bỏ những phổ của chúng và tránh những tia X đóng góp vào số đếm. Các bộ lọc nhôm dày “bị bỏ” vùng năng lượng thấp của bước xạ haam, tỉ số P/B đối với những nguyên tố là từ 3 – 8 keV.

Sự kết hợp của thế kV và bộ lọc hấp thụ tạo ra một vùng năng lượng trong đó tỉ số P/B là tối ưu. Trong vùng năng lượng thấp của vùng này, sự kích thích bị dập tắt, cho

phép nhiều hệ thống đếm được sử dụng trong vùng. Trong vùng năng lượng cao, việc kích thích từ ống được điều chỉnh để cung cấp một cường độ tích hợp cao hơn năng lượng của những mép hấp thụ của những vạch quan tâm. Việc sử dụng một bộ lọc đồng dày với thế kV cực đại là một ví dụ về loại bộ lọc này. Các bộ lọc đồng được sử dụng thường là đủ dày để hấp thụ hoàn toàn tia X từ ống tại vạch K mà đó là năng lượng cao (vạch K của Ag là 22,1 keV). Việc sắp xếp cung cấp đối với việc xác định có hiệu quả của Ag và Cd bằng một ống tia X bạc. Ở đầu kia của mức năng lượng một bộ lọc xenlulo là một bộ lọc yếu hấp thụ các vạch L của Ag.

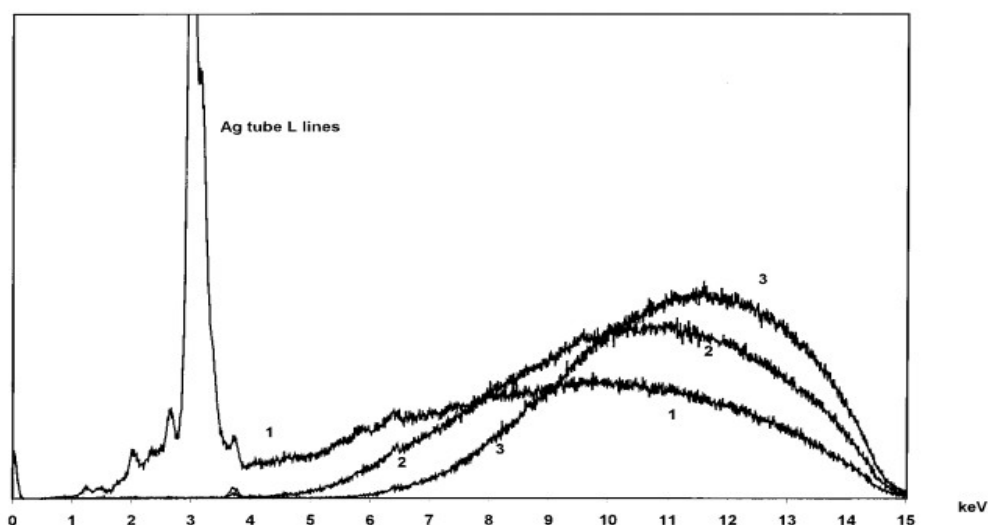
Cái gọi là chùm đơn sắc tái sinh (RMF) là một bộ lọc đặc biệt quan trọng trong ống kích thích của phép phân tích phổ EDXRF. Các bộ lọc hoạt động trên ống tia X tại vạch K vì vậy thế kV phải đủ cao hơn mép hấp thụ K của vật liệu anode để tạo ra vạch K đặc trưng cường độ lớn. Những yếu tố như vật liệu anode được sử dụng để ưu tiên truyền vạch K của tia X đặc trưng tạo ra trong anode. Các bộ lọc có lợi ích của nó từ việc một nguyên tố có hệ số hấp thụ khối thấp cho các đường đặc trưng riêng của mình nằm ngay dưới mép hấp thụ. Đối với trường hợp của Ag, vạch K của Ag tại 22.1 keV và hệ số hấp thụ của Ag đối với năng lượng này chỉ có $14\text{cm}^2/\text{g}$.

Table 1 Typical Primary Beam Filters and Their Range of Use

Filter	Thickness	kV range	Elements	Comments
No filter	N/A	4–50	All, Na–Ca	Optimum for light elements with 4–8 kV excitation ^a
Cellulose	Single sheet	5–10	Si–Ti	Suppresses tube <i>L</i> lines ^a
Thin aluminum	25–75 μm	8–12	S–V	Removes tube <i>L</i> lines ^a
Thick aluminum	75–200 μm	10–20	Ca–Cu	Good for transition element metal alloys
Thin anode element	25–75 μm	25–40	Ca–Mo	RMF ^b , wide range and good trace analysis
Thick anode element	100–150 μm	40–50	Cu–Mo	RMF ^b , good for trace analysis of heavy-element <i>L</i> lines.
Copper	200–500 μm	50	> Fe	Suppresses tube <i>K</i> lines

^aNeeds to be used in conjunction with vacuum or He path to remove the air in the spectrometer that would severely attenuate the low-energy lines and result in ArK lines in the detected spectrum.

^bRegenerative monochromatizing filter (RMF). The same element as the anode material is used as the filter material to preferentially transmit the characteristic *K* x-rays generated in the anode.



Hình 5 Phổ kích thích bị tán xạ tạo ra bởi bia Bạc từ ống tia X hoạt động tại 15 kV

Hiệu ứng của hai bộ lọc sơ cấp Ag có độ dày khác nhau trên phổ từ ống tia X của Bạc hoạt động tại 35 kV thể hiện trong hình 6. Các trạng thái kích thích tại thể 35 kV không được lọc (đường cong 1) cung cấp cường độ lớn tương đương với đặc trưng của vạch L của Ag và vạch K của Ag và một bước xạ hãm có bề rộng trung tâm từ 12 – 15 keV. Bất kỳ phân tử nào trong dải từ 5 – 15 keV sẽ có lợi của việc kích thích bởi cả các đường đặc trưng tại vạch K của Ag và bước xạ hãm. Tuy nhiên vẫn tồn tại những bất lợi của nền phóng tán xạ có nguồn gốc từ bước xạ của bước xạ hãm. Với bộ lọc Ag đặt bên trong (đường cong 2) những đặc trưng vạch L của Ag được hấp thụ hoàn toàn và những bước xạ của bước xạ hãm được giảm xuống tại một đuôi năng lượng thấp trên các đường đặc trưng K của Ag. Kết quả là tỉ số hiệu suất kích thích cao P/B đối với những vạch năng lượng trong dải 4 – 12 keV. Sử dụng các bộ lọc Ag dày hơn (đường cong 3) làm giảm hơn các bước xạ hãm dư dưới vạch K của Ag và cung cấp những bước xạ đơn sắc giả mà tỉ số hiệu suất P/B đối với những vạch trong dải năng lượng từ 5 – 15 keV. Những bộ lọc mạnh kích thích vạch K của Ag cung cấp độ nhạy tốt và giảm nền phóng, rõ rệt là đỉnh tán xạ Compton là tốt đối với việc phân tích những nguyên tố vết nơi mà phải hiệu chỉnh nền dựa trên nền tán xạ Compton. Tương tự cũng có thể nói rằng đối với anode những vật liệu bộ lọc của Mo, Rh và Pd mà còn cung cấp những vạch K đặc trưng trong vùng quan trọng của phổ. Một ví dụ cụ thể về việc lựa chọn tối ưu ống tia X kích thích có thể được tìm thấy trong các nghiên cứu của Potts và cộng sự (1986). Trong những nghiên cứu một ống tia X của Co và một bộ lọc sơ cấp kim loại được sử dụng để

loại bỏ vạch K của Co mà nếu không được kích thích mạnh Fe thường chiếm ưu thế trong phép phân tích địa chất.

Hầu hết các hệ thống EDXRF hiện đại cung cấp khả năng sử dụng nhiều hơn một tập hợp các điều kiện cho mỗi phép phân tích. Tùy thuộc vào nhu cầu phân tích thể kV và bộ lọc được lựa chọn để tối ưu hóa những phân quan trọng của phổ và dữ liệu từ phổ để cung cấp các giá trị P/B tốt nhất. Để thiết lập điều kiện tối ưu và sử dụng thời gian phân tích tốt nhất thì cách tốt nhất là lựa chọn một mẫu điển hình và đo đạc với các điều kiện khác nhau, Sử dụng các tiêu chí như giới hạn phát hiện để quyết định các điều kiện tối ưu cho các vấn đề phân tích cần thiết. Thông thường, các khuyến cáo của nhà sản xuất thiết bị có thể được dùng như là điểm khởi đầu cho việc nghiên cứu.

C Kích thích bia thưcấp

Hình học cơ bản của kích thích bia thưcấp thể hiện trong hình 2. Sử dụng chế độ kích thích này cho phép phân tích phổ EDXRF đã được mô tả đầu tiên bởi Jaklevic và cộng sự (1972) người đã đưa vào bên trong một bia thưcấp nhỏ, công suất tia X thấp. Tỷ số P/B mà được báo cáo là đáng khuyến khích và sau đó Porter (1973) đã mô tả công việc đầu tiên mà trong đó bia thưcấp nằm ở bên ngoài ống tia X. Những bức xạ sơ cấp từ ống tia X và chạm với bia thưcấp sau đó phát ra bức xạ đặc trưng và tạo ra một vài bức xạ hãm. Các bức xạ phát ra là giả đơn sắc và có mức độ cao hơn như trong trường hợp kích thích trực tiếp của RMF với bộ lọc của bia thưcấp và mẫu. Bộ lọc là những vật liệu như bia và thường được sử dụng với những bia có Z cao (ví dụ Mo, Ag và Gd). Với việc tăng khoảng cách giữa những mức kích thích thì việc tiêu vắng của bức xạ hãm năng lượng thấp hơn mức kích thích là kết quả của việc giảm độ nhạy. Việc dự trữ một số bia thưcấp với những bộ lọc kết hợp thường được lựa chọn một cách tự động cung cấp một dải gián đoạn và hẹp ở trạng thái kích thích.

Việc sắp xếp này có thể thuận tiện trong việc cung cấp tương đương số tia X truyền qua bia với mỗi các vật liệu khác nhau. Để tạo ra bức xạ đặc trưng từ bia thưcấp thì thể kV của ống nên từ 2-3 lần so với năng lượng của mép K của nguyên tố từ bia thưcấp tạo ra. Những vạch K được sử dụng vì chúng cung cấp năng suất huỳnh quang cao nhất, điều đó có nghĩa là tổn thất thấp hơn so với hàng loạt vạch khác. Những bia thưcấp điển hình là giảm dần năng lượng phát xạ vạch K: Gd, Sn, Ag, Mo, Ge, Cu, Fe, Ti, và Al. Việc tối ưu hóa thể kV của ống tia X, bia thưcấp và bộ lọc đã được mô tả bởi Spatz và Lieser (1979).

Lượng huỳnh quang giảm khi số lượng bia nguyên tử giảm và hiệu suất tạo ra tia X giảm nhanh dưới Ti. Kết quả của việc này là các nguyên tố nhẹ hơn Si với K không được kích thích tốt bởi các bia thứ cấp và có vài yếu tố phù hợp để cung cấp cho các bia tại vạch K trong vùng quan trọng này. Một cách tiếp cận là sử dụng một thế kV giảm và một bia tán xạ mà phân tán các dòng ống tia X và bức xạ hãm, trong đó, như đã được nhìn thấy sự kích thích trực tiếp, có hiệu quả trong khu vực năng lượng này. Một khối polymer ổn định cung cấp một bia phù hợp với sự sắp xếp này, mặc dù hiệu quả tổng thể là thấp hơn nhiều so với sự kích thích trực tiếp. Có hai sự sắp xếp khác mà loại bỏ hạn chế này. Việc đầu tiên là sử dụng một ống tia X thứ cấp có hình học dự phòng trực tiếp, và trực tiếp kích thích lọc pin lọc. Việc sắp xếp như vậy sẽ thêm chi phí và phức tạp đáng kể nhưng không cung cấp hiệu suất tối ưu. Nó có thể cho cả hai ống để được chạy từ cùng một nguồn cung cấp điện áp cao. Phương pháp thứ hai là cung cấp một cơ chế tái định vị ống tia X mà nó có thể được vận hành, hoặc mục tiêu thứ yếu hoặc trong chế độ lọc trực tiếp và trực tiếp. Việc lặp lại vị trí của sự sắp xếp cơ khí cần phải được chính xác nếu phương pháp này được thông qua. Sự phức tạp cơ khí, tất yếu là thêm chi phí và một vài khả năng để thiếu tin cậy, đã không ngừng tiếp cận này từ được sử dụng trong quá khứ với một số thành công trong một số thiết bị thương mại có sẵn. Một nhược điểm của phương pháp này là thời gian cần thiết cho việc chuyển đổi cơ học, mà có thể là một hình phạt nặng nếu một số các vụ mua lại được yêu cầu cho một phân tích đầy đủ mà thường là trường hợp. Một nhược điểm của phương pháp này là thời gian đó là cần thiết cho việc chuyển đổi cơ học, mà có thể là một sự bất lợi nếu một số các việc thu nhận được yêu cầu cho một phân tích đầy đủ mà thường là trường hợp như này. Gần đây, một cái gọi là hình học góc rộng (Wide Angle Geometry) đã được mô tả bởi Yokhin (2000), trong đó một ống tia X duy nhất được sử dụng để cung cấp trực tiếp không lọc hoặc lọc và bia kích thích thứ cấp. Sự sắp xếp này có thể được thực hiện bằng cách sử dụng chùm tia X hình nón rộng từ ống tia x đặc biệt và một ống phân phối tia X riêng.

Việc giảm hiệu suất kích thích tổng thể khi sử dụng các mục tiêu thứ cấp thường được bù đắp bằng cách tăng cường độ ống tia X. Một ống cung cấp gần khớp với hình học và năng lượng trong khoảng 100 đến 400W thường được sử dụng để bù đắp hiệu suất tổng thể thấp của kích thích. Để kích thích hiệu suất các dòng Gd tại vạch K, nó là thích hợp hơn để sử dụng một ống tia X có khả năng đang được vận hành tại