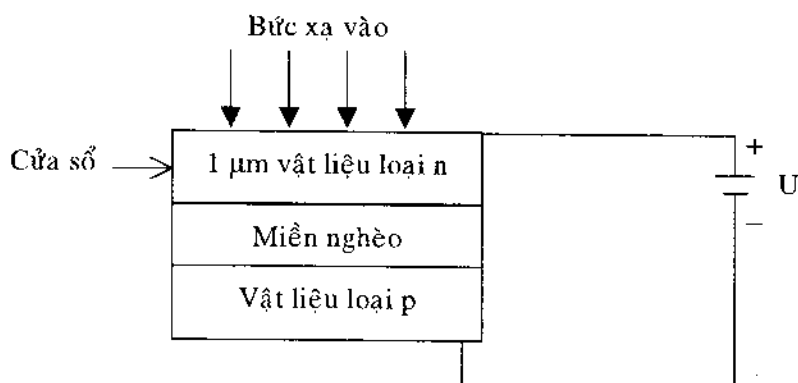


và có dòng điện chạy qua lớp tiếp giáp. Nếu đặt điện áp phân cực ngược lại, miền n nối với cực dương còn miền p nối với cực âm như trên hình 7.10 thì không có dòng điện qua lớp tiếp giáp, trừ dòng rò rất bé do sự chuyển động nhiệt của các electron và lỗ trống. Miền gần lớp tiếp giáp không có các electron và lỗ trống do điện thế có phân cực nói trên. Miền này gọi là miền nghèo và là miền nhạy của detector bán dẫn. Khi một bức xạ đi qua miền nghèo này nó tạo nên các cặp electron – lỗ trống. Dưới tác dụng của điện trường cao thế, các electron và lỗ trống chuyển động về các điện cực, tạo nên tín hiệu điện lối ra.

### 7.3.2. Các loại detector bán dẫn

#### a. Detector tiếp giáp khuếch tán

Phương pháp sản xuất phổ biến của detector bán dẫn loại diod là sử dụng tinh thể bán dẫn thuần nhất loại p và phủ trên bề mặt nó một lớp bán dẫn loại n, chủ yếu là tạp chất phosphorus, theo phương pháp khuếch tán hơi (hình 7.11). Bề dày của lớp bán dẫn loại n khoảng 0,1 đến 2  $\mu\text{m}$ . Do lớp bán dẫn n là chất cho nên miền nghèo chủ yếu nằm ở phía chất bán dẫn p so với lớp tiếp giáp. Như vậy phần lớn bề mặt nằm ngoài miền nghèo và là lớp chết hay cửa sổ. Các tia bức xạ sẽ xuyên qua cửa sổ để vào miền nghèo của detector bán dẫn. Sự có mặt của lớp chết là nhược điểm của detector tiếp giáp khuếch tán vì bức xạ mất một phần năng lượng khi đạt đến miền nghèo.



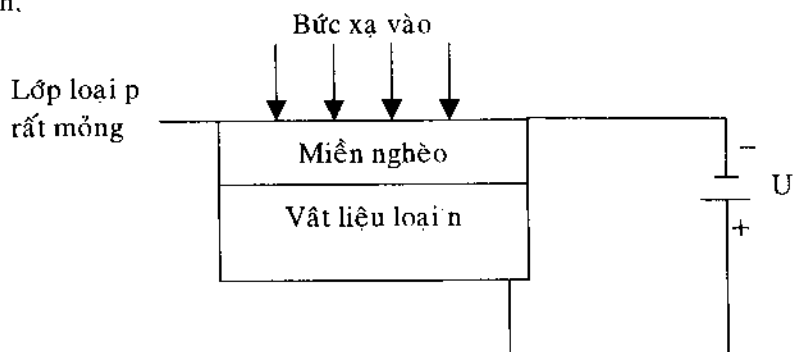
Hình 7.11. Detector tiếp giáp khuếch tán.

#### b) Detector hàng rào bề mặt

Trong detector hàng rào bề mặt, một lớp vàng rất mỏng được phủ lên bề mặt của chất bán dẫn loại n bằng phương pháp bay hơi (hình 7.12). Quá trình bay hơi được thực hiện trong điều kiện sao cho có một lớp oxy hóa

nhẹ trên bề mặt. Lớp oxy hóa này nằm giữa lớp vàng và silicon, đóng vai trò vật liệu loại p, gọi là lớp hàng rào bề mặt. Khi đó miền nghèo cũng được hình thành như trong detector tiếp giáp khuếch tán. Lớp vàng mỏng được dùng làm lớp tiếp xúc điện để lấy tín hiệu ra. Cũng có thể chế tạo detector hàng rào bề mặt trên cơ sở chất bán dẫn loại p bằng cách khuếch tán nhôm để tạo nên lớp vật liệu loại n và lớp tiếp xúc điện để lấy tín hiệu ra. Detector hàng rào bề mặt thường sử dụng để đo các hạt tích điện.

Nhược điểm chính của detector hàng rào bề mặt là khá nhạy với ánh sáng do cửa sổ quá mỏng, gần như trong suốt đối với ánh sáng. Năng lượng của ánh sáng vào cỡ 2 – 4 eV lớn hơn dải cấm nên photon có thể tạo nên các cặp electron – lỗ trống. Như vậy độ ồn của detector khá lớn, gây nên nền phóng lớn.



Hình 7.12. Detector hàng rào bề mặt.

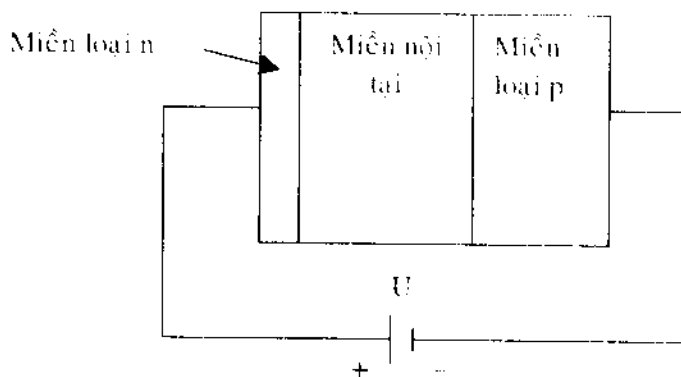
#### c) Detector cấy ion

Một phương pháp khác để đưa tạp chất vào bề mặt chất bán dẫn là chiếu bề mặt đó bằng chùm hạt ion sinh ra từ các máy gia tốc. Chẳng hạn có thể chiếu chùm hạt boron lên tinh thể silicon ta có lớp vật liệu loại p nằm sát ngay bề mặt. Phương pháp pha tạp này gọi là cấy ion và nó tạo nên một tinh thể bền hơn, ít bị ảnh hưởng bởi môi trường. Detector cấy ion được dùng để đo phổ alpha, beta năng lượng thấp và các ion nặng.

#### d. Detector trôi lithium

Hạn chế chính của detector tiếp giáp khuếch tán và detector hàng rào bề mặt là độ sâu của miền nghèo hay thể tích hoạt động của nó không lớn. Ngay cả khi sử dụng các vật liệu với điện trở suất cao nhất và cao thế gần đạt giá trị đánh thủng thì độ sâu miền nghèo cũng chỉ đạt 2 – 3 mm. Độ dày miền nghèo thấp là do tạp chất có sẵn trong vật liệu detector. Để đo phổ gamma hay tia X cần detector có độ sâu miền nghèo lớn hơn hay thể tích

vùng hoạt động lớn hơn. Muốn tăng miền nghèo phải khắc phục hiệu ứng do các tạp chất. Một trong các biện pháp được sử dụng là bổ sung lithium vào miền giữa vật liệu bán dẫn loại n và vật liệu bán dẫn loại p bằng cách làm trôi dạt các ion lithium vào các tinh thể silicon và germanium (hình 7.13). Lớp này được gọi là miền trôi dạt lithium hay miền nội tại. Chính kích thước miền nội tại xác định thể tích nhạy của detector. Có hai loại detector trôi lithium là detector Ge(Li) và detector Si(Li). Nhờ phương pháp trôi lithium người ta sản xuất các detector phẳng hay detector đồng trục. Hiện nay, do detector germanium siêu tinh khiết được sử dụng rộng rãi nên ít dùng detector Ge(Li) mà chỉ dùng detector Si(Li) để đo phổ photon năng lượng thấp. Hơn nữa, detector Si(Li) có lợi thế hơn detector Ge(Li) là chỉ cần dùng nitrogen lỏng khi detector làm việc mà không cần dùng khi bảo quản.



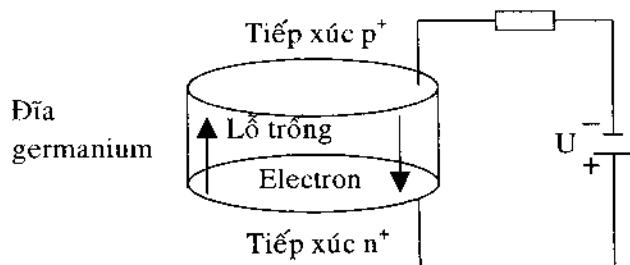
Hình 7.13. Detector trôi lithium.

#### e. Detector germanium siêu tinh khiết

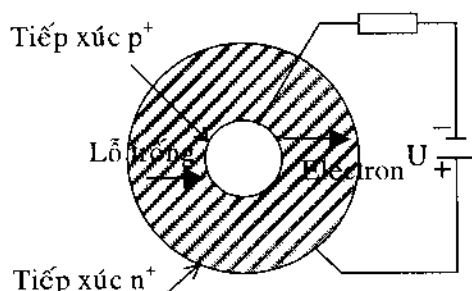
Nhược điểm chính của detector Ge(Li) là sự không ổn định của phân bố không gian của lithium ở nhiệt độ phòng thí nghiệm, điều đó dẫn tới sự phân bố lại lithium và mất khả năng bù trừ trong miền nội tại. Do đó detector loại này cần được làm lạnh bằng nitrogen lỏng cả trong lúc bảo quản. Để khắc phục nhược điểm này người ta phát triển loại detector germanium siêu tinh khiết HPGe hay detector germanium thuần. Khi germanium có độ sạch càng cao thì độ sâu miền nghèo càng lớn vì độ sâu đó tỉ lệ với căn bậc hai của điện trở suất vật liệu. Với kỹ thuật hiện nay có thể chế tạo germanium siêu tinh khiết với nồng độ tạp chất giảm đến  $10^{-9} - 10^{-10}$  nguyên tử/cm<sup>3</sup>. Ưu điểm chính của detector HPGe là không cần làm lạnh bằng nitrogen lỏng trong thời gian bảo quản nó.

Detector HPGe có thể được sản xuất dưới dạng phẳng hay đồng trục. Đối với detector dạng phẳng (hình 7.14) đường kính tinh thể trụ germanium

không vượt quá vài centimet, do đó thể tích vùng hoạt động không vượt quá  $10 - 30 \text{ cm}^3$ . Đối với detector dạng đồng trục thì tinh thể germanium có dạng hình trụ vành khuyên dài với một cực là mặt ngoài hình trụ và cực kia là mặt phía trong (Hình 7.15). Do tinh thể có thể kéo dài nên có khả năng tăng thể tích detector. Hiện nay có thể sản xuất các tinh thể HPGe đến  $400 \text{ cm}^3$ . Detector HPGe được sử dụng phổ biến để đo phổ gamma.



Hình 7.14. Detector dạng phẳng.



Hình 7.15. Detector dạng đồng trục.

## 7.4. CÁC HỆ ĐO BỨC XẠ

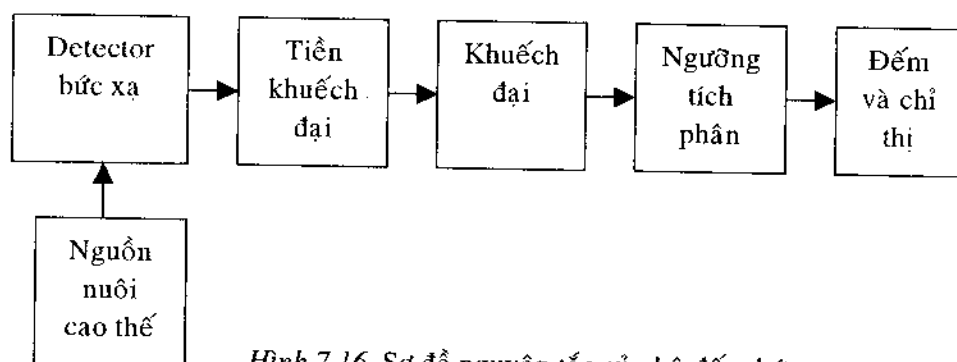
### 7.4.1. Sơ đồ nguyên tắc của các hệ đo bức xạ

Các hệ đo bức xạ khá đa dạng, từ máy đếm bức xạ đến máy phân tích biên độ một kênh và đa kênh. Trong phần này trình bày ngắn gọn cấu trúc của các thiết bị này.

#### a) Máy đếm bức xạ

Máy đếm bức xạ có nhiệm vụ đếm số hạt bức xạ trong một khoảng thời gian hay trong một đơn vị thời gian. Nó gồm một detector bức xạ và hệ

thống điện tử thu nhận và xử lý tín hiệu điện ở lối ra detector và cho ra kết quả dưới dạng kim chỉ thị hay dạng số (hình 7.16).



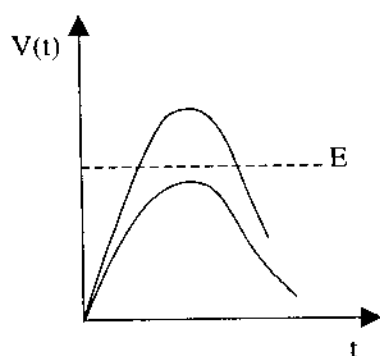
Hình 7.16. Sơ đồ nguyên tắc của hệ đếm bức xạ.

Trên hình 7.16, detector bức xạ có thể là buồng ion hóa, ống đếm tỉ lệ, ống đếm Geiger-Muller hay detector nhấp nháy. Nguồn cao thế cung cấp điện áp một chiều cho detector, thường có giá trị hàng trăm đến hàng nghìn vôn. Các tín hiệu điện ở lối ra detector có biên độ rất bé, do đó cần khuếch đại sơ bộ bằng sơ đồ tiền khuếch đại. Sơ đồ tiền khuếch đại đặt càng gần detector càng tốt để rút ngắn dây nối từ detector đến tiền khuếch đại nhằm giảm tối thiểu điện dung phụ trên detector. Sơ đồ tiền khuếch đại còn đóng vai trò một mạch phối hợp trở kháng, lối vào của nó có trở kháng cao nhằm giảm tải cho detector còn lối ra của nó có trở kháng thấp nhằm bảo đảm tải cho các khối tiếp theo. Tín hiệu lối ra tiền khuếch đại có biên độ rất bé, thường vào cỡ vài chục đến vài trăm milivôn, không thể đếm trực tiếp được. Do đó tín hiệu từ tiền khuếch đại được đưa vào khối khuếch đại chính để khuếch đại biên độ đến 10 vôn với hệ số khuếch đại 100 – 5000. Tín hiệu ra của khối khuếch đại được đưa qua khối ngưỡng tích phân nhằm lọc lựa các tín hiệu có biên độ đủ lớn và hình thành lại dạng xung có dạng vuông góc với độ rộng thích hợp để điều khiển khối đếm. Khối đếm có nhiệm vụ đếm số xung ra và chỉ thị bằng đồng hồ có kim chỉ hoặc hệ đếm số bằng tinh thể lỏng.

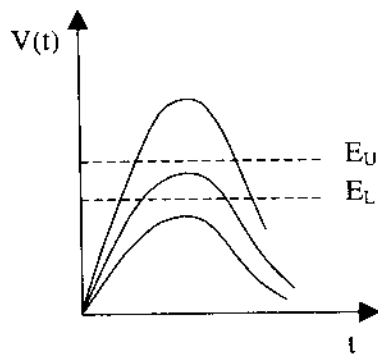
#### b) Máy phân tích biên độ một kênh

Khi dùng detector để xác định năng lượng bức xạ vào, chẳng hạn NaI(Tl), thì biên độ xung ở lối ra khối khuếch đại tỉ lệ với năng lượng bức xạ đi vào detector. Trên hình 7.16 khối ngưỡng tích phân thường có mức ngưỡng được đặt lớn hơn giá trị tạp âm của hệ để đếm được tất cả các xung do hạt bức xạ gây ra. Tuy nhiên trong một số trường hợp giá trị ngưỡng đặt cao hơn

để chọn các xung có biên độ lớn hơn một giá trị khá lớn nhằm chọn hạt có năng lượng lớn hơn một giá trị nào đó (Hình 7.17).



Hình 7.17. Khối ngưỡng tích phân. E là giá trị ngưỡng.



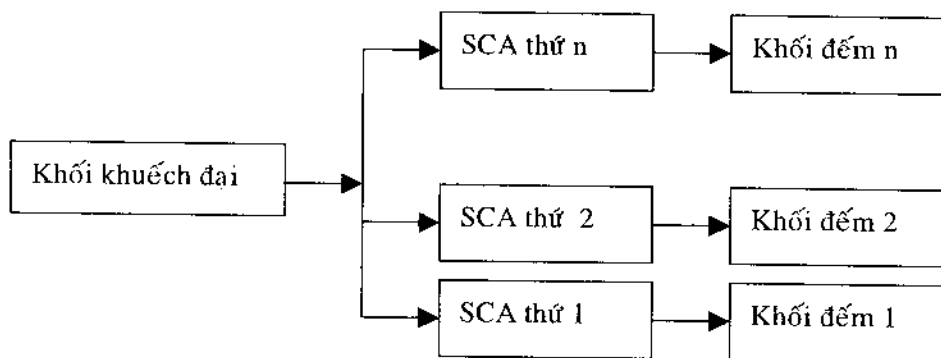
Hình 7.18. Khối ngưỡng vi phân hay máy phân tích biên độ một kênh.  $E_L$  và  $E_U$  là các giá trị ngưỡng dưới và ngưỡng trên.

Một loại hệ đếm khác có nhiệm vụ đếm các xung có năng lượng nằm giữa giá trị ngưỡng dưới  $E_L$  và ngưỡng trên  $E_U$  nhằm chọn các hạt bức xạ có năng lượng nằm trong cửa sổ năng lượng  $\Delta E = E_U - E_L$  (Hình 7.18). Khối điện tử có chức năng chọn lựa như trên gọi là khối ngưỡng vi phân hay máy phân tích biên độ một kênh SCA (single channel analyzer). Tín hiệu lối ra máy phân tích biên độ một kênh cũng được hình thành lại có dạng xung vuông góc để đưa vào điều khiển khối đếm. Người ta sử dụng máy phân tích biên độ một kênh để đo số bức xạ gamma của đồng vị  $\text{Cs}^{137}$  người ta chọn cửa sổ năng lượng  $\Delta E$  và giá trị năng lượng  $E$  sao cho  $E < 661 \text{ KeV} < E + \Delta E$ , vì 661 keV là vạch năng lượng đặc trưng của đồng vị  $\text{Cs}^{137}$ .

### c. Máy phân tích biên độ nhiều kênh

Mở rộng nguyên lý máy phân tích biên độ một kênh thành máy phân tích biên độ nhiều kênh MCA (multichannel analyzer), trong đó dải năng lượng quan tâm được chia thành nhiều kênh năng lượng (thường từ  $n = 100$  kênh đến  $n = 16000$  kênh), mỗi kênh là một cửa sổ năng lượng từ  $E_i$  đến  $E_i + \Delta E$  ( $i = 1, 2, \dots, n$ ). Kết quả ta có một hàm phân bố số đếm trong một cửa sổ  $\Delta E$  với mỗi giá trị năng lượng  $E_i$ , thường được gọi là phổ năng lượng. Về nguyên tắc, máy phân tích biên độ nhiều kênh là một hệ nhiều máy phân

tích biên độ một kênh nối liên tiếp nhau, ngưỡng trên của khối ngưỡng vi phân này là ngưỡng dưới của khối ngưỡng vi phân tiếp sau (hình 7.19).

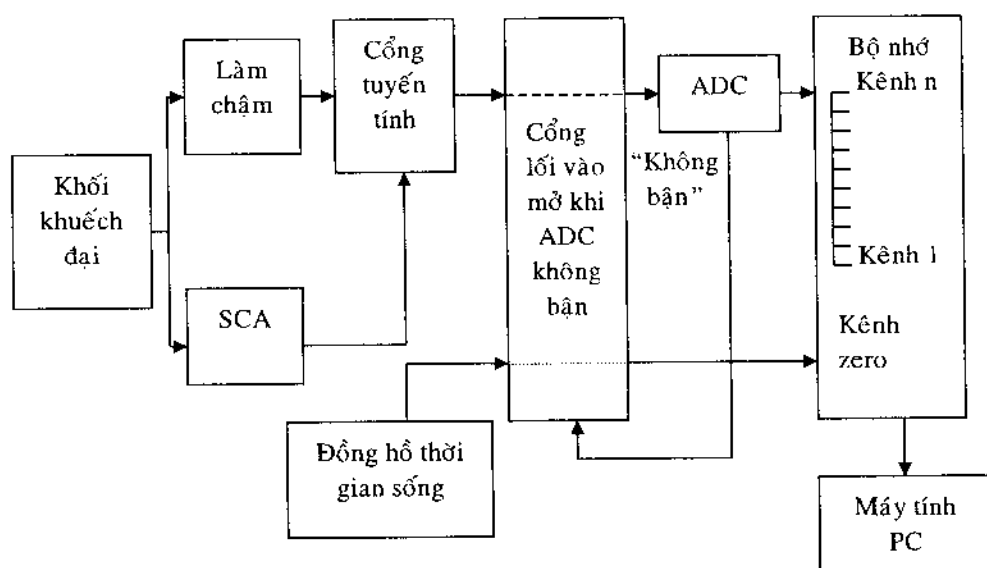


Hình 7.19. Sơ đồ máy phân tích biên độ nhiều kênh cấu tạo từ nhiều máy phân tích biên độ một kênh.

Máy phân tích biên độ nhiều kênh có cấu trúc như trên không thuận tiện vì số khối điện tử tăng theo số kênh. Do đó người ta xây dựng máy phân tích biên độ nhiều kênh trên cơ sở nguyên tắc biến đổi biên độ thành chuỗi số ADC (analog-to-digital converter). Hình 7.20 minh họa sơ đồ nguyên tắc của một MCA.

Các khối chức năng cơ bản của một MCA là ADC và bộ nhớ. Để minh họa, ta mô tả bộ nhớ được sắp xếp theo một cột thẳng đứng có các vị trí ghi địa chỉ, từ địa chỉ thứ nhất, hay kênh thứ nhất ở dưới cùng, đến vị trí trên cùng ứng với kênh thứ n. Khi một xung được ADC chuyển từ tín hiệu biên độ sang dãy số, các sơ đồ kiểm tra của bộ nhớ sẽ tìm vị trí trong thang địa chỉ tương ứng với chuỗi số và thêm một đơn vị vào vị trí đó. Như vậy một đơn vị được ghi vào ô địa chỉ ứng với biên độ xung vào, giống như máy phân tích biên độ nhiều kênh trên hình 7.19, khối đếm thứ i sẽ ghi thêm một đơn vị nếu xung vào có biên độ rơi vào SCA thứ i. Sau thời gian đo ta có thể biểu diễn kết quả trên tọa độ hai chiều, trong đó trục hoành là các kênh còn trục tung là số đếm của từng kênh, tức là ta có một phổ năng lượng của các bức xạ vào vì số kênh trên trục hoành tỉ lệ với năng lượng bức xạ. Các khối khác trong sơ đồ MCA đóng vai trò hỗ trợ. Cổng lối vào dùng để ngăn cản các xung vào ADC trong thời gian mạch ADC bận số hóa tín hiệu trước đó. Mạch ADC cho một xung logic đặt ở lối vào của cổng sẽ mở cổng khi nó không xử lý tín hiệu. Do cổng lối vào bị đóng trong thời gian ADC xử lý tín hiệu nên có thể một số xung vào bị mất trong khoảng thời gian chết của MCA. Để xác định thời gian đo thực, tức là loại bỏ thời gian chết, trong

MCA dùng đồng hồ thời gian sống phát tín hiệu qua cổng lối vào, chịu sự điều khiển của xung khóa khi ADC bận, và ghi lại tại kênh zero trong bộ nhớ. Thời gian ghi tại kênh zero là thời gian sống của MCA, do đó không phải hiệu chỉnh thời gian chết khi xử lý kết quả đo. Nhiều MCA có thêm một cổng tuyến tính khác được điều khiển bởi một SCA. Cổng tuyến tính này nhằm bảo đảm cho MCA chỉ xử lý những xung nằm trong giới hạn biên độ giữa các giá trị ngưỡng dưới và giá trị ngưỡng trên của SCA. Ngưỡng dưới của SCA loại trừ các tín hiệu tạp âm còn ngưỡng trên của SCA loại trừ các xung có biên độ quá lớn. Nội dung trong bộ nhớ sau khi đo được đưa vào máy tính PC để xử lý và hiện trên màn ảnh máy tính.

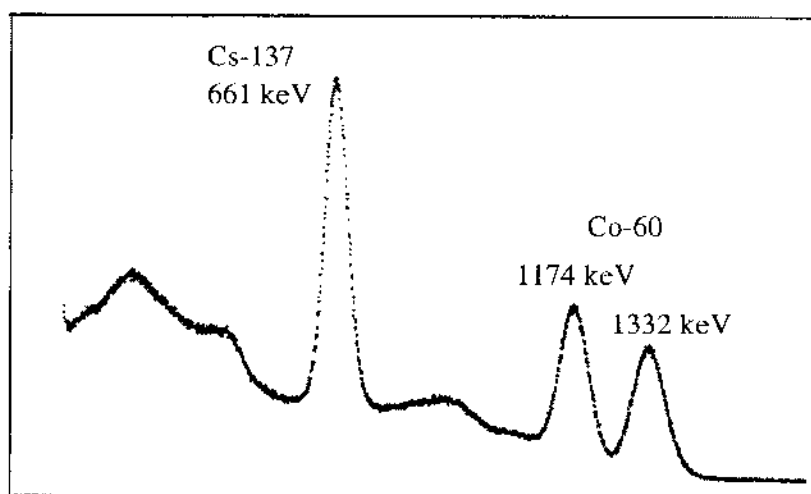


Hình 7.20. Sơ đồ nguyên tắc của một máy phân tích biên độ nhiều kênh.

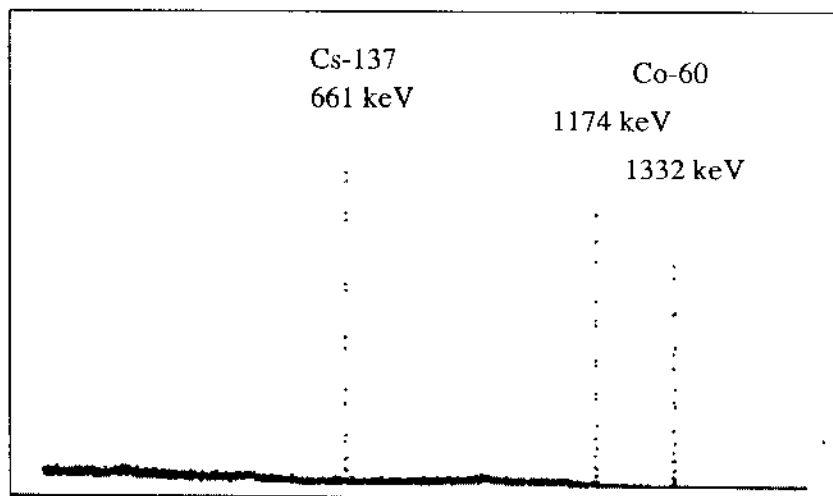
Các detector thường dùng trong các hệ phân tích biên độ nhiều kênh là detector nhấp nháy và detector bán dẫn. Hình 7.21 trình bày một phổ năng lượng gamma của nguồn phóng xạ  $\text{Cs}^{137}$  đo bằng detector nhấp nháy  $\text{NaI(Tl)}$ . Bức xạ gamma của nguồn  $\text{Cs}^{137}$  có vạch năng lượng đặc trưng 661 keV. Trên hình 7.21, tại giá trị năng lượng này, phổ năng lượng có đỉnh với độ rộng xác định. Trong phần bên trái đỉnh 661 keV, phổ năng lượng không bằng không mà có mặt một nền phông khá lớn, đó là do đóng góp của các bức xạ gamma năng lượng bé hơn 661 keV sinh ra do tán xạ Compton của bức xạ gamma năng lượng 661 keV lên vật liệu detector. Độ rộng của đỉnh 661 keV phản ánh độ phân giải năng lượng của detector và hệ thống điện tử phân tích. Đại



lượng thường dùng là độ rộng ở nửa chiều cao FWHM (full width of half maximum), hay độ phân giải năng lượng tương đối, là tỉ số của FWHM so với giá trị năng lượng tại đỉnh. Detector nhấp nháy với chất nhấp nháy NaI(Tl) kích thước cao 5 cm, đường kính 5 cm có FWHM cỡ 50 KeV tại giá trị năng lượng 661 keV, hay độ phân giải năng lượng tương đối là 8%.



Hình 7.21. Phổ năng lượng gamma của nguồn  $\text{Cs}^{137}$  và  $\text{Co}^{60}$  đo bằng detector nhấp nháy.



Hình 7.22. Phổ năng lượng gamma của nguồn phóng xạ  $\text{Cs}^{137}$  và  $\text{Co}^{60}$  đo bằng detector bán dẫn germanium siêu tinh khiết GC1518 của hãng Canberra Industries, Inc., U.S.A.

Hình 7.22 trình bày phổ năng lượng gamma của nguồn phóng xạ  $\text{Cs}^{137}$  và  $\text{Co}^{60}$  đo bằng detector bán dẫn germanium siêu tinh khiết GC1518 của hãng Canberra U.S.A. Nguồn  $\text{Cs}^{137}$  có một vạch năng lượng là 661 keV còn nguồn  $\text{Co}^{60}$  có hai vạch năng lượng là 1174 keV và 1332 keV. Detector này có hiệu suất đo tương đối là 15 % và độ rộng ở nửa chiều cao ở đỉnh FWHM 1332 keV là 1,8 keV. Tại đỉnh 661 keV, độ rộng ở nửa chiều cao bằng 1,4 keV, bé hơn nhiều so với giá trị 50 keV đối với detector nhấp nháy NaI(Tl). Độ phân giải năng lượng cao như vậy của detector bán dẫn làm cho detector loại này được sử dụng rộng rãi trong việc phân tích hàm lượng các nguyên tố phóng xạ và các nguyên tố bền.

## 7.4.2. Các hệ đo gamma

### 7.4.2.1. Các detector dùng để đo bức xạ gamma

Các detector dùng để đo bức xạ gamma và tia X gồm detector chứa khí, detector nhấp nháy và detector bán dẫn. Việc chọn detector loại nào phụ thuộc vào dải năng lượng hạt bức xạ được đo, các yêu cầu về hiệu suất đo, độ phân giải năng lượng và độ phân giải thời gian.

#### a) Các đặc trưng của detector

##### – Hiệu suất detector

Hiệu suất của detector thể hiện ở số xung ghi được khi có một lượng bức xạ vào cho trước. Đối với các detector đo bức xạ gamma có các định nghĩa về hiệu suất như sau:

+ *Hiệu suất tuyệt đối* là tỉ số giữa số đếm do detector ghi được so với số tia gamma do nguồn phát ra theo mọi phương.

+ *Hiệu suất nội tại* là tỉ số giữa số xung do detector tạo nên so với số tia gamma đập vào detector.

+ *Hiệu suất tương đối* là hiệu suất của một detector so với detector khác. Đối với detector germanium thì đó là hiệu suất tương đối của nó so với detector nhấp nháy NaI(Tl) hình trụ kích thước 7,5 x 7,5cm, cả hai detector đều đặt cách 25 cm đến nguồn điểm và đo đối với vạch năng lượng 1,33 MeV.

+ *Hiệu suất đỉnh năng lượng toàn phần (photopeak)* là hiệu suất sinh ra chỉ các xung đỉnh năng lượng toàn phần mà không phải là xung kích thước bất kỳ của tia gamma.

##### – Độ phân giải năng lượng của detector

Độ phân giải năng lượng của detector là độ rộng ở nửa chiều cao FWHM (Full Width of Half Maximum), có thể biểu thị bằng năng lượng tuyệt đối theo đơn vị keV đối với detector germanium hay phần trăm của