第 3 回

放射線管理

서 두 환
한국원자력연구소
원자로관리실장

3. GM計數管

GM계수관에는 원통형, 단창형, 반원구형, 상자형 등이 있으며, 크기도 여러가지가 있어서 사용목적에 따라 계수관을 선택한다. 계수관의 인가전압을 비례계수관보다 더 올려 주면, (4)식의 rn가 1에 가까워지고 가스증폭도 M가 매우 커져서 전자눈사태가 집전극전체에 퍼져, GM계수관영역으로 된다.

$$M = n + rn^2 + r^2n^3 + \cdots = \frac{n}{1-rn} \qquad (4)$$

GM계수관은 방사선에 의하여 관속에 처음으로 생긴 이온쌍수나 그 생성장소에 관계없이 전자눈사태가 성장하여 일정한 크기의 출력을 낸다. 따라서 X, γ선도 일정한 크기의 출력펄스를 내기 때문에 감도가 높고, 입자속밀도나 입자 플루언스를 측정하는데는 유력하다. 그러나 방사선의 종류나 에너지는 판별할 수 없다.

3. 1 GM計數管의 動作

GM계수영역에서는 방전이 중심전극에 따라 퍼지기 때문에, 중심전극 둘레에는 수많은 양이온이 마치 칼집처럼 분포하고 있다. 이들 칼집은 중심의 전극을 약화시키므로 전자눈사태가 그치고, 양이온이 음극으로 향해 이동하기 시작하면 중심전극에 전류펄스가 생긴다. GM계수관의 관벽재료로서 놋쇠, 유리 등이 사용되는데, 이들 양이온이 관벽에 도달하면 금속원자로서 작용하여 전자를 방출하고 이 전자도 방전을 일으킨다. 이것을 막기 위해서는 계수관의 외부전자회로에서 전위차를 작게 해주는 외부소멸법(outer quenching)이나, 알코올 등의 유기가스나 염소등의 할로겐가스를 혼입시키는 내부소멸법(self quenching)이 이용된다.

내부소멸법은 양이온이 관벽에 도달하기 전에 혼입가스와 충돌하여 전하를 이동시키고, 혼입가스의 양이온은 금속원자로서 작용하여 중화되고, 곧 해리하기 때문에 전자를 방출하지 않고 방전도 일어나지 않는다. 유기가스를 혼입한 경우는 방전할 때 마다 해리하기 때문에 수명은 10^9~10^{10}카운트 정도이며, 계수영역은 1,000V 정도이다. 할로겐가스를 혼입한 경우는 해리한 후, 다시 결합하기 때문에 수명이 길고, 계수영역도 250V 정도에서 시작한다.

3. 2 플래토우

GM계수관에 일정한 방사선을 입사시켜 인가전압을 올려 주면, 어느 전압이상이 되면 방사선을 계수하기 시작하고, 더 전압을 올려도 계수율이 거의 일정한 영역이 생긴다. 이 영역을 플래토우(Plateau)라 부르고, 100V당의 계수율 변화로서 나타낸다. 이 모양을 다음 수식과 그림11로 나타낸다.

$$\text{플래토우기울기} = \frac{n_2 - n_1}{n_3(V_2 - V_1)} \times 100(\%/V)$$

$$= \frac{V_1 + V_2}{V_2} \qquad (5)$$

플래토우영역이 길고, 기울기가 작은 것이 계수관의 특성이 좋으며, 통상은 수% 이하이

다. GM계수관은 플래토우영역의 거의 중심 또는 약간 낮은 (1/3)전압에서 사용하는 것이 보통이다.

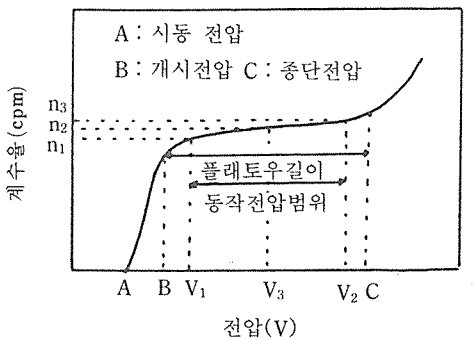


그림11. GM계수관의 플래토우 특성

3. 3 GM計數管의 分解時間

GM계수관에 일정한 입자속밀도 이상으로 방사선이 입사하고 있을 때의 출력펄스는 그림 12와 같다. 최초의 방전으로 큰 출력펄스를 얻을 수 있지만, 이때 중심선에 매우 가까운 곳에는 앞에서 언급한 바와 같이 양이온에 의한 공간전하의 칼집이 형성되기 때문에 전계가 약해진다. 따라서 공간전하가 남아있는 동안에는 방사선에 의해서 이온쌍이 생기더라도 전자눈사태는 성장하지 않고 출력펄스는 생기지 않는다.

이와 같은 모양을 그림12에서 보면, 시간 τ_d내에서는 펄스가 나타나지 않고, τ_r내에서는 가령 펄스가 생기더라도 그 높이가 낮기 때문에 계수되지 않는다.

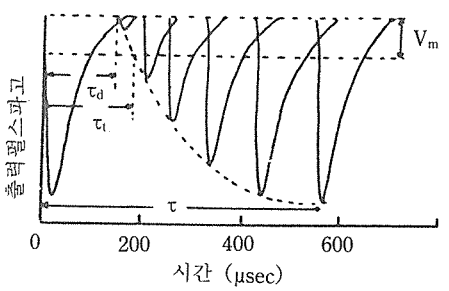


그림12. GM계수관의 출력펄스 파형

그리고 τ에 도달하면 비로소 원래의 펄스 높이와 같은 펄스가 생긴다. τ_d, τ_r, τ을 각각 불감시간(dead time), 분해시간(resolving time), 회복시간(recovery time)이라 부른다. τ_d와 τ_r는 동일양으로 취급될때가 있는데, $\tau_d \fallingdotseq \tau_r$이므로 실용상 지장이 없다. 불감시간은 계수관의 구조, 가스의 종류나 압력, 인가전압에 따라 다르지만 약 100에서 700μs이다.

표 3 계수손실보정계수 : K

불감시간 / 측정치CPS	1μ sec	5μ sec	10μ sec	20μ sec	50μ sec	100μ sec	200μ sec	500μ sec
10	1,0000	1,0001	1.0001	1.0002	1.0005	1.0010	1.0020	1.0050
20	1.0000	1.0001	1.0002	1.0004	1.0010	1.0020	1.0040	1.0101
30	1.0000	1.0002	1.0003	1.0006	1.0015	1.0030	1.0060	1.0152
40	1.0000	1.0002	1.0004	1.0008	1.0020	1.0040	1.0081	1.0204
50	1.0001	1.0003	1.0005	1.0010	1.0025	1.0050	1.0101	1.0256
60	1.0001	1.0003	1.0006	1.0012	1.0030	1.0060	1.0121	1.0309
70	1.0001	1.0004	1.0007	1.0014	1.0035	1.0071	1.0142	1.0363
80	1.0001	1.0004	1.0008	1.0016	1.0040	1.0081	1.0163	1.0417
90	1.0001	1.0005	1.0009	1.0018	1.0045	1.0091	1.0183	1.0471
100	1.0001	1.0005	1.0010	1.0020	1.0050	1.0101	1.0204	1.0526
200	1.0002	1.0010	1.0020	1.0040	1.0101	1.0204	1.0417	1.1111
300	1.0003	1.0015	1.0030	1.0060	1.0152	1.0309	1.0638	1.1765
400	1.0004	1.0020	1.0040	1.0081	1.0204	1.0417	1.0870	1.2500
500	1.0005	1.0025	1.0050	1.0101	1.0256	1.0526	1.1111	1.3333
600	1.0006	1.0030	1.0060	1.0121	1.0309	1.0638	1.1364	1.4286
700	1.0007	1.0035	1.0071	1.0142	1.0363	1.0753	1.1628	1.5385
800	1.0008	1.0040	1.0081	1.0163	1.0417	1.0870	1.1905	1.6667
900	1.0009	1.0045	1.0091	1.0183	1.0471	1.0989	1.2195	1.8182
1,000	1.0010	1.0050	1.0101	1.0204	1.0526	1.1111	1.2500	2.0000
2,000	1.0020	1.0101	1.0204	1.0417	1.1111	1.2500	1.6667	∞
3,000	1.0030	1.0152	1.0309	1.0638	1.1765	1.4286	2.5000	
4,000	1.0040	1.0204	1.0417	1.0870	1.2500	1.6667	5.0000	
5,000	1.0050	1.0256	1.0526	1.1111	1.3333	2.0000	∞	
6,000	1.0060	1.0309	1.0638	1.1364	1.4286	2.5000		
7,000	1.0071	1.0363	1.0753	1.1628	1.5385	3.3333		
8,000	1.0081	1.0417	1.0870	1.1905	1.6667	5.0000		
9,000	1.0091	1.0471	1.0989	1.2195	1.8182	10.0000		
10,000	1.0101	1.0526	1.1111	1.2500	2.0000	∞		

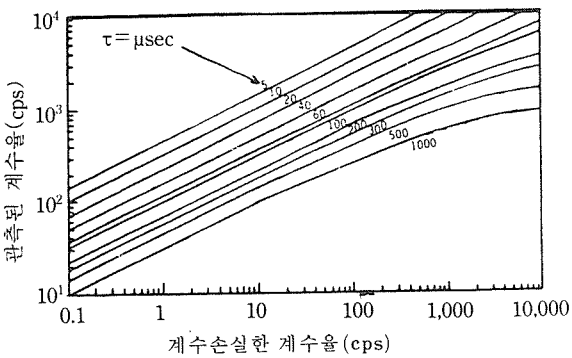


그림13. 분해시간(τ)과 계수손실

이와 같이 계수율이 높아지면 계수손실(counting loss)이 생겨, 보정할 필요가 있다. 계수율의 실측치를 n, 참값을 N라 하면

$$N = \frac{n}{(1-n\tau_r)} \qquad (6)$$

의 관계식이 성립한다. 계수손실의 보정계수 K의 측정치와 불감시간과의 관계를 표3에, 분해시간과 계수손실과의 관계를 그림13에 각각 나타낸다. 일반적으로 GM계수관의 경우, 수1000cps이상으로 사용하는 것은 부적당하여 계수율이 너무 높으면 질식현상이 일어나서 계수하지 못하게 된다. 또 펄스형태로 방사선을 내는 가속기 등에는 펄스간격에 주의해야 한다.

3. 4 GM計數管의 檢出効率

GM계수관에 입사한 하전입자에 대한 검출

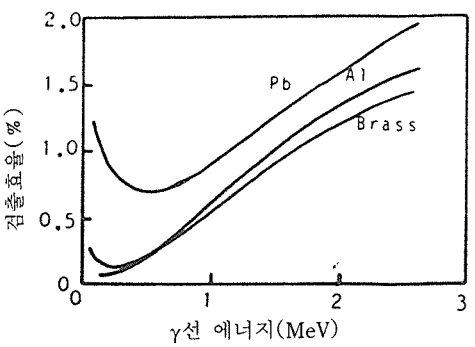


그림14. GM계수관과 검출 효율

효율은 유기가스소멸형의 계수관에서는 거의 100%, 할로겐가스소멸형의 계수관에서는 70~80%이다. X, γ선의 경우는 계수관내의 가스를 직접 전리하지 않고 X, γ선과 계수관 벽과의 상호작용으로 관내에 방출되는 2차전자의 전리작용을 이용하여 검출한다. X, γ선에 대한 검출효율은 입사에너지와 관벽재료에 따라 다르지만, 일반적으로 1~2%이하이다. 그림14에 각종 백재에 대한 X, γ선의 에너지와 검출효율과의 관계를 나타낸다.

4. 半導體檢出器

4. 1 半導體檢出器의 動作原理

반도체물질속으로 방사선이 입사하면 그것을 구성하고 있는 원자의 가전자(価電子, 최외각궤도의 전자)가 전리에 의하여 자유전자로 되고, 그 공석은 정공(正孔, positive hole)으로 된다. 자유전자는 전기전도에 기여하므로 도전전자라고도 부르고, 정공과 함께 전하를 옮기기 때문에 운반자(carrier)라 한다. 반도체물질속에서 전자·정공쌍을 만드는데 필요한 에너지 ε(기체인 경우의 W치에 대응)는 기체의 그것과 비교하면 작고 Si은 3.66eV, Ge은 2.98eV이다. 이와 같이 ε치가 낮다라는 것은 실온에서도 열에너지에 의하여 많은 전자가 도전대에 존재하게 되어 결과적으로 잡음전류로 되기 때문에 통상은 액체질소 등으로 냉각시키면서 사용한다.

불순물을 전혀 함유하고 있지 않는 반도체, 즉 진성반도체의 경우는 절대온도 0°에서 모든 가전자가 원자에 구속되어 있기 때문에 생성되는 도전전자와 정공의 수는 같다. 그러나 현실적으로는 불순물이 전혀 없는 반도체를 만들수는 없고, 미량의 불순물을 가지고 있다. 이 불순물의 성질에 따라 전자가 과잉한 것, 정공이 과잉한 것이 생긴다. 전자가 많은 반도체를 n형, 정공이 많은 반도체를 p형이라 부른다.

반도체검출기로서 널리 사용되는 Si이나 Ge은 탄소족 원자로서 원자가는 4, 가전자가 4개 존재하고 있다. 이것에 P, As, Sb, Li 등

5가원자를 불순물로서 혼입시키면, 가전자가 1개 많아지므로 n형반도체로 되고, 이와 같은 불순물을 도너(donor)라 부른다. 이에 대하여 B, Al, Ga, In 등 3가원자를 불순물로서 혼입시킨 경우는, 정공이 미리 존재하고 있는 상태이기 때문에, p형반도체가 되어, 이와 같은 불순물을 악셉터(acceptor)라 부른다.

반도체검출기의 경우는 미소한 에너지를 검출하기 때문에 잡음전류를 적게 할 필요가 있으므로 저온에서 사용해야 한다. 그러나 불순물에 기인하는 것은 이것으로는 감소시킬 수 없으므로 ①p형반도체에는 도너를, n형반도체에는 악셉터를 첨가시켜 과잉정공 또는 전자를 보상하여 진성영역을 만들거나 ②반도체의 어느 면을 경계로 하여 한쪽이 p형, 다른 쪽이 n형이 되도록 p−n접합형을 만드는 방법을 취한다.

①의 경우, p형에 도너를 주입하여 만든 반도체를 n^+-i-p형, n형에 악셉터를 주입하여 만든 반도체를 n^+-i-n형으로 나타낸다.

한편, ②의 경우는 그림15와 같이 p−n형 반도체의 p형쪽에 마이너스, n형쪽에 플러스의 역전압을 걸어주면, 정공과 전자는 각각 전극으로 끌어가기 때문에, 운반자가 거의 없는 영역, 즉 공핍층(空乏層)이 생겨, 이것으로 불순물에 의한 전류는 대폭 감소한다.

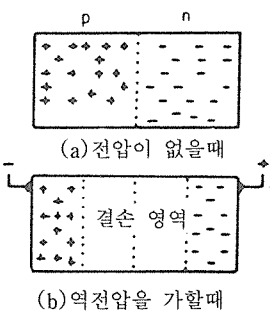


그림15. p-n접합형 반도체 검출기

현재 반도체검출기로서 이용되고 있는 것은 Si와 Ge를 사용한 것이 대부분이며, 이들은 제조법에 따라 확산접합형, 표면장벽형 및 Li드리프트형으로 나눠진다.

4. 2 擴散接合型半導體檢出器

Si의 p^+-n형 확산접합형반도체검출기의 개략구조를 그림16에 나타낸다.

공핍층의 두께는 p^+-n형과 n^+-p형과는 다르며 Si의 경우 각각 다음 식으로 주어진다.

$$p^+-n\text{형} : D_n = 0.53\sqrt{\rho V}$$
$$n^+-p\text{형} : D_p = 0.32\sqrt{\rho V} \qquad (7)$$

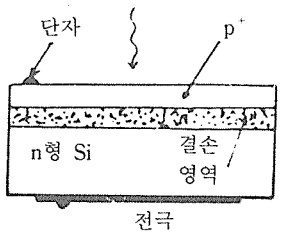


그림16. 확산 접합형(p^+-n형)

여기서 D_n, D_p는 μm로 나타낸 공핍층의 두께, ρ는 Si의 비저항(Ω · cm), V는 역전압이다.

공핍층의 두께는 (7)에서 알 수 있는 것과 같이 비저항, 역전압에 따라 증대하고 n형을 사용하는 쪽이 크다. 확산접합형의 경우, p^+층이 두꺼워지므로 이 영역에서 에너지손실이 커지기 때문에 현재 별로 사용하지 않는다.

4. 3 表面障壁型半導體檢出器

Si의 표면장벽(Surface Barrier)형반도체검출기의 개략구조를 그림17에 나타낸다. 표면장벽형은 원리적으로 확산접합형과 같은 p−n접합형이며, 다만 p층의 제조법이 다를 뿐이다. 제조법은 n형 Si를 에징(edging)하여 자연산화막을 형성시키고 이것에 Au을 증착시켜 전극으로 한다. 산화막은 고밀도의 정공을 갖는 p층으로 되고, 또 증착막의 두께는 40mg/㎠ 정도이기 때문에, 확산형과 비교하면, 입사창의 두께가 얇고 에너지손실은 적다.

표면장벽형의 경우, 공핍층의 두께는 2mm 정도이기 때문에, 측정대상이 되는 방사선은 거의 중하전입자이며, γ선의 에너지스펙트럼 측정에 널리 사용되고 있다. 참고로 Au 40

mg/cm²을 증착시킨 경우, 5MeV의 γ선에 의한 에너지손실은 10KeV정도이다.

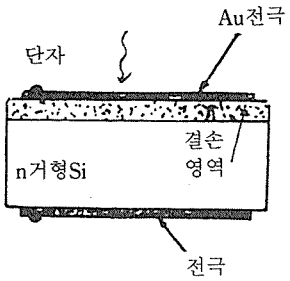


그림17. 표면 장벽형

4. 4 Li드리프트型半導體檢出器

Li드리프트(drift)형반도체검출기는 p형의 Si이나 Ge속에 Li을 고온에서 확산시키고, 만들어진 p−n접합체에 적당한 온도하에 높은 역바이어스전압을 걸어, Li이온을 드리프트시켜서 만든다. Li이온은 4가의 반도체결정속에서 매우 높은 이동도(易動度)를 가지며, 낮은 전리에너지를 갖는 단일전하의 도너원자로서 작용한다. 따라서 Li원자는 p형반도체물질속의 악셉터원자와 보상하여 공핍층을 형성한다.

Si(Li)와 Ge(Li)은 그 사용목적이 분명히 나눠져 있다. 그 이유는 다음과 같다.

γ선과 물질과의 상호작용에서 광전단면적은 Z^5에 따라 급격히 증가하는데 대하여, 컴프턴단면적은 Z에 비례하고 있으므로 광전단면적과 컴프턴단면적과의 비는 Z^4으로 된다. 이 비는 Si이 Z=14, Ge이 Z=32이므로, Ge쪽이 27배가 되어 전에너지흡수의 광전피이크는 커진다. 일반적으로 γ선의 에너지측정에서 컴프턴산란은 측정된 스펙트럼에 컴프턴백그라운드로 기여하여 신호와 잡음의 비를 악화시켜, 저에너지쪽의 피이크에 방해를 준다. 따라서 Ge(Li)은 광범위의 에너지에 걸쳐 우수한 분해능을 나타낸다.

이에 대하여 Si(Li)은 중간에너지에서 컴프턴과정이 지배적이기 때문에, γ선의 검출에는 불리하지만, 100KeV이하의 X, γ선 및 전자선의 측정에는 적합하다.

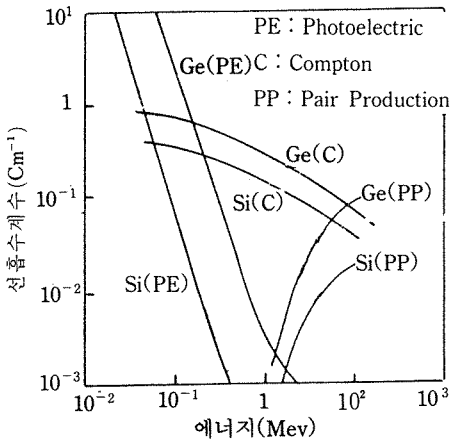
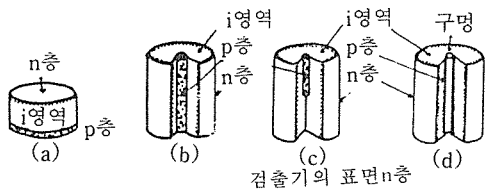


그림18. Si과 Ge의 γ선 에너지와 선흡수 계수



(a) 플래이너형 (c) 일단 개방 동축형
(b) 양단개방 동축형 (d) 중공 동축형

그림19. Ge(Li)검출기의 여러가지 구조

그림18에 Si와 Ge의 광자에 대한 단면적을 나타낸다.

Ge(Li)검출기로 γ선을 측정하는 경우, 검출효율을 높이고, 전에너지흡수피이크가 우세한 스펙트럼을 얻기 위해서는 검출기의 유효체적을 되도록이면 크게 할 필요가 있다. Ge(Li)검출기의 주요한 구조를 그림19에 나타낸다. (a)의 플레이너(planar)형은 유감i층의 체적을 크게 할 수 없는 반면에, 평행평판형 전극이기 때문에 전장이 일정하여 펄스파형이 가지런히 정돈되어 우수한 시간분해능을 갖는다. 이에 대하여 (b)~(d)는 동축형이라 부르고, 원주형 Ge결정의 측면에서 Li을 드리프트시키기 때문에, 측면이 n^+층, 중심이 p층으로 되어 유감층의 체적을 크게 할 수 있다. 현재로서는 직경 ~50mm, 높이 75mm, 140cm³까지의 제작품이 있어서, 검출효율의 증대와 함께, NaI(Tl)에 대신하여 많이 사용하게 되

었다. (b)의 양단개방형은 플레이너형 정도는 아니지만 전계의 흐트러짐은 적다. (c)의 일단개방형은 전계의 흐트러짐이 커서 시간분해등이 나빠지기 때문에 동시계수법 등에는 부적당하다. (d)의 중공동축형은 중심인 p층의 불요부분을 없애고 공간으로 만든 것이며, p심에 의한 컴프턴산란을 감소시키는 동시에 이 부분에 시료를 넣어서 기하학적 검출효율을 높힌 것이다.

4. 5 半導體檢出器의 에너지分解能

반도체검출기가 널리 사용되고 있는 것은 파고분석기가 소형화, 고성능화된 이유도 있지만, 무엇이라 해도 에너지분해능이 다른 검출기와 비교하면 두드러지게 우수하다는 점에 있다.

특정에너지를 갖는 방사선이 검출기속에서 그 에너지를 모두 잃는다면, 얻어지는 스펙트럼은 원리적으로는 선스펙트럼으로 나타날 것이다. 그러나 실제로는 검출기의 종류, 특성 및 계측계 등에 따라 선스펙트럼보다도 폭을 갖는 스펙트럼으로 나타난다.

이 선스펙트럼의 폭이 좁을수록 에너지분해능이 좋기 때문에 이것을 표시하기 위하여 피이크의 최대계수율이 반이 되는 곳의 에너지폭을 △E로 나타내고, 이것을 반치폭 또는 FWHM(Full width at half maximum)라 부른다. 앞에서 언급한 전리함이나 후에 언급할 신틸레이션검출기의 경우는 피이크에 대응하는 에너지와 △E와의 상대치로서 %로 나타내지만, 반도체검출기에서는 KeV의 에너지단위로 나타낸다.

스펙트럼이 폭을 갖는 이유는 ①전치증폭기 등 측정계의 잡음, ②검출기의 정상전류, ③전자와 정공의 성장과 수집에 있어서의 통계적 요동 등 세가지를 들 수 있다. ①에 대해서는 설명을 생략하고, ②는 10^{-10}A 이하면 문제시 되지 않는다. ③이 기본적인 원인이면 이것을 Ge(Li)검출기를 예로서 기술한다.

에너지 E의 방사선에 의하여 검출기속에 생성되는 전자·정공쌍수 N의 분포는 프아송(Poisson)분포에 따른다면, 그 분산 σ^2은

$$\sigma^2 = N \tag{8}$$

로 주어진다. 그러나 전에너지흡수피이크에서는, 개개의 방사선은 그 전에너지를 검출기속에서 잃었다는 상관관계가 있기 때문에, 단순한 프아송분포로 되지 않는다. Fano는 기체전리함에 대한 전에너지흡수피이크가 프아송분포보다도 좁다는 것을 이론적으로 증명하였는데, 이것을 반도체검출기에도 적용할 수 있어서, σ^2은

$$\sigma^2 = FN \tag{9}$$

로 나타낼 수 있다. 여기서 F는 1보다 적고 Fano계수라 부르며 검출기의 고유치이다. 이것을 이용하면 분포의 폭을 나타내는 표준편차는 다음 식으로 주어진다.

$$\sigma = \sqrt{\frac{FE}{\varepsilon}} \tag{10}$$

(10)식은 전자·정공쌍의 수로서 폭을 나타내고 있으므로, 이것을 에너지로 나타내면

$$\sigma = \sqrt{FN\varepsilon} \tag{11}$$

로 되어, FWHM과의 관계식은 다음과 같다.

$$FWHM = 2.355\sigma = 2.355\sqrt{FN\varepsilon} \tag{12}$$

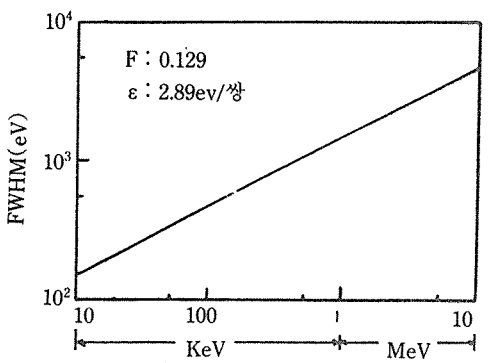


그림20.Ge(Li)검출기에 대한 FWHM과 광자에너지의 관계

Ge(Li)에 F치로서 0.129, 0.15, 0.3 등이 보고되어 있으며, Si(Li)에 대해서는 0.13, 0.2 등이 보고되어 있다. Ge(Li)에 대하여 F=0.129, ε=2.98eV일때의 γ선에너지와 FWHM과의 관계를 그림20에 나타낸다.

현재 제작되고 있는 반도체검출기의 에너지분해능은 일단개방형Ge(Li)에서^{60}Co의 1.332 MeV γ선에 대하여 1.8KeV, Si(Li)는 Fe Kα-X선의 6.40KeV에 대하여 180eV, 표면장벽형Si검출기는 ^{241}Am의 5.48MeV α선에 대하여 9KeV등이 보고되어 있다.

4. 6 半導體檢出器의 檢出効率

검출효율에는 선원으로부터 방출된 모든 방사선에 대한 검출효율 η_{ab}와, 검출기에 입사한 방사선에 대한 검출효율 η_{int}가 있으며, 기하학적효율을 η_g라 하면

$$\eta_{ab}=\eta_{int}\cdot\eta_g \qquad (13)$$

의 관계가 있다. 여기에서는 η_{int}에 대하여 기술한다.

(1) 하전입자에 대한 검출효율

하전입자의 비정이 검출기의 유감층 두께보다 짧을 때는, 산란으로 검출기바깥으로 도망쳐 버린 입자를 제외하면 전에너지를 흡수하기 때문에, η_{int}는 100%로 된다. 따라서 여기서 문제시되는 것은 검출기의 하전입자 비정과 에너지의 관계이다. 하전입자의 측정에는 Si이 많이 이용되는데 Si으로 얻을 수 있는 공핍층의 두께는 기껏해서 2mm정도이므로 이것에 대응하는 에너지는 전자는 1.15MeV, 양자는 17.5MeV, α선은 70MeV이다. 이 이상의 에너지를 갖는 하전입자에 대해서는 Si(Li)가 사용된다. 그림21에 Si속의 하전입자 비정과 에너지를 나타낸다.

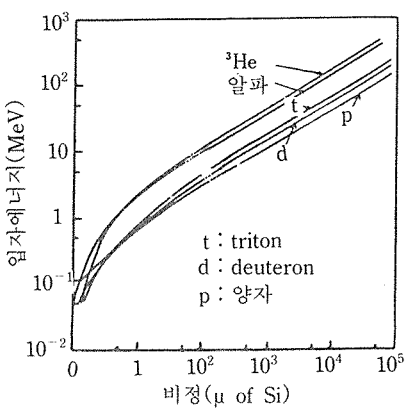


그림21. Si내의 하전입자의 에너지와 비정

(2) 광자에 대한 검출효율

광자의 에너지스펙트럼을 측정하여 핵종의 정성, 정량을 하는 경우는 그 전에너지흡수피이크의 계수치로부터 구한다. 따라서 광자에 대한 효율은 전에너지흡수피이크효율 η_{FEP}가 이용된다.

전술한 바와 같이 광전단면적은 Z_5으로 증대하기 때문에, 저원자번호의 검출기는 η_{int}뿐만 아니라 전계수치속에 점유하는 전에너지흡수피이크의 계수치 비율 $R_{P/T}$도 작으며, 따라서 η_{FEP}도 작다.

또 $R_{P/T}$는 광자에너지가 증대함에 따라 감소한다는 것이 알려져 있다. 그 모양을 Ge(Li)을 예로서 나타낸 것이 그림22이다. 그림의 계산치는 Ge의 전단면적에 대한 광전효과의 단면적 비에서 구한 것으로서, 계산치보다 실험치가 큰 것은 광자에너지가 높아지면 검출기속에서 다중컴프턴산란으로 전에너지흡수피이크가 증대하기 때문이다. 이 효과는 검출기의 유효면적이 증대함에 따라 커진다.

Ge(Li)검출기의 검출효율을 나타내는데, 선원과 검출기의 거리를 25cm로 하고, ^{60}Co의

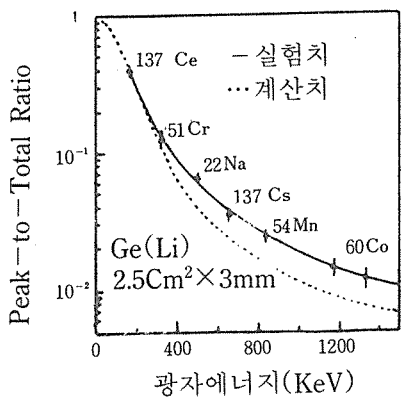


그림22.Ge(Li)의 Peak-to-Total Ratio의 실험치와 계산치의 비교

1.332MeV γ선에 대한 절대 전에너지흡수피이크효율 $\eta_{FEP \cdot ab}$가 이용된다. 또는 (3in 직경)×(3in 높이)의 NaI(Tl)신틸레이터가 25cm 떨어진 곳의 효율에 대한 Ge(Li)의 $\eta_{FEP \cdot ab}$비율, 즉 NaI(Tl)에 대한 상대적효율을 이용한다.

이와 같이, 반도체검출효율에는 여러 인자가 관여하여 있고 복잡하다. 현재 Ge(Li)검출기에서 상대효율이 35%정도의 것도 있다.

祝 入 會

개 인 회 원

No.	성 명	소 속	가입일자
1	이 철 홍	현대정공(주)	'90. 1. 11
2	최 웅 규	한국비료공업(주)	'90. 3. 2
3	서 경 줄	(주) 경안실업	'90. 3. 29
4	한 성 식	삼영검사 Engineering	'90. 5. 15
5	남 현 우	경희대학교	'90. 5. 15
6	이 준 형	남신산업(주)	'90. 5. 22

방사성동위원소 수출입신고 수행실적(총괄)

('90. 01. '1 – '90. 03. 31)

구 분	접 수	처 리	보 안	폐 기	합 계	누 계
방사성동위원소등수입신고	395	390	–	5	390	390
방사성동위원소등수출신고	4	4	–	–	4	4
용 도 확 인	37	37	–	–	37	37
반 출 확 인	3	3	–	–	3	3
기 타	6	6	–	–	6	6
합 계	445	440	–	5	440	440
누 계	445	440	–	5	440	440

(주) 기타는 규제대상 확인 품목임.