2003 추계학술발표회 논문집
한국원자력학회

# GM 검출기의 불감시간 결정

# Determination of Dead Time for a GM Counter

이종희, 박창수, 김인중, 최희동

서울대학교
서울특별시 관악구 신림동 산56-1

## 요 약

GM 검출기의 계수율 조건에 따른 계수 특성을 조사하고 decaying source 기법과 oscilloscope method을 이용하여 불감시간을 측정하였다. Decaying source로는 $^{56}$Mn을 선택하였고, 망간을 중성자로 조사시켜 제작하였다. 계수율 측정은 고정된 선원-검출기간 거리에서 3200 분 동안 수행하였다. Decaying source 기법에 의한 불감시간은 시간에 따른 계수율 측정 결과에 대해서 paralyzable 모델과 hybrid 모델로부터 유도된 fitting 식을 적용하여 결정하였다. 또한, oscilloscope method를 이용하여 discrimination level에 따른 불감시간을 사진 판독을 통하여 결정하였다.

## Abstract

The counting characterisitics of GM counter dependent on count rate condition was investigated and the dead time was measured by using the decaying source method and oscilloscope method. $^{56}$Mn was chosen as a decaying source and prepared by irradiating manganese by a neutron beam. The count rate was measured at fixed source-to-detector distances for 3200 minitues. The dead time was determined by fitting the measured count rate with the fitting formulas derived from the paralyzable model and the hybrid model. Also, the dead time was determined by oscilloscope method with picture-reading according to the changing discrimination level.

## 1. 서 론

GM 검출기는 안정적인 동작 특성, 단순한 계통 구성 및 용이한 조작, 저렴한 가격 등으로 인해, 환경 방사능 측정, survey meter로 널리 이용되고 있다. 그러나 GM 검출기는 방사선 분광이 불가능하고 고방사선 구역에서 사용이 제한된다[1]. 고방사선 구역에서의 사용은 고계수율 환경에

서의 GM 검출기의 동작 특성과 적절한 불감시간 결정을 통해 보정이 가능하다[2,3].

## 2. 불감시간 결정방법

불감시간이란 검출기나 계수회로에서 서로 다른 두 개의 사건에 의한 신호를 개별 신호로서 검출할 수 있는 최소한의 시간 간격을 의미하며 분해시간이라고도 한다. 방사선 계측에서는 선원의 방사성 붕괴의 무작위성으로 인하여 두 개 이상의 사건이 불감시간보다 작은 시간 간격 이내에 발생할 확률이 존재하게 되며, 이에 따라 본질적으로 누락되는 계수가 발생하게 된다. GM 검출기에서의 불감시간은 전자에 비해 상대적으로 이동 속도가 느린 양이온의 공간전하에 의해 발생한다. 생성된 공간전하는 전극의 전위를 thereshold voltage 이하로 낮추고, 인가전압이 충분히 회복되기까지 방사선이 입사하더라도 측정을 할 수 없게 된다[1].

방사선 계측분야에서 불감시간 결정을 위하여 사용하고 있는 방법은 장치를 이용한 결정과 해석모델을 이용한 결정으로 나눌 수 있다. 장치를 이용한 결정 방법에는 live time clock method, pulser method, oscilloscope method 등이 있다[4]. 이들 방법은 짧은 측정시간에 간편하게 불감시간을 결정할 수 있지만, 관련 장치의 회로를 별도로 구성해야 하고 구성에 있어서도 고가의 정밀 소자를 사용해야만 한다.

방사선 계측에서 불감시간을 해석하는 기본 모델로는 one parameter인 non-paralyzable 모델과 paralyzable 모델, two parameter인 hybrid 모델이 있다[2,3]. Non-paralyzable 모델은 검출기 내에서 방사선이 상호작용을 일으켜 하나의 펄스가 생성된 후 고정된 시간 $\tau_n$동안 펄스가 생성되지 못하고 $\tau_n$이 지난 후에야 다시 펄스가 생성되어 계수가 이루어지는 불감시간 해석 모델이다[1,5]. Non-paralyzable 모델에서의 observed count rate와 true count rate 사이의 관계는 다음과 같다.

$$m = \frac{n}{1 + n\tau_n} \tag{1}$$

여기서 m은 observed count rate, n은 true count rate, $\tau_n$은 non-paralyzable 불감시간이다.

Paralyzable 모델은 검출기 내에서 일어나는 모든 방사선의 상호 작용에 대해 $\tau_p$만큼의 불감시간이 적용되어, 검출기가 불감되어 있는 시간동안 다른 상호 작용이 일어나면 검출기의 불감 상태가 다시 $\tau_p$만큼 연장되는 모델이다[1,5]. Paralyzable 모델에서의 observed count rate와 true count rate 사이의 관계는 각각 다음과 같다.

$$m = ne^{-n\tau_p} \tag{2}$$

여기서 $\tau_p$는 paralyzable 불감시간이다.

Hybrid 모델은 GM 검출기에서 최초의 펄스가 생성된 후 후속 펄스가 생성되기까지의 시간을 non-paralyzable 불감시간으로, 생성된 후속 펄스가 discrimination level까지 발달하는데 필요한 시간을 paralyzable 불감시간으로 나타낸 모델이다[3]. Hybrid 모델에서의 observed count rate와 true count rate 사이의 관계는 각각 다음과 같다.

$$m = \frac{n \exp(-n\tau_p)}{1 + n\tau_n} \tag{3}$$

여기서 $\tau_n$은 non-paralyzable 불감시간, $\tau_p$은 paralyzable 불감시간이다. Hybrid 모델(hybrid review)은 paralyzable dead period의 기대치를 유도하는 방법에 따라서는 다음과 같은 근사적 형태로 표기될 수도 있다[6,7].

$$m = \frac{n \exp(-n\tau_p)}{1 + n[\tau_n - \tau_p \exp(-n\tau_p)]} \tag{4}$$

그림 1에서 initial true count rate가 3,000,000 counts/min인 $^{56}$Mn 선원에 대해 paralyzable, non-paralyzabel, hybrid model의 불감시간을 변화시켜 가면서 각 모델의 측정 경향을 모사하였다. 그림에서 검출기의 불감시간이 클수록 각 모델의 특성이 분명하게 나타나고 hybrid 모델의 경우에는 paralyzable과 non-paralyzable 모델의 결합적인 특성을 나타낸다.

### 3. 해석 모델에 의한 불감시간 결정

불감시간을 해석 모델로 결정하기 위해서는 실제 사건의 발생 과정에 대한 본질적 특성의 형태가 알려진 경우에만 해석 모델이 수학적으로 완전히 설명될 수 있다는 한계가 존재하며, 실제로 관측된 계수율의 거동이 단일한 모델만을 적용하기 어려운 경우가 많다. 이러한 문제를 해결하기 위해서는 임의의 계수회로에 적용이 가능할 수 있는 일반화한 모델에 대한 연구가 필요하다[5-7]. 해석 모델에 의한 불감시간 결정을 위해 decaying source method를 사용하였으며, 실험 장치는 그림 2와 같이 end window형 GM tube, scaler, digital timer, MCS(multi-channel scaler)로 구성하였다. GM tube 출력단과 MCS 입력단의 impedance matching을 위해 preamp를 사용하였다. MCS의 discrimination level은 -50 mV, 전체 측정 시간은 3200 min, 개별 측정 간격은 1 min으로 설정하였다.

Decaying source method는 반감기가 정확히 알려진 선원을 고정된 위치에 두고 시간이 경과함에 따라 선원의 방사능이 감소하여 계수율이 감소하는 현상을 이용한 방법이다. 이 방법은 반감기가 적절히 짧은 선원이 필수적으로 요구되고 측정 시간이 오래 걸리게 된다. 그러나 다양한 계수율 영역에서 측정을 수행할 수 있기 때문에 불감시간 모델의 정당성 평가를 위해 자주 사용되는 방법이다[2,3]. 반감기가 짧은 선원의 측정에서 방사능 감소에 따른 true count rate는 다음과

같이 나타낼 수 있다.

$$n(t) = n_0 e^{-\lambda t} + n_{BG} \quad (5)$$

여기서 $n_0$는 initial true count rate, λ는 붕괴상수, t는 기준 시점으로부터 경과시간, $n_{BG}$는 백그라운드 계수율을 나타낸다. Decaying source로는 $^{56}$Mn 선원을 선택하였다. 이 선원은 $^{55}$Mn를 중성자에 조사시켜 제작하며 $^{55}$Mn의 열중성자 흡수 단면적이 13.3 barn으로 높은 편이고, 반감기가 2.578 hours이므로 충분한 방사능 확보 및 적당한 반감기 조건을 모두 충족한다. 망간에 대한 중성자 조사는 한국원자력연구소 하나로의 ST 1공에서 수행되었다. 사용된 망간은 두께가 1.5 mm, 질량이 41.8 mg이고 Teflon sheet에 접착하여 $9\times10^9$ n/cm$^2$s의 열중성자속에서 1 시간 동안 조사시켰다. 그림 3은 시간의 경과에 따른 측정 계수율과 (5)식에 의해 유도된 참계수율을 나타내었다. 그림 3에서 initial true count rate와 백그라운드를 least square fitting을 통하여 구하였고, 그 값은 initial count rate가 3,061,700±9,400 counts/min, 백그라운드가 19.2±0.4 counts/min이다.

불감시간 결정은 측정값에 각각의 모델을 fitting하여 구하였고, 그림 4 6에 나타내었다. Fitting 결과는 true count rate가 $4.8\times10^4$ counts/min 이하인 영역에서 모든 모델이 observed count rate와 일치하고 있다. Paralyzable 모델은 불감시간이 580±1 μsec로 $3\times10^5$ counts/min인 영역까지 10% 범위 안에서 일치하고 있다. Hybrid 모델은 $4.4\times10^5$ counts/min인 영역까지 paralyzable 불감시간이 359±1 μsec, nonparalyzable 불감시간이 355±2 μsec로 10% 범위 안에서 일치한다. Hybrid review 모델은 $6.6\times10^5$ counts/min인 영역까지 paralyzable 불감시간이 311±1 μsec, nonparalyzable 불감시간이 600±1 μsec로 10% 범위 안에서 일치한다.

#### 4. Oscilloscope method에 의한 불감시간 결정

장치를 이용한 불감시간 결정법의 하나인 oscilloscope method는 oscilloscope 화면에 보여지는 연속된 펄스의 최소 시간 간격을 측정함으로써 불감시간을 결정하는 방법이다[8]. 이 방법은 계수조건에 따른 계수 특성과 불감시간을 간편히 관찰할 수 있으나 불감시간 결정에 관측자의 자의성이 반영될 가능성이 높으므로 신뢰성이 낮다. 하지만 신뢰성이 어느 정도 확보될 수 있다면 불감시간을 결정하는 방법중 가장 편리하고 바람직한 방법이다. 그림 7에서 oscilloscope method를 이용하여 결정한 불감시간을 나타내었다. 불감시간은 최초의 펄스가 생성된 후 후속 펄스가 생성되기까지의 시간을 non-paralyzable 불감시간으로, 생성된 후속 펄스가 discrimination level까지 발달하는데 필요한 시간을 paralyzable 불감시간으로 나누어 관찰하였다. Non-paralyzable 불감시간은 500 cps일 때 180±10 μsec, 30,000 cps일 때 80±10 μsec로 true count rate가 증가할수록 감소하는 경향을 보였고, paralyzable 불감시간은 discrimination level이 -30 mV일 때 100±20 μsec로 일정하였으나 -50 mV일 때는 500 cps에서 190±10 μsec, 30,000 cps에서 440±10 μsec로, -70 mV일 때는 500 cps에서 330±10 μsec, 30,000 cps에서 900±10 μsec로 증가하였다. 그

림 8은 계수 조건에 따른 GM 검출기의 불감시간 형상을 나타내었는데 true count rate가 높아질수록 펄스의 높이가 낮아지고 연쇄적으로 발생되는 고차의 펄스들에 의해 복잡한 형상을 보인다.

## 5. 결 론

GM 검출기의 불감시간을 decaying source method와 oscilloscope method를 이용하여 측정하였다. 불감시간 해석 모델을 이용하여 observed count rate의 시간에 따른 감소 현상을 기술하고, 이를 측정 결과에 적용하여 fitting을 통해 불감시간을 결정하였고 oscilloscope 사진 판독을 통해 이를 검증하였다. 고계수율에서 GM 검출기 내에서 실제로 발생되는 불감시간 형상은 paralyzable 이나 hybrid 모델에서 가정한 형상과는 크게 달랐다. 이는 기존의 모델로 GM 검출기의 불감시간을 결정하기에는 그 한계가 있음을 말하며, 실제 측정 결과에서도 해석 모델에 의한 불감시간 결정값과 oscilloscope method에 의한 값이 오차 한계 내에서 일치하지 않았다. 이를 해결하기 위해서는 고계수율에서의 불감시간 특성에 대한 관찰과 그 특성을 반영하는 해석 모델이 필요하다.

## 참고문헌


1. G.F. Knoll, “Radiation Detection and Measurement”, pp. 119 ~ 128, John Wily & Sons, New York, 2000.
2. R.P. Gardner and L. Liu, Appl. Radiat. Isot. 48 (1997) 1605.
3. R.P. Gardner and S.H. Lee, Appl. Radiat. Isot. 53 (2000) 731.
4. “A Handbook of Radioactivity Measurements Procedures”, National Council on Radiation Protection and Measurements, NCRP Report No. 58, 2nd ed., 60, Bethesda, MD, USA, 1985.
5. R.D. Evans, “The Atomic Nucleus”, pp.785 ~ 818, McGraw-Hill, New York, 1955.
6. J.W. Müller, Nucl. Instr. and Meth. 112 (1973) 47.
7. J.W. Müller, Nucl. Instr. and Meth. 117 (1974) 401.
8. H.G. Stever, Phys. Rev. 61 (1941) 38.

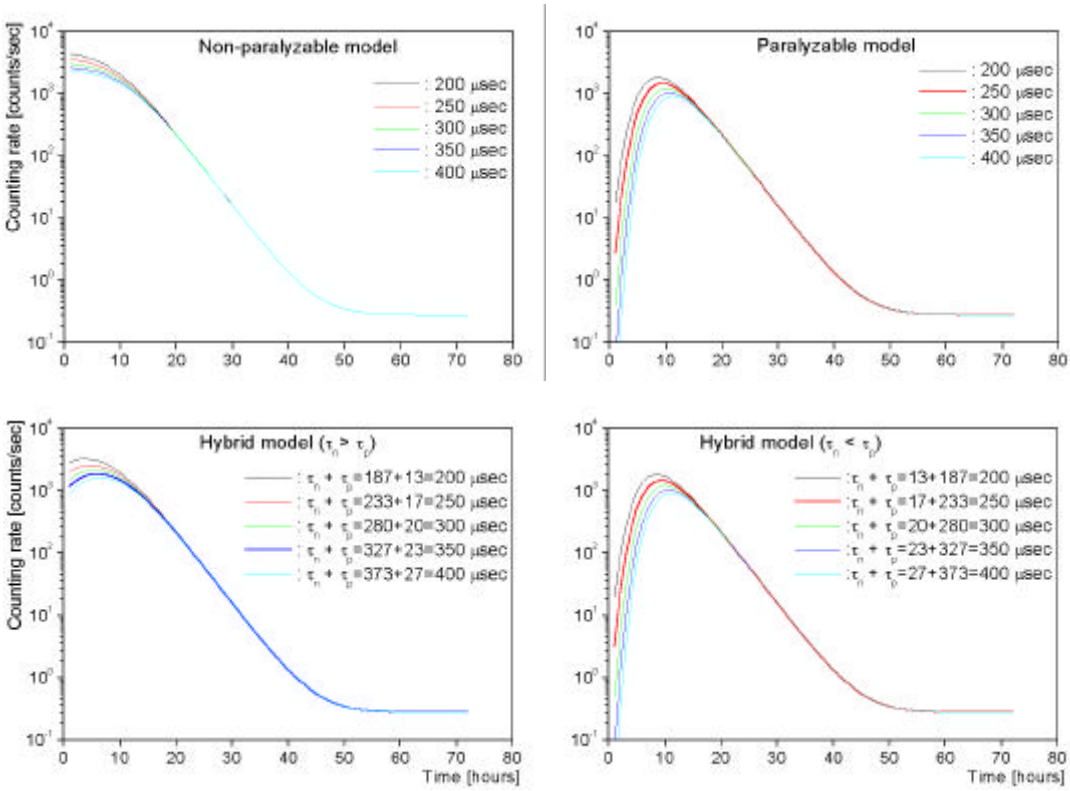


Fig. 1. The simulation results of dead time models at changing dead time.

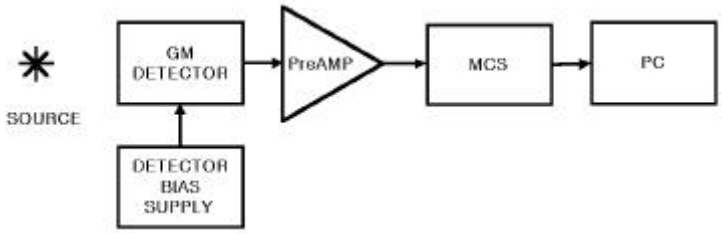


Fig. 2. Block diagram of decaying source method by using multichannel scaler. MCS dwell time is 1 min, discrimination level -50 mV.

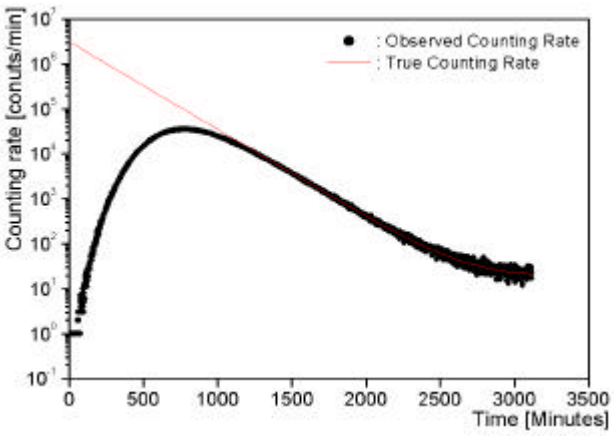


Fig. 3. The raw data of observed and derived true count rate by decaying source method.

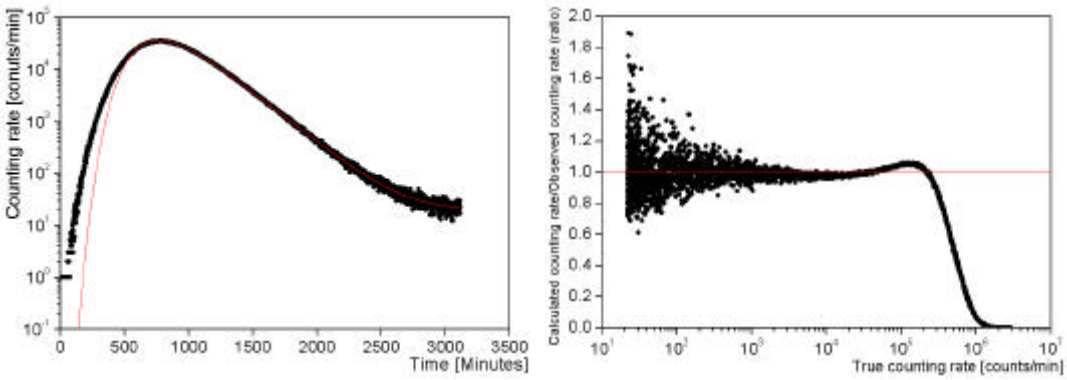


Fig. 4. The fitting result and calculated count rate determined by paralyzable model.

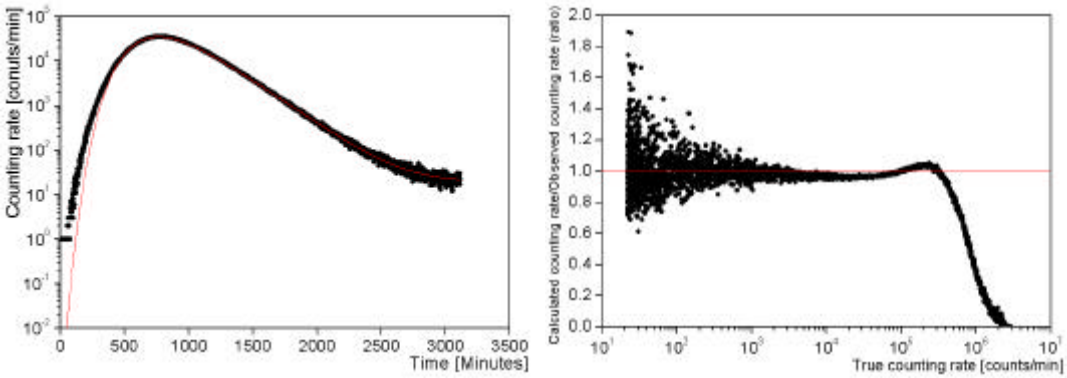


Fig. 5. The fitting result and calculated count rate determined by hybrid model.

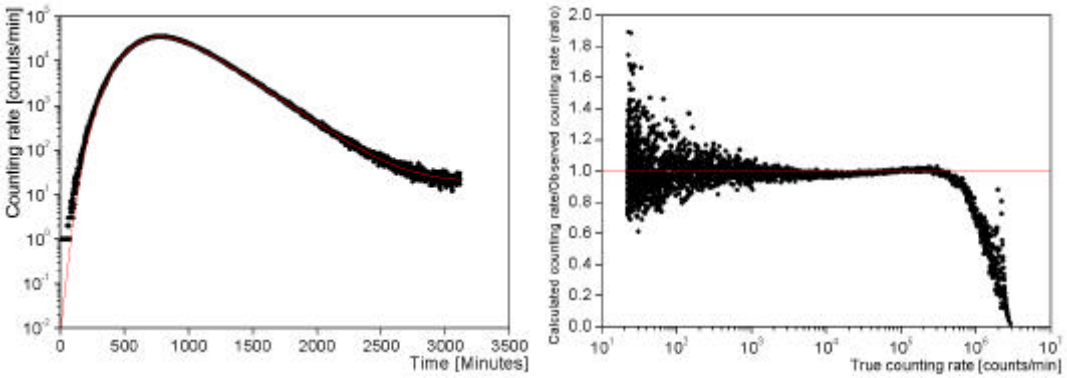


Fig. 6. The fitting result and calculated count rate determined by hybrid (review) model.

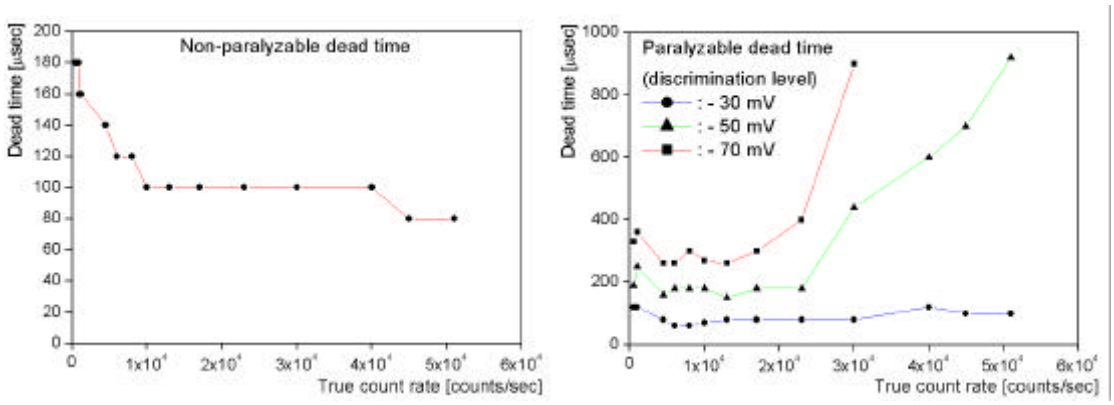


Fig. 7. The measured dead time by oscilloscope method.

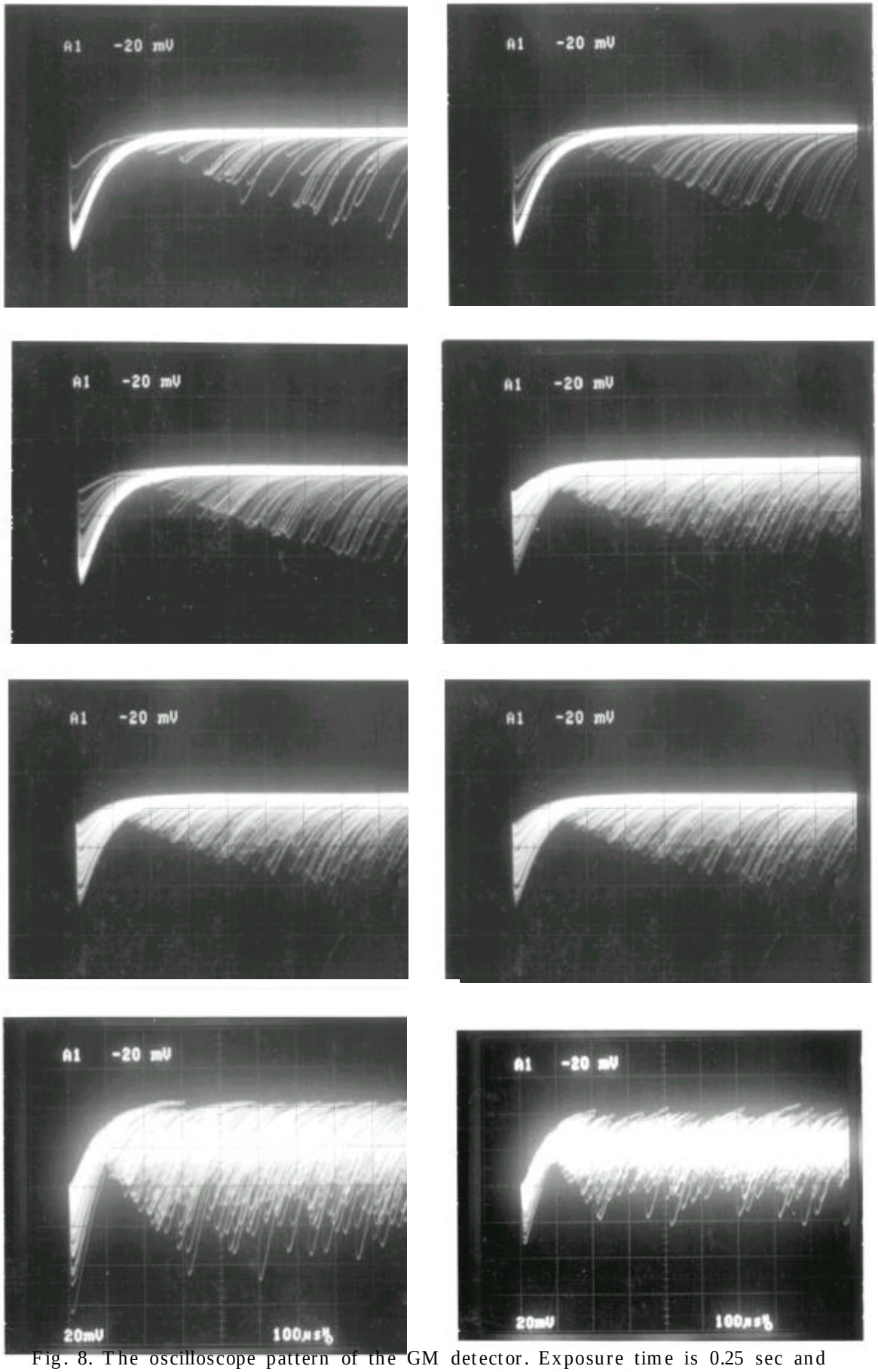


Fig. 8. The oscilloscope pattern of the GM detector. Exposure time is 0.25 sec and trigger level is -20 mV.