

PENGEMBANGAN SISTEM SPEKTROSKOPI NUKLIR MENGUNAKAN PHOTODIODA

Sri Mulyono Atmojo
PPNR- BATAN

ABSTRAK

PENGEMBANGAN SISTEM SPEKTROSKOPI NUKLIR MENGGUNAKAN PHOTODIODA. Telah dilakukan suatu studi perancangan photodiode sebagai komponen spektroskopi nuklir. Berdasar spesifikasi pokok: jangkauan panjang gelombang foton yang dapat diserap antara 400-1000 nm, arus photodiode 0.45 A/W, tegangan luaran 0.45 V/ μ W, frekuensi respon 4 kHz, rise time 90 μ sec. Dengan sifat ini diharapkan dapat menggantikan PMT sebagai komponen spektroskopi nuklir.

PENDAHULUAN

Beberapa peralatan spektroskopi nuklir yang telah digunakan umumnya menggunakan detektor isian gas sebagai transdusernya atau memanfaatkan pendar cahaya akibat eksitasi kristal dan meneruskannya ke tabung pengganda elektron (photo multiplier tube). Sistem peralatan ini tidak praktis, karena pada umumnya menggunakan catudaya tegangan tinggi yang diambil dari jala-jala listrik. Hal ini berakibat unit peralatan ini tidak portable dan bila menggunakan catu-daya dari battery akan boros. Pada tulisan ini dikemukakan suatu kemungkinan pemakaian photodiode sebagai transduser yang dapat memberikan informasi adanya radiasi. Informasi ini diperoleh dari pancaran foton cahaya yang terjadi akibat adanya interaksi radiasi dengan kristal yang digunakan sebagai transduser. Fungsi photodiode ini sama dengan fungsi tabung pengganda elektron pada sistem peralatan yang telah ada. Kalau tabung pengganda elektron menggunakan catudaya tegangan tinggi (HV) – DC, maka photodiode ini hanya menggunakan catudaya +12 Volt dan –12 Volt DC, sehingga dapat dioperasikan dengan battery.

LATAR BELAKANG TEORI

Tinjauan umum

Interaksi radiasi nuklir dengan materi dapat mengakibatkan proses eksitasi dan atau ionisasi. Pada proses ionisasi, pasangan elektron ion yang terjadi dapat memberikan informasi yang dapat dianalisa. Namun pada proses eksitasi, tidak bisa demikian. Proses kembalinya

atom atau molekul ke tingkat dasar akan memancarkan foton cahaya. Foton cahaya yang sampai pada photodiode, akan menyebabkan terjadinya pasangan elektron-lubang (electron-hole) sehingga mengakibatkan perubahan keefisien muatannya. Perubahan konsentrasi ini dapat dianalisa, sehingga dampak/efek radiasi dapat diketahui.

Sintilator

Secara umum sintilator dapat dikelompokkan dalam dua bagian yaitu sintilator organik dan sintilator inorganik. Mekanisme terjadinya foton cahaya pada kedua bahan ini sama, tetapi tenaga foton cahaya kedua bahan ini yang berbeda. Intensitas foton cahaya ini sebanding dengan tenaga radiasi yang datang.

Pada gambar 1 terlihat curva diagram tenaga potensial dari suatu proses pancaran cahaya. Bila suatu kristal ada pada keadaan tingkat dasar E, diiradiasi dengan suatu sumber radiasi, maka atom-atom kristal akan menyerap energi radiasi itu dan akan terangkat ke tingkat eksitasi E1 (dari titik A→B).

Pada waktu yang singkat atom-atom ini akan segera mengatur diri ke tingkat tenaga minimum yang baru, yaitu pada kondisi titik C dan seterusnya atom-atom akan kembali ke keadaan tingkat dasar D, dengan memancarkan foton cahaya dengan panjang gelombang tertentu.

Tabel 1 menunjukkan panjang gelombang maksimum yang dipancarkan dari beberapa jenis kristal. Pada tabel tersebut terlihat bahwa kristal CsI(Tl) mempunyai panjang gelombang terbesar dan waktu pancar terlama.

Keunggulan sifat ini merupakan hal yang cukup baik dalam menentukan pilihan kristal untuk dapat digabungkan dalam sistem yang akan dibuat yang disesuaikan dengan pemilihan jenis photodiode.

Photodiode

Pada gambar 3, terlihat bagian sistematika sederhana photodiode. Bila foton cahaya yang dipancarkan oleh kristal yang tereksitasi jatuh pada permukaan photodiode, maka pada diode akan timbul pasangan elektron-lubang (electron-hole), yang menyebabkan perubahan konsentrasi muatannya dan akhirnya konduktivitas-nyapun berubah. Dampak yang terlihat pada sistem adalah turunnya tegangan. Prinsip inilah yang dipakai sebagai dasar photodiode dapat digunakan sebagai detektor, yang sampai saat ini masih perlu dikembangkan lebih jauh.

KONSTRUKSI

Berdasar hal tersebut diatas, pada tulisan ini dikemukakan suatu studi kemungkinan penggantian detektor sintilasi PMT dengan detektor sintilasi dengan photodiode. Photodiode ini disebut pula sebagai photoconductive detector, karena prinsip pendeteksiannya berdasarkan perubahan tahanan dan konduktivitasnya akibat adanya foton cahaya yang jatuh pada permukaannya. Foton-foton dengan tenaga diatas energi-gapnya, akan diserap dan menghasilkan pasangan elektron-lubang dalam pita konduksi maupun pita valensi. Perubahan tegangan ditentukan oleh rapat pembangkitan pembawa muatan, yang dapat dinyatakan dengan persamaan sebagai berikut :

$$n = a \cdot I_0 \cdot t / E \quad \dots \dots \dots 1$$

dengan :

- a = koefisien absorpsi
- I₀ = intensitas berkas foton
- t = lifetime foton
- E = tenaga berkas foton

Bila V_o adalah catudaya, R_L tahanan luar yang dipasang dan R_{pc} adalah impedansi photodiode, maka drop tegangan dapat dituliskan sebagai berikut :

$$V_L = \frac{V_o R_L}{R_L + R_{pc}} \quad \dots \dots \dots 2$$

Sedangkan perubahan tegangan ini merupakan besaran dari perubahan berkas yang datang. Karena impedansi photodiode juga berubah dengan adanya perubahan berkas, maka persamaan (2) diatas dapat ditulis menjadi :

$$dV_L = \frac{-V_o R_L dR_{pc}}{(R_L + R_{pc})^2} \quad \dots \dots \dots 3$$

Berdasar prinsip-prinsip diatas, maka dipilih suatu photodiode tipe PIN yang telah dikemas dalam bentuk hybrid seperti terlihat pada gambar 4a-b. Photodiode ini juga merupakan suatu integrated circuit dari suatu opto-electronic yang terdiri dari suatu photodiode dan transimpedance amplifier yang merupakan suatu FET-input op-amp yang presisi dan suatu resistor film metal yang dikemas dalam suatu chip yang akan menghilangkan persoalan arus bocor, "noise" dan "peak-peak" yang disebabkan oleh kapasitansi yang jelek.

Permasalahan yang perlu diperhatikan dalam perencanaan antara lain adalah :

1. penggunaan high-impedance. Untuk keperluan ini perlu dipasang decoupling capasitor tertutup yang terletak pada kedua catudaya seperti terlihat pada gambar 4a. Hal ini juga untuk mempermudah pengaturan out-put zero volts dapat mencapai nol. Sedangkan untuk mengurangi arus bocor pada sistem dapat dipasang "guard-ring" yang ujung-ujungnya dihubungkan dengan non-inverting input pin 2 dan common pin 8.
2. permasalahan datangnya foton
3. cahaya. Arus photodiode I_o akan sebanding dengan flux foton (dalam Watt) yang jatuh pada photodiode. Berarti arah datangnya foton akan berpengaruh pada pembangkitan arus I_o. Pada halaman 10, terlihat curve besarnya pembangkitan arus dalam amper/watt yang disebabkan oleh foton dengan sudut datang tertentu versus panjang gelombang. Konstruksi detektor ini dibuat sedemikian sehingga foton yang diproduksi dapat jatuh kepermukaan photodiode dengan sudut kecil. Untuk foton yang dihasilkan oleh kristal CsI(Tl) dengan panjang gelombang sekitar 500 – 600 nm, dapat diperoleh arus kira-kira 0,43 A/W.

Selain itu dengan sistem feedback internal resistor sebesar 1 Mohm, dapat diperoleh tegangan out-put sebesar 0,3 V/mW. Besaran arus maupun tegangan sebesar ini cukup memberikan suatu informasi untuk dapat menganalisa radiasi yang datang. Konstruksi sistem spektroskopi dengan photodioda ini seperti tertera pada gambar 5. Ukuran akan jauh lebih kecil jika dibandingkan dengan sistem yang menggunakan PMT. Seperti pada PMT, disekeliling kristal CsI(Tl) diberi lapisan MgO sebagai pemantul foton cahaya. Dengan lapisan ini, pemantulan dapat mencapai 95%. Selain itu diantara kristal dan photodioda diberi lapisan grease-optis yang dapat melewatkan foton cahaya dengan baik. Dari kedua hal ini diharapkan semua foton cahaya dapat masuk pada permukaan photodioda. Catu daya +12 Volt dan -12 Volt yang stabil mudah dibuat, sehingga sistem spektroskopi dengan photodioda ini lebih menguntungkan.

PENUTUP

Dari pembahasan diatas dapat disimpulkan bahwa :

1. Photodioda dapat digunakan sebagai suatu peralatan spektroskopi nuklir.

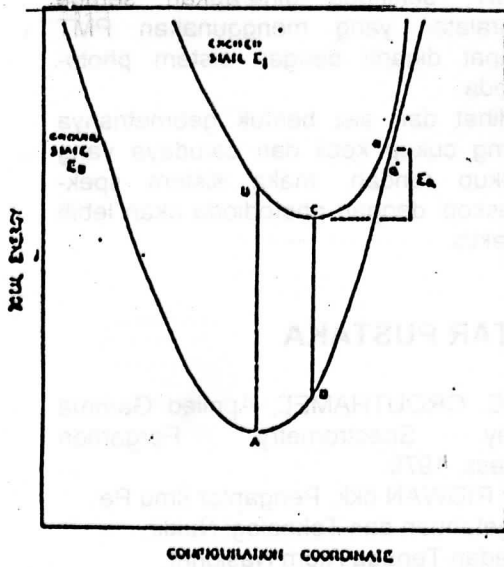
2. Sistem dapat menggantikan fungsi PMT, sehingga diharapkan semua peralatan yang menggunakan PMT dapat diganti dengan sistem photodioda.
3. Dilihat dari sisi bentuk geometrisnya yang cukup kecil dan catudaya yang cukup rendah, maka sistem spektroskopi dengan photodioda akan lebih praktis.

DAFTAR PUSTAKA

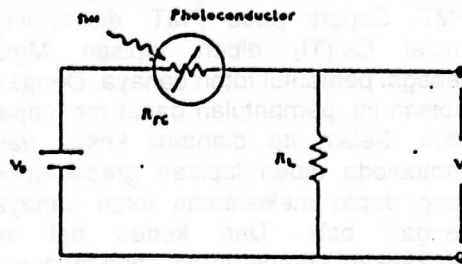
1. C.E. CROUTHAMEL, Applied Gamma Ray Spectrometry, Pergamon Press, 1970.
2. M. RIDWAN dkk. Pengantar Ilmu Pengetahuan dan Teknologi Nuklir, Badan Tenaga Atom Nasional, 1978.
3. NASSER PEYGHAMBARIAN, Introduction to Semiconductor Optics, Prentice Hall, 1993.
4. R.M.SINGRU, Introduction to Experimental Nuclear Physics Wiley Eastern, Private Limited, 1972.
5. BURR-BROWN, Burr-Brown Corporation, April 1993.
6. Nuclear Instruments to Methods in Physics Research, Elsevier, Volume 355, February 1995.

Tabel 1. Tabel beberapa sifat sintilator

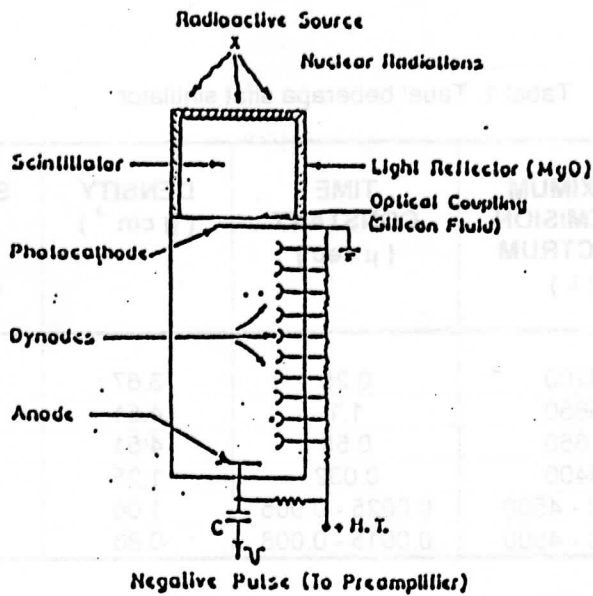
SCINTILLATOR	MAXIMUM OF EMISION SPECTRUM (λ)	TIME CONSTANT (μ sec)	DENSITY ($g\ cm^{-3}$)	SCINTILLATION EFFICIENCY RELATIVE TO ANTHRACENE
Nal (TI)	4200	0.25	3.67	2.1
CsI (TI)	5650	1.1	4.51	1.0
CsI (Na)	5650	0.65	4.51	1.75
Anthracene	4400	0.032	1.25	1.0
Plastics	3550 - 4500	0.0025 - 0.005	1.06	0.28 - 0.48
Liquit Scintill	3550 - 4500	0.0015 - 0.008	0.86	0.27 - 0.49



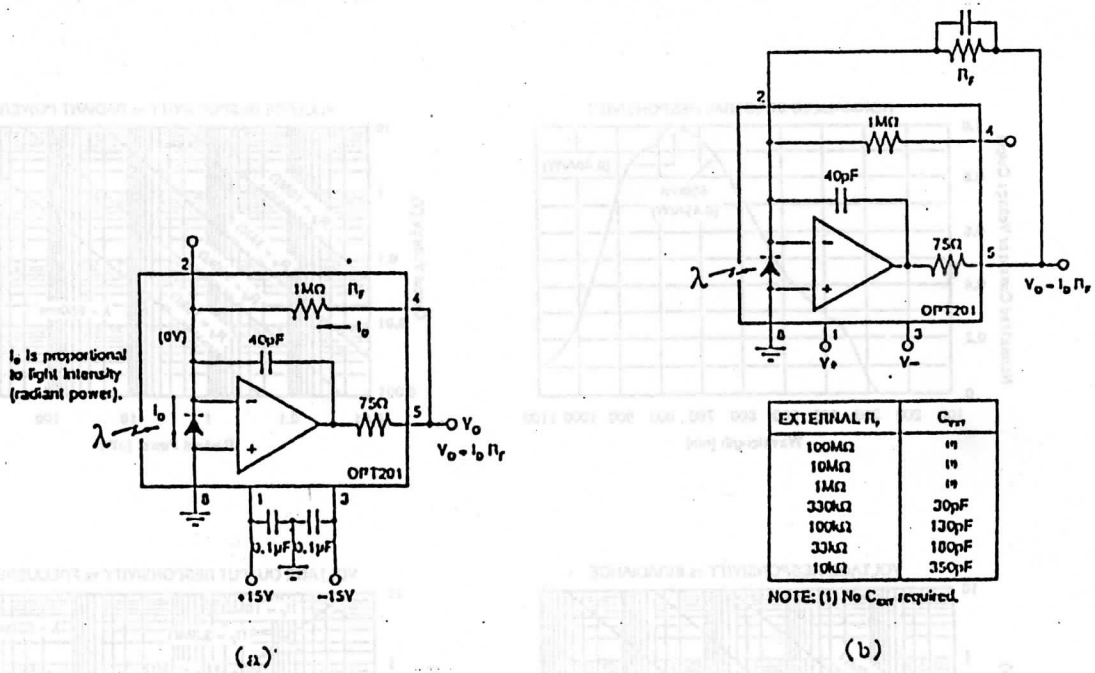
Gambar : 1. Mekanisme Proses Pelepasan Foton Cahaya



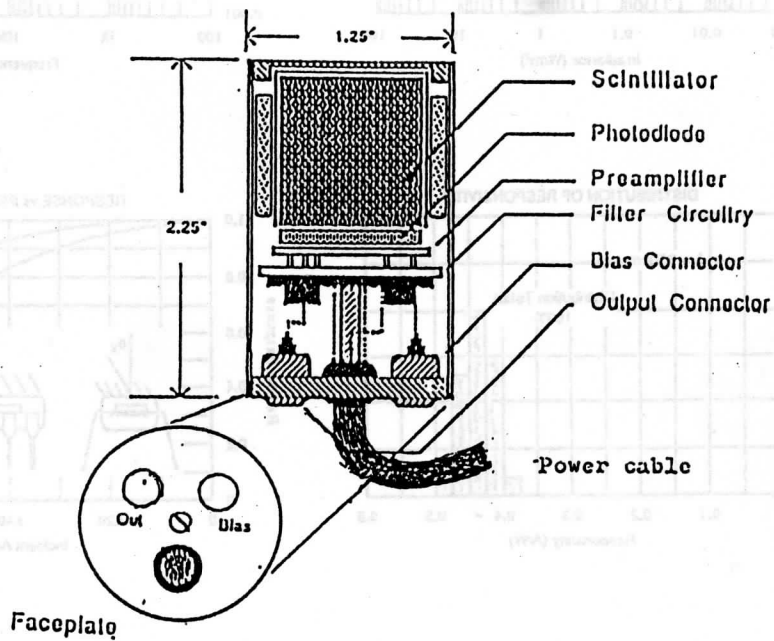
Gambar : 3. Bagan Sistematis Photodioda



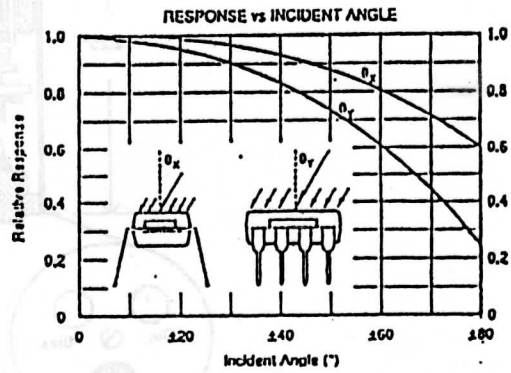
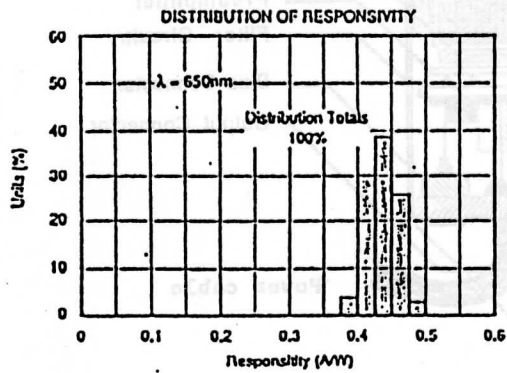
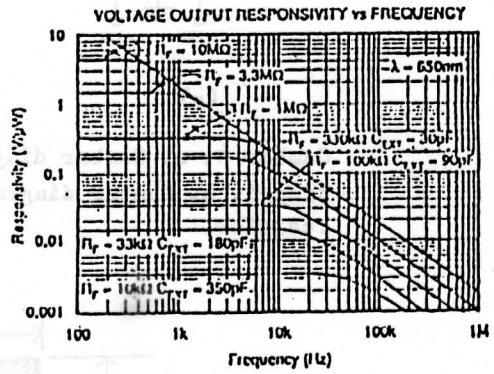
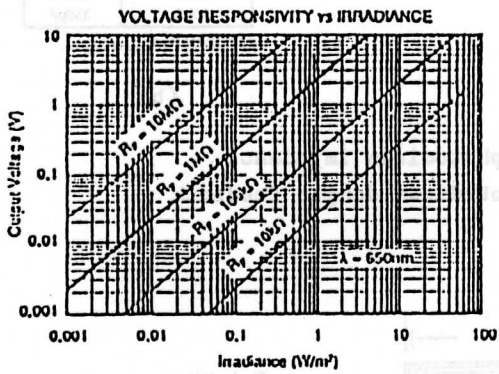
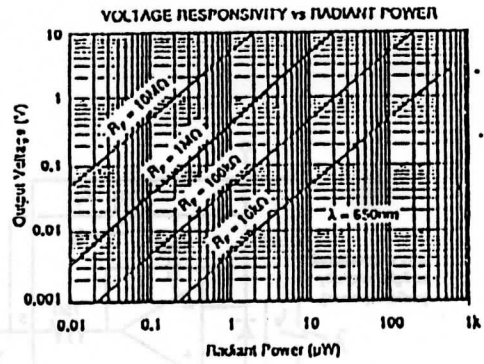
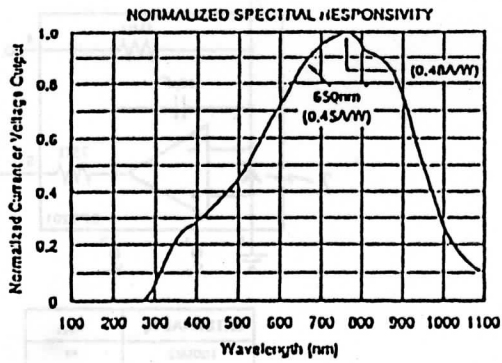
Gambar : 2. Bagan dari PMT



Gambar 4. a. Gambar diagram photodioda impedansi tinggi. b. Gambar diagram photodioda dengan feedback resistor.



Gambar 5. Gambar konstruksi photodioda untuk spektroskopi nuklir.



TYPICAL PERFORMANCE CURVES

At $T_A = +25^\circ\text{C}$, $V_b = \pm 15\text{V}$, $\lambda = 650\text{nm}$, unless otherwise noted.