

# Li drifted Ge 檢出器에 關해서

## (For the Li Drifted Germanium Detector)

咸 彰 植 \*

(Ham, Chang Sik)

### 要 約

이 報告는 처음에 Li drifted Ge 檢出器에 關해서 이 Li drifted Ge 檢出器에 依한 熱中性子로부터의  $Cl(n, \gamma)$  反應에서 생기는  $\gamma$ 線 스펙트로를 보여준다.

이 Li drifted Ge 檢出器의 에너지 分解能은  $^{57}Co$ 의 122KeV에서 4.5KeV,  $^{60}Co$ 의 1333KeV에서 10KeV이다.

### ABSTRACT

This report describes actual fabrication method of Li drifted Ge detector. The gamma-ray spectrum from  $Cl(n, \gamma)$  reaction measured by this Li drifted Ge detector are also shown.

Energy resolution(FWHM) of this Li drifted Ge detector is 4.5 KeV at the 122KeV ( $^{57}Co$ ), and 10KeV at the 1333KeV( $^{60}Co$ ) respectively.

### 1. 序 論

Li drifted Ge 檢出器의 開發은 그 良好한 에너지 分解能을 얻을 수 있는 것으로부터 核分光學의 研究에 크게 利用되어지게 되었다. 이 檢出器는 특히 最近의 (n,  $\gamma$ ) 反應으로부터 굉장히 有效한  $\gamma$ 線 스펙트로미터<sup>(1,2)</sup>로서 使用되고 있다.

從來의 (n,  $\gamma$ ) 反應의 研究에 使用되어진  $\gamma$ 線 스펙트로미터는 주로 거의 一定한 에너지 分解能(1~2%)을 갖는 電磁스펙트로미터<sup>(3,4)</sup>이었다. 이 스펙트로미터는 500KeV 以上の  $\gamma$ 線의 에너지를 測定하는 것으로서 이 以下の 에너지는 結晶回折 스펙트로미터<sup>(5)</sup>의 도움을 받지않으면 안 된다. 以上과 같은 스펙트로미터는 어떤것이든

지 效率이 낮기 때문에 ( $10^{-12}$ ) 大量(kg單位)의 試料가 必要하게 된다. 그러나 Li drifted Ge 檢出器는 거의 零으로부터 높은 에너지의  $\gamma$ 線測定이 可能하다. 그리고 gr單位의 試料로서 充分히 (n,  $\gamma$ )反應의 研究을 할 수 있으므로 크게 期待된다. 한편 NaI 스펙트로미터는 에너지 分解能 이 別로 좋지는 않으나 높은 效率을 가지고 있으므로 同時計數法에 依한 測定이 行해지고 있다. Li drifted Ge 檢出器의 製作에 關해서는 많은 研究者<sup>(7-11)</sup>들의 報告가 있으며 그크기 또한 1에서부터 30cm<sup>3</sup>에 達하고 있다. 以上の 檢出器의 에너지 分解能은 一般적으로 1MeV의  $\gamma$ 線 에너지에서 半值幅(FWHM)은 4KeV<sup>(9)</sup>이지만 FET의 使用에 依해서 그것을 2KeV까지 내릴수 있다. 이 檢出器의 效率은 NaI에 比해서 나쁘지만 今後의 同軸型 Li drifted Ge 檢出器의 開

\* 原子力研究所 電子工學研究室

(67. 11. 14 接受)

發에 依해 어느程度 改善될 것으로 生覺된다. 우리들은 지금까지 大型의 逆同時型 NaI 스펙트로미터를 使用해서 (n,  $\gamma$ ) 反應 研究를 하여 왔으나 그 分解能에 問題가 있으므로 Li drifted Ge 檢出器와의 組合에 依해서 研究를 繼續할 生覺이다. 여기에서는 Li drifted Ge 檢出器의 製作에 關해서 報告하며 이것은 使用해서 지금까지 測定되어 잘 알려져있는 Cl의 試料에 依한  $\gamma$ 線 스펙트로를 보여준다.

## 2. 檢出器의 製作

지금부터 報告되는 Li drifted Ge 檢出器의 製作에 關해서는 主로 Hansen과 Jarrett<sup>(9)</sup>의 方法에 基礎를 두고 行해졌다. Ge 素材\*는  $I_n$ 을 doped 한 p型 Zone levelled Crystal로서 比抵抗은 약  $10\Omega\text{cm}$ 이다. Ge 結晶體는 素材로부터 軸方向 (1.1.1)으로 約 12mm 길이로 超音波切斷機로서 Ge 結晶體에 금이 가지 않도록 注意하여 짜르고 그 斷面을 카아본렌덤 600grid 및 2000grid 로 結晶體에 흠집이 생기지 않도록 랩핑(Lapping)을 하였다. 結晶體는  $\text{HNO}_3:\text{HF}=3:1$  또는  $5:1$ 의 溶液에서 흔들어가며 約 3分間 에칭(etching)을 하였다(使用한 試藥은  $\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}-99.5\%$ ,  $\text{HNO}_3 60\sim 62\%$ ,  $\text{HF} 48\%$ ,  $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O} 99.0\%$ ).

空氣에 接觸하지 않도록 注意하면서 蒸溜水로서 잘 씻은 다음 空氣中에서 乾燥시켰다. 結晶

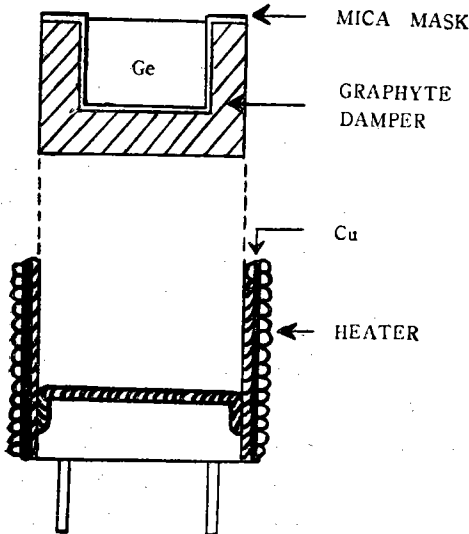


그림 1

體는 Li을 高溫에서 擴散시키기 爲하여 이것을 高溫으로 올릴 수 있는 흑연 容器를 만들고 이 容器는 銅으로 만든 솔에 넣어 加熱한다. 이 擴散裝置를 그림 1에서 보여준다. 結晶體를 直接 銅으로 만든 솔에서 加熱시키지 않는 理田는 Ge 結晶體가 熱衝擊으로부터 Ge 結晶體를 保護하여 준다. Li의 蒸着과 擴散은 眞空中에서 行해졌다. 擴散裝置에 結晶體를 넣기 前에 擴散裝置에 吸着되어있는 水分등을 除去하기 爲하여 가스버어너로서 加熱시켰다. 結晶體를 擴散裝置에 넣어 그 結晶體의 위를 環狀으로 雲母로서 mask를 한 다음 그것을 Bellzar 속에 넣어 眞空度는 約  $1 \times 10^{-5}\text{mmHg}$ , 銅과 黑鉛으로 만든 솔의 溫度는 約  $450^\circ\text{C}$ 로서 結晶體의 溫度를 一定하게 하기 爲하여 2~5分間 加熱시킨 후(溫度測定은 黑鉛솔 上부분에 구멍을 뚫어 Cu 콘스텐터로 測定하였다) Mo boat 中の 金屬 Li을 結晶體의 一面에 蒸着시켰다. Li이 蒸着된 結晶體는  $450^\circ\text{C}$ 에서 約 5分동안 Li을 擴散시킨 다음 곧 Bellzar 속에 空氣를 넣어 擴散裝置를 꺼내어 結晶體가 들어있는채로 結晶體表面에 液體窒素가 닿지 않도록 注意하여 擴散裝置 全體를 液體窒素로서 急冷시키므로써 結晶體內의 Li의 擴散을 急速히 停止시켜 높게 電離된 Li의 濃度를 얻을 수 있으며 또한 Li의 沈沈(Precipitation)을 最小로 할 수 있다. Li의 擴散이 完全히 結晶體의 一面에 擴散되어 있는가를 알아보기 爲하여 結晶體의 側面을 카아본렌덤 600grid로서 랩핑을 한 다음  $\text{CuSO}_4$  溶液中에서 Cu electroless를 했다. 이것은 또한 結晶體內의 n層과 p層의 境界를 알아내는 데에도 아주 좋은 方法이다. 結晶體에 逆바이어스電壓(3V)를 걸어  $\text{CuSO}_4$  溶液으로 Cu electroless를 한 結果 Li擴散層의 두께 즉 n層은 約  $700\mu\text{m}$ 이었다. 이 結晶體를 Li drift를 시작하기 前에 結晶體의 表面누설電流를 적게 하기 爲하여 結晶體의 Li面을 피세인으로 mask한 다음 環狀으로 남겨 놓았던 全部分을 카아본렌덤 600grid로서 랩핑한 후에 側面을 깨끗이 하기 爲하여  $\text{HNO}_3:\text{HF}=3:1(5:1)$ 의 溶液中에서 鏡面이 되도록 3~5分동안 에칭을 한 다음 充分히 蒸溜水로서 깨끗이 씻었다. Li面의 피세인은 트리 크로로에치렌으로 除去한 다음 에칠알콜로서 깨끗

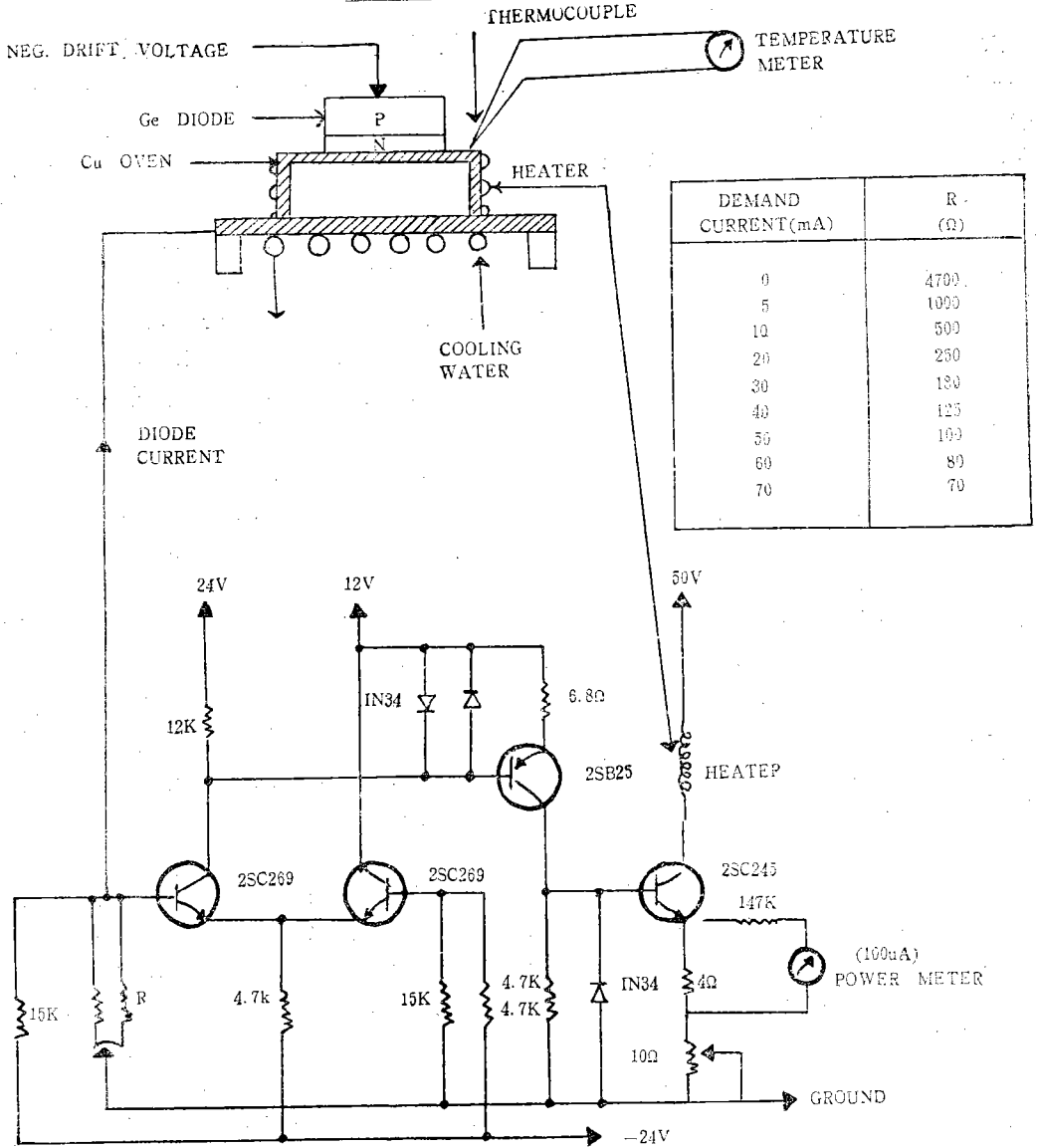
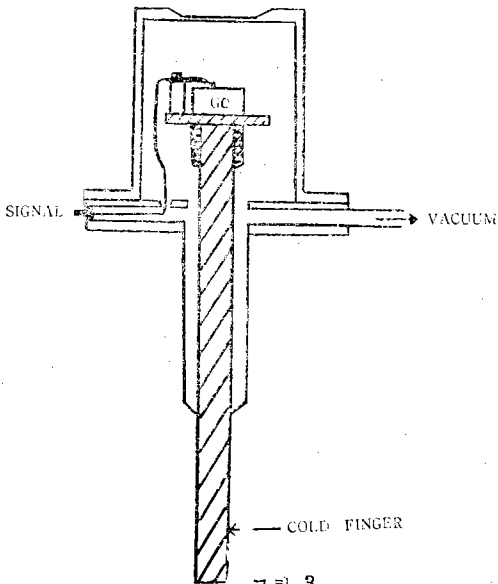


그림 2

곳이 셋이 空氣中에서 乾燥시켰다. 結晶體의 Li 면(n面)과 P面的 저항성접촉(ohmic contact)을 좋게 하기 爲하여 In-Ga(m.p15°C) 合金을 칠하여 Li面을 drift裝置위에 놓아 drift를 시작하였다. drift裝置는 그림 2에서 보여준다. 이 방법은 Goulding과 Hansen<sup>(11)</sup>의 방법에 의한 것이므로 一定電壓에서 一定電流를 갖는 一定出力回路로서 結晶體에 500V의 逆바이어스電壓을 걸어주게 되어 있다. 結晶體에 急激히 高電壓을 걸어주면 放電現象이나 run-away現象이 일어나므로 低電壓에서 電流가 一定值가 될 때까지 또한 結晶體內的 n層과 p層의 境界面이 安定되

도록 一時程度 Clean up을 한다음 徐徐히 電壓을 增加시켜 溫度制御裝置를 動作시켜 約 400V에서 50°C가 되도록 demand switch를 固定시켰다. drift가 일어나고 있는 동안 發生하는 電流는 結晶體內部로부터의 generation電流와 結晶體의 表面누설電流이다. 이 generation電流는 drift가 일어난 領域의 體積에 依存하며 表面누설電流는 그 表面狀態에 關係한다. Li의 drift가 進行되면 Li에 依해서 In가 補償된 intrinsic layer가 增加하며 거기에서 發生하는 電流의 增加에 依해 demand current switch의 設定電流를 變化시켜 주지 않으면 안되었다. 22時間동안

drift시킨 후의 intrinsic layer는 Cu electroless에 의해 調査한 結果 2.5mm라는 것을 알수 있었다. 結晶體는 補償된 領域을 一定하게 하기 爲하여 結晶體의 測面을 카아본렌덤 600grid 및 2000grid로 랩핑하였다. 前과 同一한 方法으로 Li面을 피세인으로 mask하여 測面이 鏡面이 될 때 까지 에칭을 하였다. Li면의 피세인을 트리크로 로에치렌으로 除去한 다음 充分히 에칭알콜로 씻었다. 結晶體의 n면과 In-Ga 合金이 充分히 좋은 저항성접촉을 얻기 爲하여 結晶體全體를 短時間(30sec) 에칭을 하였다. 이 過程은 長時間동안 drift중에 n형의 Ge表面의 Li의 농도가 낮게 되며 Li의 濃도가 In-Ga 合金과 充分한 저



항성 접촉을 얻기에는 困難하므로 必要하다. 에칭後 結晶體를 에칭알콜로 充分히 씻은 다음 空氣中에서 乾燥시켜 n면과 p면에 In-Ga合金을 얇게 질하여 實驗用 챔버속의 cold finger 위에 mount하여 實驗하였다.

### 3. 實驗 結果

Li drifted Ge 檢出器는 低溫(77°K)에서 使用하지 않으면 안되므로 그림3에서 보여주는 챔버에 넣어 動作시켰다. 챔버는 眞空度가 約  $10^{-5}$  mmHg까지 擴散펌프를 使用했으며 그後 이온 펌프를 (8l/sec)를 使用하여 眞空度  $10^{-8}$ mmHg

에서 챔버속의 cold finger를 液體窒素로서 冷却시켰다. Li drifted Ge 檢出器는 300V의 逆바이어스電壓을 걸었을때 누설電流가  $10^{-8}$ A를 넘으면 結晶體의 누설電流가 이 以下로 될 때까지 re-etching을 할 必要가 있다. 前置增幅器의 增幅器는 ORTEC의 101×L-203型과 同一한것을 同研究室에서 自作하여 使用하였다. Li dri-

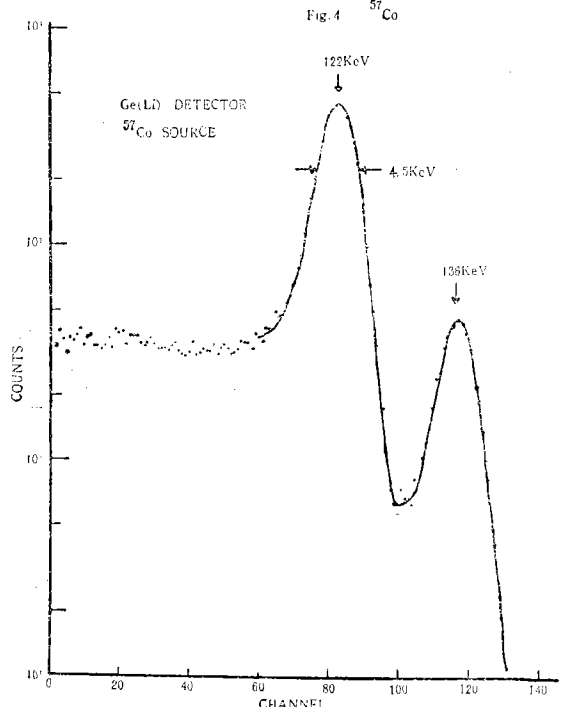


그림 4

fted Ge 檢出器로부터의 信號는 RCL 400 또는 TMC 1024 波高分析器에 의해 7線 스펙트럼으로 測定하였다. Li drifted Ge 檢出器의 크기는 1.5×2×0.35cm로서 電流는 300V에서  $1.2 \times 10^{-8}$ A 이었다. 그림 4, 그림 5는  $^{57}\text{Co}$ ,  $^{60}\text{Co}$ 의 7線 스펙트럼을 보여준다. 使用電壓 500V에서의 에너지 分解能은 122KeV에서 4.5KeV, 1173KeV와 1333KeV에서는 各各 11KeV와 10KeV이었다. 1173KeV의 分解能이 1333KeV에 比하여 나쁜 理由는 檢出器의 intrinsic layer가 얇기 때문에 高에너지의 콤프톤散亂이 피이크속에 겹쳐져 있기 때문이다. 나중에 알게 되었지만 前置增幅器의 初段의 眞空管을 ORTEC의 Selected tube 6922로 바꾸어줌으로서 FWHM(半值幅)를 約半으로 줄일 수 있었다. 다음에 이 Li drifted Ge 檢出器를 使用하여 (n,γ) 부터의 反應으로 7線

※Ge素材: 東京電子冶金研究所

Fig. 5 <sup>60</sup>Co

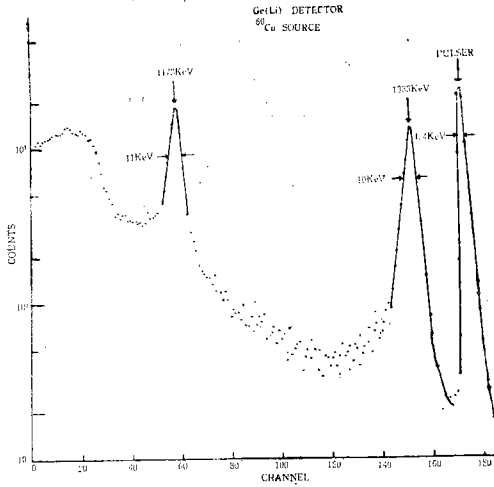


그림 5

스펙트럼의 測定은 京都大學原子爐實驗所의 原子爐(出力 1000KW)로부터의 熱中性子빔을 使用하여 實驗을 하였다. Li drifted Ge檢出器는 熱中性子빔과 直角으로 놓았다. 그 幾何學的

Fig. 6 EXPERIMENTAL GEOMETRIES

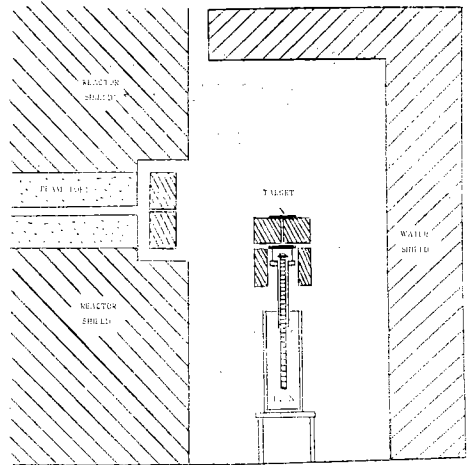
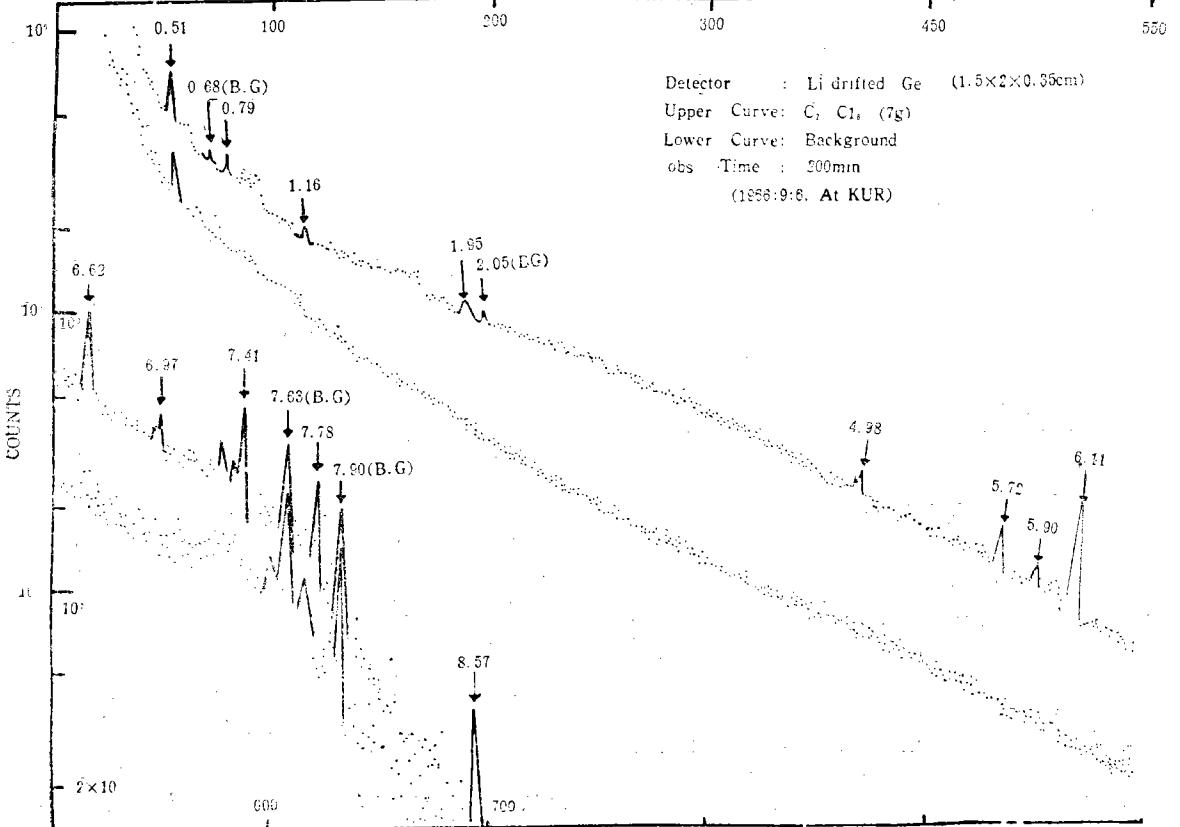


그림 6

配列을 그림6에서 보여준다. 試料로부터의 捕獲 7線은 鉛 10cm의 두께의 10mmφ의 코퍼리터를 通하여 Li drifted Ge 檢出器에 들어가게 된다. 이와같이 하여 얻어진 Cl(n,γ) 反應으로부터의 捕獲7線스펙트럼을 그림7에서 보여준다. 이 그림의 밑부분의 曲線은 試料를 놓지 않았을

Fig. 7 GAMMA RAY SPECTRUM FROM CL(n,γ)



Detector : Li drifted Ge (1.5×2×0.35cm)  
 Upper Curve: C, Cl, (7g)  
 Lower Curve: Background  
 obs Time : 500min  
 (1958:9:8. At KUR)

그림 7  
 - 20 -

때의 백그라운드를 보여준다.  $\gamma$ 線스펙트럼의 에너지値는 Groshev<sup>(6)</sup>의 데이터를 使用하였다. 이 그림에서 알 수 있는 것과 같이 3~5MeV까지의 領域에서는  $\gamma$ 線스펙트럼의 피크가 나타나 있지 않다. 이것은 이 領域은 Ge 自身の 線吸收係數가 작으며 그것도 檢出器의 有效體積이 적기 때문에 高에너지로부터의 콤프톤散亂에 依한 피크가 接친 것으로 생각된다.

우리들은 Li drifted Ge 檢出器製作에 있어서 日本原子力研究所의 石井三彦氏에게 많은 指導를 받았으며 (n,  $\gamma$ ) 反應에 있어서 京都大學原子爐實驗所의 林脩平氏, 武內孝之氏, 秋吉恒彦氏, 林禎彦氏 및 橋本哲夫氏의 도움에 대하여 厚意의 깊은感謝를 드리는 바이다.

#### 參 考 文 獻

1. O. A. Wasson, K. J. Wetzel, and C. K. Bockelman, Phys. Rev, 133, 1140(1964).
2. W. V. Prestwich, L. B. Hughes, T. J. Kennett, and H. J. Fiedler Phys. Rev. 140 1562(1965).
3. L. V. Groshev, A. M. Demidov, V. N. Lutsenko,

- and V. I. plekhov, Atlas of Gamma Ray Spectra from radioactive capture of thermal neutron. 1958:Pergamon press. London(1958).
4. B. B. Kinsey, and G. A. Bartholomew, Can. J. Phys. 31, 537(1953).
5. J. W. Knowles, F. G. Manning, G. A. Bartholomew, and P. J. Champion, Phys. Rev. 114, 1065(1959).
6. R. E. Segel, Phys. Rev. 111, 1620(1958).
7. P. P. Webb, and R. L. Williams, Nucl. Inst. and Methods, 22, 2(1963).
8. G. T. Ewan, and A. J. Tavendale, Nucl. Inst. and methods, 26, 183(1964).
9. W. L. Hansen, and R. V. Jarrett, Nucl. Inst. and methods, 31, 301(1964).
10. A. J. Tavendale, IEEE Trans. on Nucl. Sci. NS-12, 1, 255(1965).
11. A. L. Malm, A. L. Tavendale, and I. L. Fowler, Can. J. Phys. 43, 1173(1965).
12. H. M. Mann, H. R. Bilger, and I. S. Sherwan IEEE Trans. on Nucl. Sci. NS-13, 3, 252(1966).