

3765

ЭКЗ. ЧИТ. ЗАЛА

ОБЪЕДИНЕННЫЙ
ИНСТИТУТ
ЯДЕРНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ

Дубна



13 - 3765

Ли Сам Рён, К.Г. Родионов

СПЕКТРОМЕТРИЧЕСКИЙ ТРАКТ
ДЛЯ Ge (Li) ДЕТЕКТОРА С БОЛЬШОЙ ЕМКОСТЬЮ

ЛАБОРАТОРИЯ НЕЙТРОННОЙ ФИЗИКИ

1968

13 - 3765

Ли Сам Рён, К.Г. Родионов

СПЕКТРОМЕТРИЧЕСКИЙ ТРАКТ
ДЛЯ Ge (Li) ДЕТЕКТОРА С БОЛЬШОЙ ЕМКОСТЬЮ

Научно-техническая
библиотека
ОИЯИ

1. Реализация возможного энергетического разрешения полупроводниковых детекторов - одна из проблем, возникающая при их применении. Здесь существенно отметить два фактора, от которых зависит такая реализация. Во-первых, получение минимальных шумовых характеристик детектора и усилителя. Во-вторых, оптимизация системы детектор-усилитель, которая связана с индивидуальными параметрами каждой из частей системы. Такая оптимальная система позволяет уменьшить нижний предел энергий регистрируемого излучения. С другой стороны, система с лучшим разрешением приводит к лучшему пониманию ионизационных процессов в полупроводниковом детекторе.

2. В работе описывается линейный усилительный тракт, предназначенный для энергетических измерений на полупроводниковых детекторах большого объема с большой емкостью $C_{\text{дет}}$, изготовленных в Лаборатории нейтронной физики^{/1/}. Усилительный тракт включает в себя малозумящий зарядочувствительный предусилитель, основной усилитель с цепями формирования импульса, линейный ограничитель импульсов и выходной эмиттерный повторитель.

3. Измерения проводятся на 128-канальном амплитудном анализаторе $Y-5-2-R$ с выбором необходимого участка измерения экспандированием спектра, или на амплитудном анализаторе на 4096 каналов (АК-4096) измерительного центра ЛНФ^{/2/}. В последнем случае амплитудный спектр подается без ограничения на вход АК-4096 через эмиттерный повторитель по кабелю длиной до 1000 м.

4. Из уравнения, связывающего величину шума с основными характеристиками усилителя и детектора, учитывая, что входное сопротивление превышает величину $2kT/qI$ и тепловыми шумами можно пренебречь, получаем^{/3/}

$$N_{\text{ср.кв}} = e \sqrt{\frac{c}{q}} \cdot \sqrt[4]{\frac{kTR_{\text{эд}} (I_{\text{дет.}} + I_{\text{сет.}})}{2q}}, \quad (1)$$

где $N_{\text{ср.кв}}$ - среднеквадратичное значение шума;

e - основание натуральных логарифмов;

c - входная емкость

$I_{\text{дет}}$ - ток утечки детектора;

$I_{\text{сет}}$ - ток сетки входной лампы;

$R_{\text{эд}}$ - эквивалентное сопротивление дробового шума

$$R_{\text{эд}} \approx \frac{2.5}{S}.$$

S - крутизна входной лампы.

Используя это соотношение по известным параметрам полупроводникового детектора, оценивают характеристики входных элементов усилителя оптимальной системы детектор-усилитель. Для детекторов с малой емкостью критерием выбора входной лампы является ее входная емкость, поскольку, как это видно из уравнения, зависимость шума от тока сетки много слабее, чем от $C_{\text{вх}}$ ^{/4/}. Для детекторов с большой емкостью основной вклад в шумовую характеристику дает дробовой шум. В этом случае критерием оптимального разрешения системы детектор-усилитель будет служить крутизна входной лампы (предполагается, что все остальные параметры для разных ламп одинаковые). Возможно, что минимальное значение уровня линии шума (при $C_{\text{вн}} = 0$) в таком усилителе будет больше, чем в усилителях для детекторов с малой емкостью, но так как зависимость $N_{\text{ср.кв.}} = f(C_{\text{внеш.}})$ для такого усилителя слабая, это обеспечивает хорошее разрешение при большой емкости детектора. Так, например, оценка среднеквадратичного значения шума из выражения (1) при

$$C_{\text{дет}} + C_{\text{сет}} \approx 100 \text{ пФ}, \quad I_{\text{дет}} + I_{\text{сет}} = 10^{-9} \text{ А}, \quad S \approx 25 \text{ ма/в.}$$

дает $N_{\text{ср.кв}} \approx 400$ электр.пар при оптимальных $\tau_{\text{опт}} = \tau_{\text{опт}} = \tau_{\text{диф.}} = \tau_{\text{инт.}}$ = 0,6.10⁻¹⁰ сек, получаемых из выражения ^{/3/}

$$r_{\text{опт.}} = \sqrt{\frac{2kTR_{\text{эд}}c^2}{q(I_{\text{дет}} + I_{\text{сет}} + \frac{2kT}{qR})}} \quad (2)$$

Коаксиальный $\text{Ge}(\text{Li})$ - детектор в нашем случае имеет емкость > 40 пф. Наиболее подходящими входными лампами ПУ в системе могут быть лампы с большой S /6,7/.

5. В качестве входной лампы предусилителя применен малолумящийся пентод типа E 810 с крутизной $S = 25 + 50$ ма/в в триодном включении. Лампа имеет дробовой эффект существенно ниже, чем в других лампах при токах сетки одного порядка. Выходной нагрузкой является схема со следящей лампой в качестве стабилизирующего элемента анодного тока. Схема предусилителя приведена на рис. 1. Лампа работает в режиме потенциала плавающей сетки. Оптимальная величина анодного тока 10 ма. Надо заметить, что для схемы ПУ с лампой E 810 заметный вклад вносит фликкер-шум, что необходимо учитывать при работе. Величина емкости обратной связи $4 \cdot 10^{-12}$ ф. Сопротивление сеточной утечки равно $2 \cdot 10^8$ ом. Общий коэффициент усиления при замкнутой цепи о.с. - 400. Лампы перед установкой в ПУ предварительно тренируются в рабочем режиме в течение 100 часов. Ширина линии шума при $C_{\text{внеш.}} = 0$, $r_{\text{диф.}} = r_{\text{инт.}} = 2$ мсек равна 2,8 кэв (рис. 2). Для накала ламп применяется стабилизированный источник напряжения ВС-25. Напряжение накала - 6в. Источник анодного напряжения NB - 104 $U_a = 300$ в.

6. Регистрация амплитудного спектра производится амплитудным анализатором с точностью, которая в общем случае зависит от точности регистрации амплитуды импульса с детектора излучений. Безусловно, что эффект наложения импульсов при больших нагрузках, ограничение линейности, температурный дрейф, шумы усилителя и т.д. приведут к искажению амплитуды импульса, а значит, и к искажению спектра, зарегистрированного амплитудным анализатором. Допустимая величина искажения или требование, предъявляемое к основному усилителю в целом или его от-

дельным характеристикам, зависит от уровня сигнала и разрешения детектора, а также от условий его эксплуатации. Кроме общих требований к линейности и стабильности усилителя, надо отметить и следующие факты. Описываемая система детектор-усилитель не предназначена для временных измерений. Амплитуда входных сигналов может меняться в широком диапазоне от шумов усилителя до амплитуд, в которых шумы пренебрежимо малы. Наибольшую часть шумов составляют высокочастотные шумы. Исходя из этого, определялся выбор оптимальных формировок импульса в усилителе, для получения максимального значения отношения сигнал/шум. Лучшее амплитудное разрешение АК достигается при симметричной форме входного сигнала с нарастанием фронта, соответствующим постоянной заряда C кодировщика. Для гауссовской формы наилучшее приближение к симметричному виду получается при формировке на RC с одним дифференцированием и \int - интегрированием. Поскольку для этой системы преимущественную величину составляют дробовые шумы, такая формировка, при которой форма импульса приближается к симметричной, кажется более оптимальной с точки зрения уменьшения шумов. Как показано Чейзом^{5/}, в этом случае одно дифференцирование дает лучшее отношение сигнал/шум по сравнению с двойным дифференцированием.

7. Схема основного усилителя представлена на рис. 3. В качестве формировок применяется одна дифференцирующая цепь на входе усилителя и две интегрирующих цепи, разделенные каскадом усиления. Для уменьшения относительного вклада шумов введением входного делителя коэффициент усиления можно регулировать обратной связью в цепи транзистора T_8 . Общий коэффициент усиления - 1000. Максимальный линейный выходной сигнал - 10в. Температурная стабильность - не хуже 0,06%/°C. Интегральная нелинейность при $\tau = 2$ мсек - 0,2%. Среднеквадратичное значение шумов, приведенных ко входу, - 10 мкв. Входной и выходной сигналы - отрицательной полярности.

8. Полупроводниковый $Ge(Li)$ - детектор коаксиального типа с объемом 30 см^3 и $C \geq 40 \text{ пф}$ (при напряжении смещения $U_{см.} = 1200$ вольт) соединяется с предуслителем при помощи высокочастотного разъема. На рис. 4 приведен γ - спектр ^{60}Co . Наилучшее разрешение, полученное на линии 1,33 Мэв, составляло 4,7 кэв. Однако

шумы на входе кодировщика, вносимые внешними источниками (электро-сварка, сигналы телевизионных станций и др.) несколько ухудшают результаты. Зависимость ширины линии шума ПУ с эквивалентной детекторной емкостью $C_{\text{внеш.}}$ при $\tau = 2 \cdot 10^{-6}$ сек, составляет $2,8 \pm 0,029$ кэв/пф.^{1/6,7/}.

Авторы признательны В.Г.Тишину за помощь в измерениях и Э.З.Рындиной, любезно предоставившей полупроводниковые детекторы для проверки аппаратуры.

Л и т е р а т у р а

1. Э.В.Васильева, Э.З.Рындина. Препринт ОИЯИ 13-3566, 1967 г.
2. В.И.Приходько, В.Г.Тишин. Препринт ОИЯИ, 2492, 1965 г.
3. H.R.Birger, NIM, v.40, 1 (1966), 54-60
4. К.Г.Родионов, Ли Сам Рён. ПТЭ, 5, 175 (1967).
5. R.L.Chase, "Nuclear Pulse Spectrometry", New York, 1961.
6. D.R.Heywood, B.L.White, RSI, 34, 9 (1963).
7. A.J.Tavendale, IEEE, NS-11-3, 191 (1964).

Рукопись поступила в издательский отдел
14 марта 1968 года.

