

ОБЪЕДИНЕННЫЙ  
ИНСТИТУТ  
ЯДЕРНЫХ  
ИССЛЕДОВАНИЙ  
ДУБНА

С344.1М

P18-84-404

4481/84

С.А.Балдин\*, Ч.Жаргал, Г.Н.Зорин, Т.Ласкус,  
Б.П.Осипенко, А.В.Ревенко, Т.И.Ряховская\*

ВЫСОКООМНЫЙ МАЛОШУМЯЩИЙ РЕЗИСТОР  
ДЛЯ СПЕКТРОМЕТРОВ  
С ОХЛАЖДАЕМЫМ  
ПОЛУПРОВОДНИКОВЫМ ДЕТЕКТОРОМ

Направлено в журнал  
"Приборы и техника эксперимента"

\* Союзный научно-исследовательский институт  
приборостроения, Москва

1984

В практике физического эксперимента часто возникает необходимость спектрометрирования сложных спектров в широком энергетическом интервале. Наилучшие результаты при этом можно получить, используя предусилители с резистивной обратной связью. Полное энергетическое разрешение рентгеновского блока детектирования с ППД с резистивной обратной связью определяется многими факторами, в том числе величиной и качеством резистора обратной связи<sup>/1/</sup>. При этом избыточный шум резистора, обусловленный нерегулярностью структуры поверхностного слоя, уменьшением значения сопротивления при увеличении частоты и т.п., на стандартных резисторах типа КВМ значительно превосходит "собственный" тепловой шум резистора<sup>/2,3/</sup>. Это обстоятельство особенно нежелательно при регистрации мягкого рентгеновского излучения, где шумовой вклад резистора ограничивает возможность отдельной регистрации характеристических линий расположенных рядом химических элементов<sup>/4/</sup>.

Резисторы с меньшим избыточным шумом, как показывает практика, могут быть изготовлены на основе пленки окиси бора<sup>/3/</sup>. В то же время такие резисторы, имея полупроводниковую структуру, в очень широком пределе изменяют величину сопротивления при изменении температуры, что существенно ограничивает и усложняет их использование в головных охлаждаемых каскадах. Однако хорошо известно, что металлизированные резисторы относительно слабо меняют свое сопротивление при изменении температуры, поэтому, по-видимому, более подходящими в качестве резисторов обратной связи головных охлаждаемых каскадов с ППД могут быть резисторы, изготовленные на основе тонких металлизированных пленок.

Такая возможность была реализована путем изготовления образцов резисторов методом фотолитографии<sup>/5/</sup> из высокорезистивных пленок, образующихся на поверхности свинцово-силикатных стекол в результате окислительно-восстановительных процессов при термообработке в атмосфере водорода<sup>/6/</sup>. Удельное поверхностное сопротивление этих пленок практически не меняется после нагревания на воздухе до 400°C и - до 300°C в вакууме<sup>/7/</sup>. Пленка характеризуется отрицательным температурным коэффициентом сопротивления, составляющим  $0,2 \div 0,3\%/^{\circ}\text{C}$  в интервале температур от +60 до -120°C.

Резисторы с номинальными сопротивлениями от 10 до 50 ГОм, изготовленные для испытаний, имели длину  $8 \div 10$  мм при ширине  $< 0,2$  мм и располагались вдоль плоской стеклянной подложки длиной ~15 мм и шириной ~2 мм. Удельное объемное сопротивление материала подложки составляло  $10^{17}$  Ом·см. Толстопленочные



Таблица

Тип резистора	Номинал (ГОм)	Энергетическое разрешение (эВ) на линии $^{55}\text{Fe KX (Mn)} 5,9 \text{ кэВ}$							
		5 мкс				10 мкс			
		$\epsilon_{об}$	$\epsilon_{ш}$	$\epsilon_{тш}$	$\epsilon_{узб}$	$\epsilon_{об}$	$\epsilon_{ш}$	$\epsilon_{тш}$	$\epsilon_{узб}$
HR 600	25	225	90	60	66	215	90	85	28
I	30	240	123	55	110	270	187	77	170
II	34	225	90	52	73	227	116	73	91
III	26	233	108	60	90	245	148	85	122
IV	42	215	61	46	40	222	106	65	84
V	36	235	112	51	100	265	179	71	164
VI	50	215	61	42	44	230	122	60	107
KBM	56	350	284	40	282	600	567	57	565
Без резистора		$(\epsilon_{ср})$ 206				$(\epsilon_{ср})$ 195			

контакты были изготовлены вжиганием токопроводящей пасты на основе серебра и легкоплавкой эмали с последующей пайкой жестких выводов из луженой медной проволоки диаметром ~1 мм.

Шумовые характеристики опытных резисторов изучались посредством включения их в цепь обратной связи охлаждаемого входного каскада зарядочувствительного предусилителя спектрометра рентгеновского излучения и сравнением с другими типами высокоомных резисторов. При этом использовалась охлаждаемая головка предусилителя и детектора, конструкция которой описана в <sup>8/</sup>. В качестве критерия оценки шумовых характеристик резисторов бралось энергетическое разрешение спектрометра на линии  $^{55}\text{Fe KX (Mn)} 5,9 \text{ кэВ}$  с Si(Li) -детектором с площадью 20 мм<sup>2</sup> и полевым транзистором 2N4416. Измерения были проведены при одинаковых режимах работы спектрометра для различных типов высокоомных резисторов.

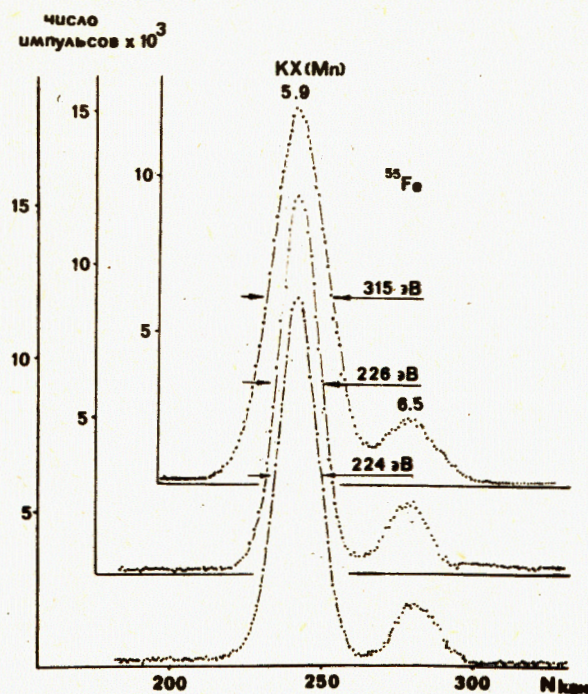
В общей сложности было исследовано около 30 опытных образцов резисторов. В качестве примера в таблице приведены экспериментальные разрешения последней партии резисторов, изготовленных на одной пластине свинцово-силикатного стекла. Величина шума резистора ( $\epsilon_{ш}$ ) оценивалась по формуле

$$\epsilon_{ш} = \sqrt{\epsilon_{об}^2 - \epsilon_{ср}^2} \quad /1/$$

где  $\epsilon_{об}$  - величина измеряемого разрешения, а  $\epsilon_{ср}$  - величина энергетического разрешения на линии  $^{55}\text{Fe KX (Mn)} 5,9 \text{ кэВ}$  со стоковой обратной связью, которая замыкалась изучаемым резистором при измерении  $\epsilon_{об}$ . Как следует из таблицы, уровень шумов опытных резисторов в среднем примерно в четыре раза ниже уровня шума резистора типа KBM при различных временных формированиях и сравним с уровнем шумов резистора типа HR 600. В таблице также приводится величина теплового шума резистора ( $\epsilon_{Тш}$ ), рассчитанная по формуле <sup>9/</sup>

$$\epsilon_{Тш} = \frac{4,52\epsilon}{q} \left( \frac{kT\tau}{R_f} \right)^{1/2} \quad /2/$$

где  $\epsilon$  /эВ/ - энергия образования пары электрона,  $q$  - заряд электрона,  $k$  - постоянная Больцмана,  $T$  - абсолютная температура,  $\tau$  - постоянная времени формирования,  $R_f$  - сопротивление резистора обратной связи в практической системе единиц. Сопротивление обратной связи  $R_f$ , имевшее в рабочем режиме температуру 153°К, бралось с учетом отрицательного температурного коэф-



Рентгеновские спектры, измеренные с использованием различных типов резисторов в качестве сопротивления цепи обратной связи предусилителя спектрометра /315 эВ - KBM, 226 эВ - HR 600, 224 эВ - опытный резистор/.

фициента, так как в таблице номиналы приведены при комнатной температуре. Отличие избыточных шумов новых резисторов, оценка которых бралась по формуле

$$\epsilon_{\text{изб}}^2 = \epsilon_{\text{ш}}^2 - \epsilon_{\text{тш}}^2$$

131

от избыточного шума резистора HR 600 при формировке в 10 мкс по-видимому, связано с микрофонным эффектом из-за недостаточной жесткости выводов новых резисторов. На приведенном рисунке показаны для сравнения рентгеновские спектры, измеренные с использованием различных типов резисторов в качестве сопротивления цепи обратной связи предусилителя спектрометра.

Таким образом, новые резисторы позволяют улучшать энергетическое разрешение спектрометров с резистивной обратной связью.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Балдин С.А. и др. Прикладная спектрометрия с полупроводниковыми детекторами. Атомиздат, М., 1974, с. 320.
2. Radeka V. Proc. of Intern.Symp. on Nucl.Electr., Paris, 1968, report No 46.
3. Балдин С.А., Байрамшвили И.А., Губин С.Ф. ПТЭ. 1975, №2, с. 135.
4. Вольдсет Р. Прикладная спектрометрия рентгеновского излучения. Пер. с англ., Атомиздат, М., 1977, с. 192.
5. Ряховская Т.И. Авт.свид.СССР, №816983 от 13.06.79. Бюлл. ОИПОТЗ, 1981, № 12, с.93.
6. Ананич Н.И., Гречаник Л.А. ЖПХ, 1958, т. 31, с. 566.
7. Улько Ю.Н. Электронная техника, 1968, сер. 4, вып.4, с. 128.
8. Вылов Ц. и др. ОИЯИ, 13-10056, Дубна, 1976.
9. Elad E., Williams C.W. Low-noise preamplifiers, Moscow trade conference, May 10-20, 1971.

Рукопись поступила в издательский отдел  
11 июня 1984 года.

Балдин С.А. и др.

P18-84-404

Высокоомный малошумящий резистор для спектрометров с охлаждаемым полупроводниковым детектором

Изготовлены и испытаны высокоомные малошумящие резисторы к предусилителям для спектрометров с охлаждаемыми полупроводниковыми детекторами. Уровень шумов проверенных резисторов примерно в четыре раза ниже уровня шумов резисторов типа КВМ, серийно выпускаемых промышленностью.

Работа выполнена в Лаборатории ядерных проблем ОИЯИ.

Препринт Объединенного института ядерных исследований. Дубна 1984

#### Перевод авторов

Baldin S.A. et al.

P18-84-404

High-Resistance Low-Noise Resistor for Spectrometers with a Cooled Semiconductor Detector

High-resistance low-noise resistors for preamplifiers of spectrometers with cooled semiconductor detectors are designed and tested. The noise level of these resistors is four times lower than that of serial production KVM type resistors.

The investigation has been performed at the Laboratory of Nuclear Problems, JINR.

Preprint of the Joint Institute for Nuclear Research. Dubna 1984