

УДК 539.107.45

Детекторы рентгеновского излучения на основе теллурида кадмия

КУШНИРУК В. Ф., МАСЛОВА Л. В., МАТВЕЕВ О. А., ПОНОМАРЕВ В. С., РЫВКИН С. М., ТЕРЕНТЬЕВ А. И., ХАРИТОНОВ Ю. П., ХУСАИНОВ А. Х.

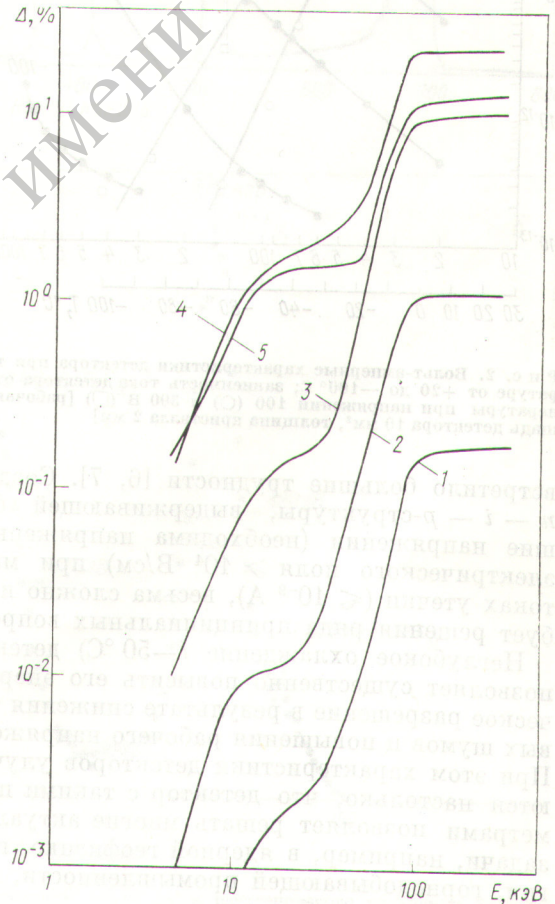
Наиболее перспективным материалом для детекторов γ -квантов и рентгеновского излучения является теллурид кадмия, который удовлетворяет большинству требований для создания спектрометрических детекторов, обладающих высокой эффективностью регистрации и работающих без охлаждения [1, 2].

В последнее время достигнуты значительные успехи в получении чистых кристаллов теллурида кадмия [3] и в создании спектрометрических детекторов γ -квантов и рентгеновского излучения [4, 5]. Расчеты, выполненные на основе параметров существующих в настоящее время кристаллов [4], показывают, что при спектрометрии рентгеновского и γ -излучений с энергией ≤ 60 кэВ можно ожидать лучшее энергетическое разрешение.

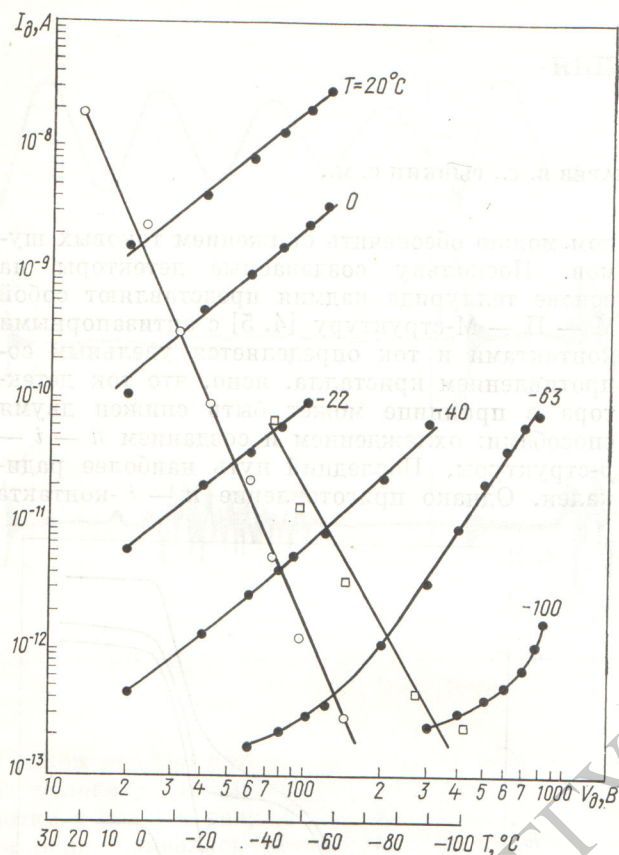
На рис. 1 представлена рассчитанная зависимость энергетического разрешения детектора от энергии излучения при нескольких значениях длины пробега электронов ($\lambda_e = \mu_e \tau_e E$) и дырок ($\lambda_d = \mu_d \tau_d E$) до их захвата (здесь μ и τ — подвижность и время жизни носителей заряда соответственно; E — напряженность электрического поля в детекторе). Расчет проводился по модели, принятой в работе [6] в предположении, что облучение идет от отрицательного электрода. Для кристаллов, использованных при расчете, значения произведений $\mu_e \tau_e = (2 \div 3) \cdot 10^{-3}$ см²/В и $\mu_d \tau_d = (1 \div 6) \cdot 10^{-4}$ см²/В [4]. Асимметрия подвижности электронов и дырок в кристаллах теллурида кадмия ($\mu_e/\mu_d \approx 10$) является причиной существенной зависимости разрешения детектора от проникающей способности регистрируемого излучения. Из рис. 1 следует также, что у детекторов, изготовленных из этих кристаллов, при напряженности электрического поля $\sim 10^3$ В/см разрешение в области энергии менее 60 кэВ составит $\leq 1\%$.

Однако на реальных детекторах ширина линий заметно превышает предсказываемую, что вызвано как флюктуацией собранного заряда, так и токовыми шумами. Последнее обстоятельство играет определяющую роль при спектрометрии рентгеновских квантов, поэтому улучшение характеристик детекторов рентгеновского излучения в настоящее время в основ-

ном можно обеспечить снижением токовых шумов. Поскольку создаваемые детекторы на основе теллурида кадмия представляют собой М — П — М-структуру [4, 5] с антизапорными контактами и ток определяется удельным сопротивлением кристалла, ясно, что ток детектора в принципе может быть снижен двумя способами: охлаждением и созданием $n - i - p$ -структуры. Последний путь наиболее радикален. Однако приготовление $n - i$ -контакта



Р и с. 1. Зависимость энергетического разрешения детектора, обусловленного флюктуацией собранного заряда, от энергии регистрируемого излучения при $d/\lambda_e = 0,001$ и $d/\lambda_d = 0,01$ (1); 0,01 и 0,1 (2); 0,1 и 1 (3); 2 и 20 (4); 4 и 40 (5) [d — толщина кристалла]



Р и с. 2. Вольт-амперные характеристики детектора при температуре от $+20$ до -100°C ; зависимость тока детектора от температуры при напряжении 100 (○) и 300 В (□) [рабочая площадь детектора 10 мм^2 , толщина кристалла 2 мм]

встретило большие трудности [6, 7]. Создание $n-i-p$ -структуры, выдерживающей большие напряжения (необходима напряженность электрического поля $\geq 10^4\text{ В/см}$) при малых токах утечки ($\leq 10^{-9}\text{ А}$), весьма сложно и требует решения ряда принципиальных вопросов.

Неглубокое охлаждение (-50°C) детектора позволяет существенно повысить его энергетическое разрешение в результате снижения токовых шумов и повышения рабочего напряжения. При этом характеристики детекторов улучшаются настолько, что детектор с такими параметрами позволяет решать многие актуальные задачи, например, в ядерной геофизике, геологии, горнодобывающей промышленности, медицине и других областях.

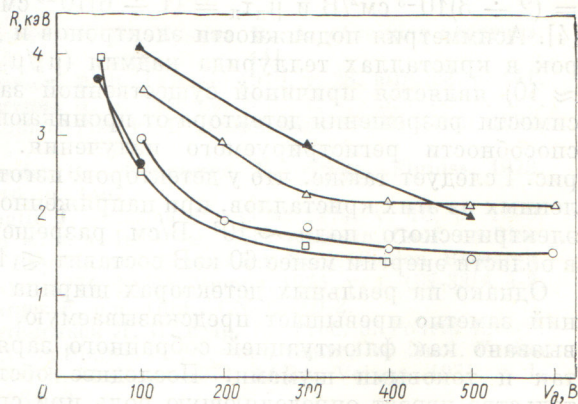
Детектор и полевой транзистор головного каскада предусилителя охлаждались с помощью термоэлектрического микрохолодильника. Температура детектора в диапазоне от $+20$ до

-100°C регулировалась током питания термоэлектрического холодильника.

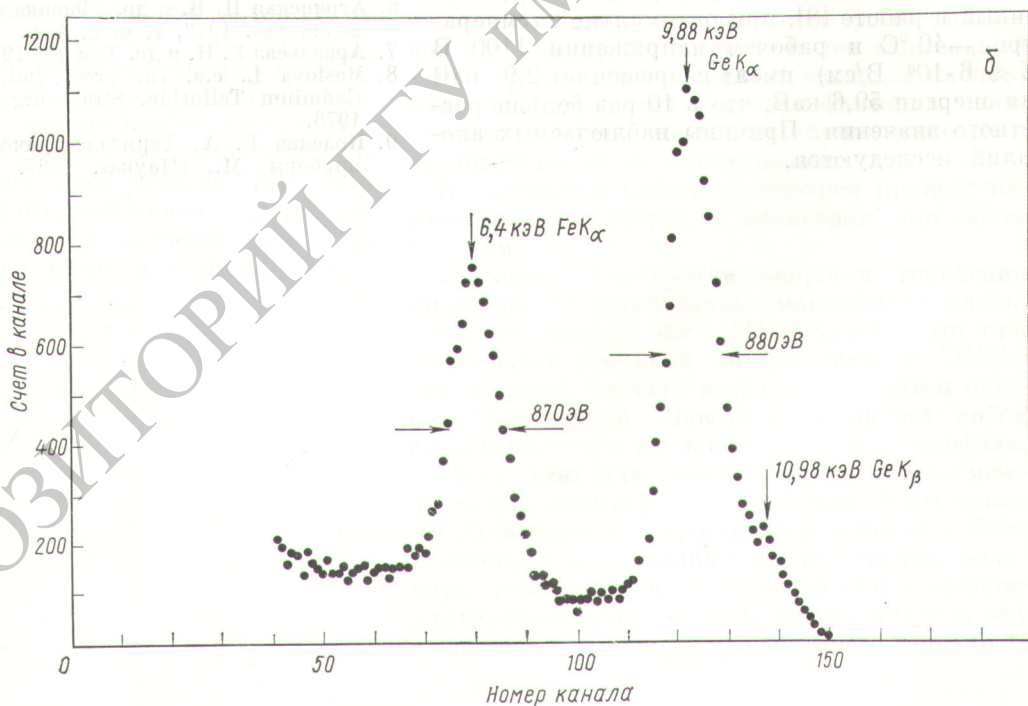
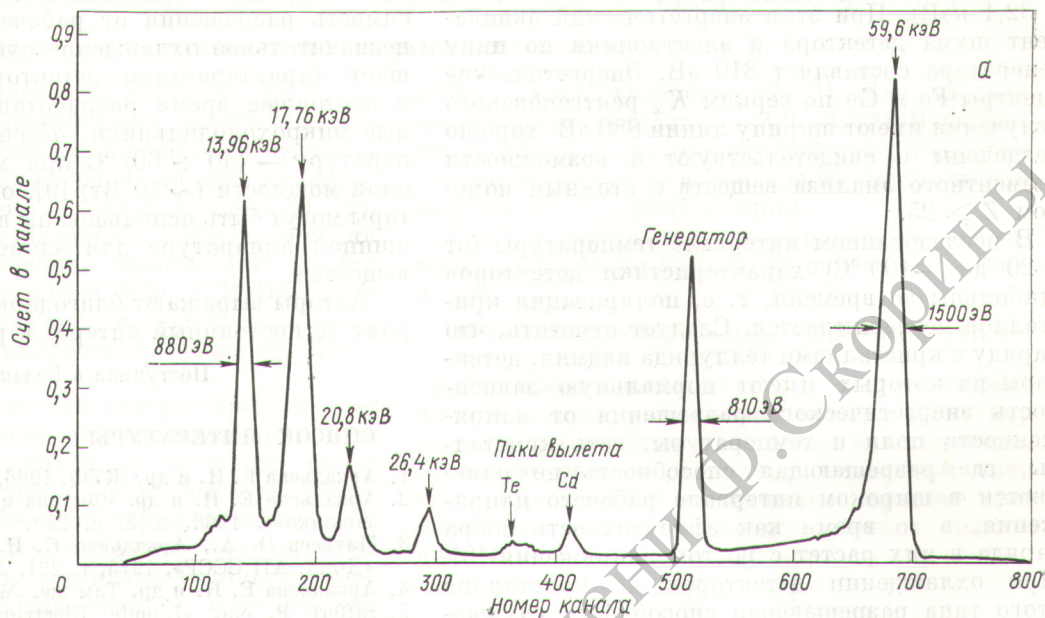
На рис. 2 представлено семейство вольт-амперных характеристик одного детектора для разной температуры и показана зависимость тока детектора от температуры при двух рабочих напряжениях. Видно, что ток носит омический характер в довольно широком интервале температуры и экспоненциально спадает с понижением температуры при фиксированном рабочем напряжении. При температуре около -40°C ток становится уже весьма малым ($\leq 10^{-10}\text{ А}$ при рабочем напряжении), что позволяет иметь достаточно низкий уровень шумов детектора. Ввиду этого дальнейшее понижение температуры нецелесообразно.

Зависимость энергетического разрешения детектора от рабочего напряжения для разной температуры показывает, что наилучшие результаты могут быть получены также при температуре $-(40 \div 60)^\circ\text{C}$ (рис. 3). Дальнейшее охлаждение детектора приводит к заметному ухудшению разрешающей способности, что можно считать естественным, поскольку в этом случае происходит захват носителей заряда на мелкие уровни. Таким образом, оптимальная рабочая температура детекторов примерно -40°C .

Энергетические спектры γ -квантов препарата ^{241}Am (рис. 4, а) и рентгеновского излучения Fe и Ge, возбужденных от источника ^{109}Cd (рис. 4, б), получены на одном из исследованных детекторов при температуре -40°C и рабочем напряжении 400 В . На рис. 4, а кроме пяти γ -линий ^{241}Am с энергетическим разрешением 1500 и 880 эВ на линиях с энергиями $59,6$



Р и с. 3. Зависимость энергетического разрешения детектора от рабочего напряжения при температуре -100 (▲); -75 (△); -58 (○); -40 (□) и -22°C (●) для энергии $59,6\text{ кэВ}$ (препарат ^{241}Am)



Р и с. 4. Энергетические спектры γ -квантов препарата ^{241}Am (а) и рентгеновского излучения Fe и Ge, возбужденных от источника ^{109}Cd (б) [рабочее напряжение 400 В, температура -40°C , площадь детектора 10 мм^2 , толщина $1,5\text{ мм}$]

и 13,96 кэВ хорошо видны два максимума, соответствующих пикам вылета Cd и Te (36,4 и 32,1 кэВ). При этом энергетический эквивалент шума детектора и электроники по пику генератора составляет 810 эВ. Энергетические спектры Fe и Ge по сериям K_{α} рентгеновского излучения имеют ширину линии 880 эВ, хорошо разделены и свидетельствуют о возможности элементного анализа веществ с атомным номером $Z \geq 25$.

В исследованном интервале температуры (от +20 до -100 °C) характеристики детекторов стабильны во времени, т. е. поляризация кристаллов не наблюдается. Следует отметить, что наряду с кристаллами теллурида кадмия, детекторы из которых имеют нормальную зависимость энергетического разрешения от напряженности поля и температуры, есть кристаллы, где разрешающая способность не изменяется в широком интервале рабочего напряжения, в то время как эффективность сбора заряда в них растет с ростом напряжения [8]. При охлаждении детекторов из кристаллов этого типа разрешающая способность улучшается незначительно. Например, детектор, описанный в работе [8], при оптимальной температуре -40 °C и рабочем напряжении 1100 В ($E \approx 6 \cdot 10^3$ В/см) имел разрешение 2,9 кэВ для энергии 59,6 кэВ, что в 10 раз больше расчетного значения. Причины наблюдаемых аномалий исследуются.

Таким образом, для кристаллов, имеющих при комнатной температуре нормальную зависимость разрешения от рабочего напряжения, незначительное охлаждение существенно улучшает характеристики детекторов. Поскольку в настоящее время разработаны малогабаритные микрохолодильники, обеспечивающие температуру - (40 ÷ 60) °C при малой потребляемой мощности (~ 10 Вт) [9], описанные детекторы могут быть использованы в полевой и скважинной аппаратуре для элементного анализа вещества.

Авторы выражают благодарность Г. Н. Флеорову за постоянный интерес к работе.

Поступила в Редакцию 6/VIII 1976 г.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Аркадьева Е. Н. и др. ЖТФ, 1966, т. 6, с. 1146.
2. Аркадьева Е. Н. и др. «Физика и техника полупроводников», 1968, т. 2, с. 279.
3. Матвеев О. А., Аркадьева Е. Н., Гончаров Л. А. «Докл. АН СССР», 1975, т. 221, № 2, с. 325.
4. Аркадьева Е. Н. и др. Там же, № 1, с. 77.
5. Siffert P. e.a. «L'onde Electrique», 1975, v. 55, N 5, p. 281.
6. Агринская Н. В. и др. «Физика и техника полупроводников», 1972, т. 6, с. 473.
7. Аркадьева Е. Н. и др. Там же, 1975, т. 9, с. 853.
8. Maslova L. e.a. In: Proc. 2nd. Intern. Symp. on Cadmium Telluride. Strasbourg. 31 June — 2 July 1976.
9. Коленко Е. А. Термоэлектрические охлаждающие приборы. М., «Наука», 1967.