

УДК 621.383

Спектры низкочастотного шума высококачественных КРТ фоторезисторов

М. С. Никитин, Г. В. Чеканова

Федеральное государственное унитарное предприятие "Альфа", Москва, Россия

Исследованы спектры низкочастотного фликкер-шума $1/f$ фотоэлектрических полупроводниковых приемников (ФЭПП) на основе фоторезисторов (ФР) из материала кадмий—ртуть—теллур (КРТ). Спектры фликкер-шума $1/f$ измерены на ФЭПП с максимумом спектральной чувствительности λ_{\max} на длине волны от 3,0 до 5,5 мкм и от 10,5 до 12,0 мкм при рабочей температуре $T_{\text{раб}} \approx 205\text{--}210$ К и $T_{\text{раб}} \approx 78$ К, соответственно. Показано, что высококачественные КРТ фоторезисторы характеризуются предельно низким уровнем спектральной плотности шума $1/f$, а граничная частота шума $1/f$ при оптимально высоких значениях фотоэлектрических параметров составляет 10–150 Гц.

Природа низкочастотного фликкер-шума $1/f$ в ФР до настоящего времени не ясна. Фликкер-шум проявляется только тогда и всегда, когда через ФР протекает постоянный ток [1, 2]. Спектральная плотность фликкер-шума S_I описывается эмпирическим выражением [2]:

$$S_I = B \frac{I^\alpha}{f^\beta},$$

где B — константа;

α — коэффициент, имеющий величину от 1,5 до 4,0;

β — коэффициент, имеющий величину от 0,8 до 1,5.

Предполагают, что фликкер-шум в ФР возникает вследствие флуктуационных явлений, имеющих место на контактах металл—полупроводник или на границах раздела диэлектрическая пленка—полупроводник или на дефектах структуры в объеме полупроводникового материала $\text{Hg}_{1-x}\text{Cd}_x\text{Te}$ и проявляющихся в момент протекания постоянного тока через фоторезистор [3–7].

В этой связи понятно, что при прочих равных условиях использование более качественного исходного полупроводникового материала $\text{Hg}_{1-x}\text{Cd}_x\text{Te}$ и применение более совершенной технологии изготовления фоточувствительных элементов (ФЧЭ) должно приводить в результате к уменьшению вероятности и интенсивности флуктуационных процессов и, следовательно, к снижению спектральной плотности и граничной частоты шума $1/f$ F_c .

В статье представлены результаты исследования спектров фликкер-шума $1/f$ ФЭПП с максимумом спектральной чувствительности λ_{\max} на длине волны 3,0–5,5 мкм и 10,5–12,0 мкм. ФЭПП разработаны и изготавливаются ФГУП "Альфа", Москва, Россия и предназначены для использования в контрольно-измерительном оборудовании и формирователях изображения тепловизионных систем широкого применения.

Конструкция фоточувствительных элементов

Фоточувствительные элементы (ФЧЭ) были изготовлены из объемного монокристаллического полупроводникового материала $\text{Hg}_{1-x}\text{Cd}_x\text{Te}$ n -типа проводимости.

Для изготовления ФЧЭ с максимумом спектральной чувствительности λ_{\max} на длине волны 3,0–5,5 мкм использовались пластины $n\text{-Hg}_{1-x}\text{Cd}_x\text{Te}$ ($x \approx 0,25\text{--}0,35$), концентрация и подвижность основных носителей заряда при $T = 77$ К составляли $n_{77} \approx (1\text{--}5) \cdot 10^{14}$ см^{-3} и $\mu_{77} \geq 10^4$ $\text{см}^2/(\text{В}\cdot\text{с})$. Рабочая температура ФЧЭ обеспечивалась трехкаскадным ТЭО и составляла $T_{\text{раб}} \approx 205\text{--}210$ К при температуре теплоотводящего радиатора 20–30 °С.

Для изготовления ФЧЭ с максимумом спектральной чувствительности λ_{\max} на длине волны от 10,5 до 12,0 мкм использовались пластины $n\text{-Hg}_{1-x}\text{Cd}_x\text{Te}$ ($x \approx 0,210\text{--}0,220$), концентрация и подвижность основных носителей заряда при $T = 77$ К составляли $n_{77} \approx (1,5\text{--}6,5) \cdot 10^{14}$ см^{-3} и $\mu_{77} \geq 10^5$ $\text{см}^2/(\text{В}\cdot\text{с})$, рабочая температура ФЧЭ — $T_{\text{раб}} \approx 78$ К.

Для изготовления ФЧЭ использовалась групповая мезапланарная технология. Рабочий слой КРТ толщиной 10–13 мкм формировался на несущей подложке. Нижняя и фронтальная поверхности слоя КРТ были закрыты оптимальным защитно-пассивирующим покрытием, которое обеспечивает достижение высоких значений ФЭП и долговременную стабильность параметров приборов в различных условиях работы и хранения. Формирование топологии и точных размеров ФЧЭ производилось методом ионного профилирования слоя КРТ коллимированным пучком ионов аргона.

ФЧЭ с размером фоточувствительной области 0,25×0,25 и 1×1 мм имели топологию “Сплит” [8] (рис. 1, а, б), которая формирует компактную фоточувствительную площадь заданного размера с увеличенной протяженностью ФЧЭ вдоль пути протекания постоянного тока смещения от 4□ до 10□.

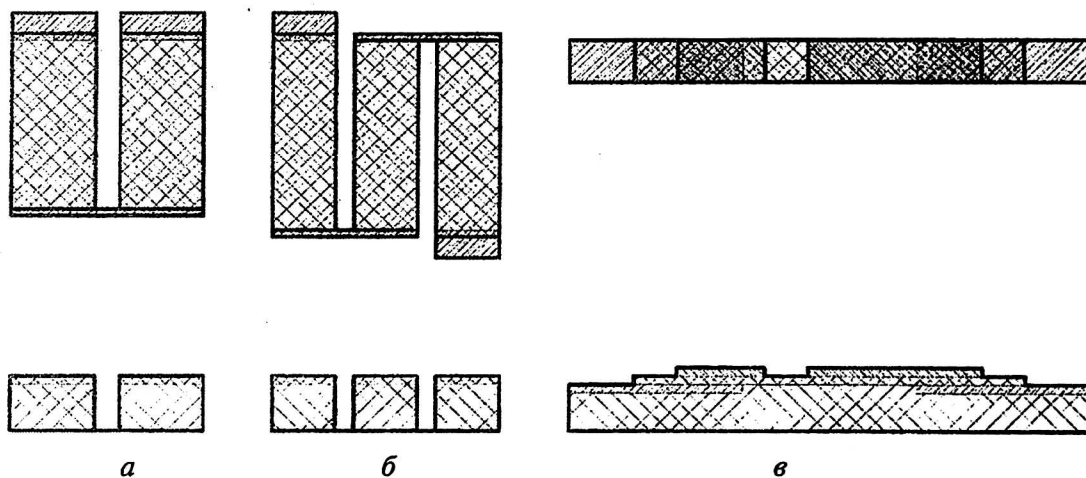


Рис. 1. Топология чувствительной площадки ФЧЭ с зазорами — 0,015 мм и размерами:

а — 25×25 мкм (“Сплит 2”); б — 1×1 мм (“Сплит 3”); в — 50×50 мкм с “затеняющим экраном”.

Заштрихованные области — контакты; прозрачные крест-штрихованные области — фоточувствительные области площадок

ФЧЭ с размером фоточувствительной области 50×50 мкм имели структуру с “затеняющим экраном” [9, 10], позволяющим устранить влияние эффекта “выметания” неравновесных носителей заряда (рис. 1, в). Размер открытой области КРТ вдоль пути протекания постоянного тока смещения составлял примерно 2,5□. Чувствительная область 50×50 мкм (1□) формировалась “затеняющим экраном” и располагалась асимметрично относительно контактных электродов (см. рис. 1, в).

Применение таких конструкций ФЧЭ позволило существенно поднять величину темнового сопротивления фоточувствительных элементов, значительно увеличить вольтговую чувствитель-

ность при малых значениях тока смещения и уменьшить спектральную плотность низкочастотного шума $1/f$.

В работе приводятся результаты, полученные на ФЭПП с ФЧЭ различной конструкции, которые условно обозначены номерами № 1–3:

ФЧЭ № 1 с размером чувствительной области 25×25 мкм имел структуру “Сплит 2” (см. рис. 1, а). Эффективная протяженность вдоль пути протекания постоянного тока смещения — 4□;

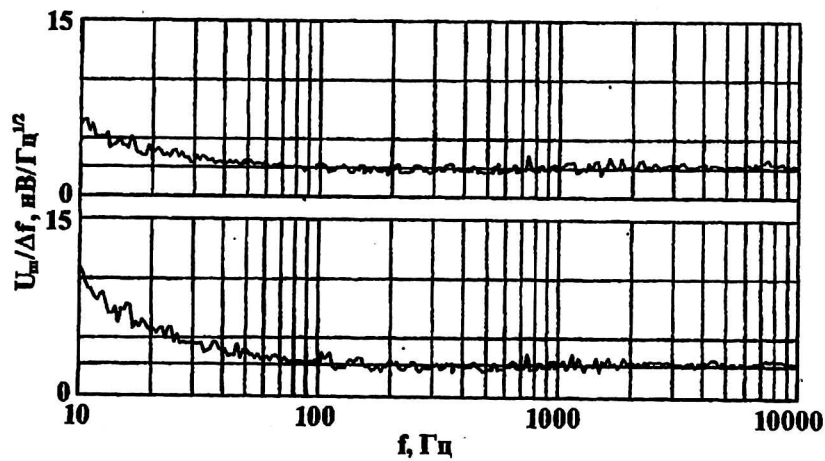
ФЧЭ № 2 с размером чувствительной области 1×1 мм имел структуру “Сплит 3” (см. рис. 1, б). Эффективная протяженность вдоль пути протекания постоянного тока смещения — 10□;

ФЧЭ № 3 с размером чувствительной области 50×50 мкм имел конструкцию с “затеняющим экраном” (см. рис. 1, в). Размер открытой области

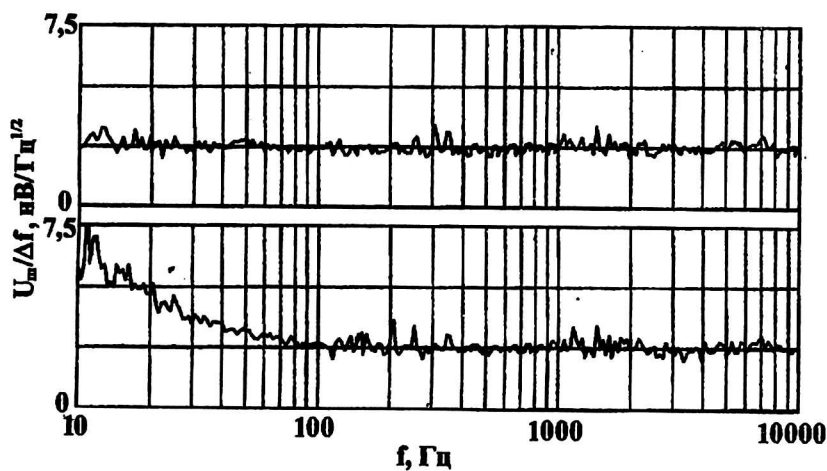
КРТ между контактами вдоль пути протекания постоянного тока смещения составлял примерно 2,5□.

Характеристики спектральной плотности низкочастотного шума

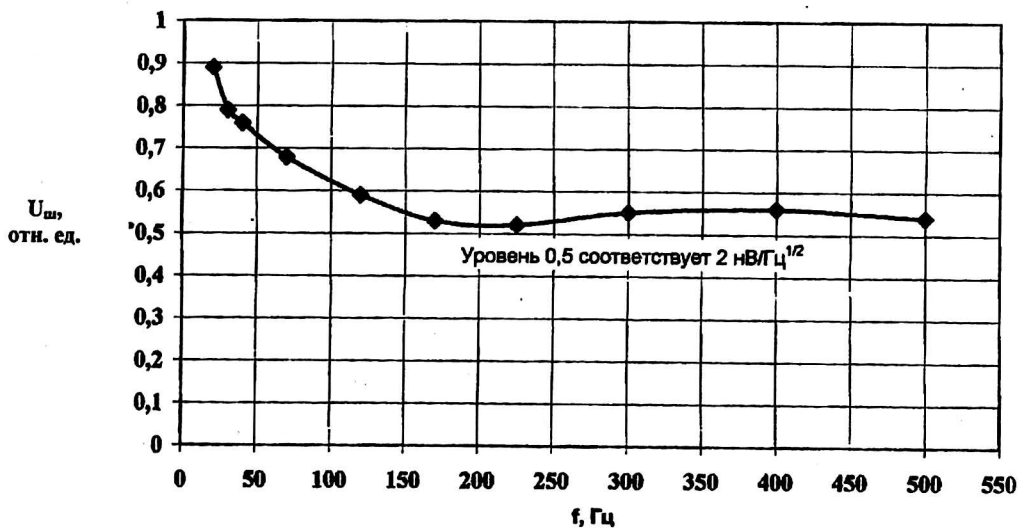
Типичные характеристики спектральной плотности низкочастотного шума ФЧЭ № 1–3 представлены на рис. 2(а–в). Основные фотоэлектрические параметры исследованных КРТ фоторезисторов приведены в таблице.



a



b



в

Рис. 2. Спектральная плотность низкочастотного шума ФЭПШ:
 а — с ФЧЭ № 1, ток смещения $I_{см} = 0,75$ и $1,0$ мА; б — с ФЧЭ № 2, ток смещения $I_{см} = 0,18$ и $0,31$ мА;
 в — с ФЧЭ № 3, ток смещения $I_{см} = 1,2$ мА

Фотоэлектрические параметры КРТ фоторезисторов

№ ФЧЭ	Состав КРТ "x", мол. д.	Размер ФЧЭ А, мм×мм	Раб. темп. $T_{\text{раб}}$, К	Длина волны λ_{max} , МКМ	Длина волны $\lambda_{\text{со}}$, МКМ	Темн. сопр. R_T , Ом	Ток смещ. $I_{\text{см}}$, мА	Гр. ч-та F_c , Гц	Уд. обнар. способн. $D^*_{\lambda_{\text{max}}}$, см·Гц ^{1/2} ·Вт ⁻¹	Вольт. чувств. $S_{U_{\lambda_{\text{max}}}}$, В/Вт
1	0,250	0,25×0,25	205	5,4	6,2	310	≤1	20	1,5Е10	2,0Е3
2	0,270	1×1	205	4,6	5,4	1360	≤0,3	40	4,5Е10	5,0Е2
3	0,210	0,05×0,05	78	11	12,5	75	1,2	150	1,0Е11	1,0Е5

Из приведенных зависимостей следует, что исследованные КРТ фоторезисторы характеризуются предельно низким уровнем спектральной плотности шума $1/f$, причем граничная частота шума $1/f F_c$ снижена вплоть до 10 Гц. Низкий уровень спектральной плотности шума $1/f$ и оптимально высокие значения удельной обнаружительной способности $D^*_{\lambda_{\text{max}}}$ (λ_{max} , 500 К, 1200 Гц, 1 Гц) и вольтовой чувствительности $S_{U_{\lambda_{\text{max}}}}$ (λ_{max} , 500 К, 1200 Гц) достигаются при малых величинах тока смещения в диапазоне 0,2–2,0 мА.

Заключение

Показано, что высококачественные ФЭПП на основе ФР КРТ характеризуются предельно низким уровнем спектральной плотности шума $1/f$ и обладают высокими значениями основных фотоэлектрических параметров. Приборы могут использоваться без ухудшения пороговой чувствительности, начиная с частот 10–150 Гц, и предлагаются для применения в контрольно-измерительном оборудовании и формирователях изображения тепловизионных систем широкого применения. Выпускаемые ФГУП "Альфа" ФЭПП на основе КРТ фоторезисторов по тех-

ническим параметрам, в том числе по параметрам шума и эксплуатационным характеристикам, не уступают аналогичным изделиям ведущих мировых производителей, таких как Judson Technologies Inc. (США), British Aerospace Electronics (BAE) Systems Infra-Red Ltd. (Великобритания), Hamamatsu (Япония/США).

Литература

1. Ван дер Зил А. Шумы при измерениях. — М.: Мир. 1979.
2. Курбатов Л. Н. Оптоэлектроника видимого и инфракрасного диапазонов спектра. — М.: МФТИ. 1999.
3. Hanafi H. I., Van der Ziel A.// Physica B, 1978. V. 94. P. 351.
4. Oda N., Yamagata T.// International Journal of IR & mm Waves, 1987. V. 8. P. 133.
5. Zheng W. J., Zhu X. C.// Infrared Physics, 1992. V. 33. № 1. P. 27.
6. Fastow R.// Solid-State Electronics, 1992. V. 35. P. 1025.
7. Shiebel R. A.// IEEE Trans. On Electron Dev., 1994. V. 41. P. 768.
8. Blackman M. V., Jenner M. D.// UK Patent Application, 1980. № 2027985A.
9. Kinch M. A., Borello S. R., Breazeale D. H., Simmons A.// Infrared Physics. 1977. V. 17. № 2. P. 137.
10. Sano M., Miyamoto K., Oda N., Fujino Y.// Proceedings of SPIE. 1996. V. 2744. P. 2.

Low-frequency noise spectra of high quality MCT photoconductors

M. S. Nikitin, G. V. Chekanova

Federal State Unitary Enterprise ALPHA, Moscow, Russia

Low-frequency flicker-noise $1/f$ spectra were examined on Photoconductive Mercury-Cadmium Telluride (PC MCT) infrared radiation detectors. Noise measurements were carried out on PC MCT detectors with peak wavelength λ_p from 3,0 to 5,5 μm and from 10,5 to 12,5 μm at operating temperature $T_{\text{op}} \approx 205\text{--}210$ K and $T_{\text{op}} \approx 78$ K respectively. High quality PC MCTs show extremely low spectral density of excess noise $1/f$ and low values of noise-knee frequency from 10 to 150 Hz. Tested PC MCTs demonstrate high-level performance.