

ПЛАТИНОСОДЕРЖАЩИЙ ДЕТЕКТИРУЮЩИЙ ЭЛЕМЕНТ ТЕРМОЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ОДНОФОТОННОГО ДЕТЕКТОРА

А.А. КУЗАНЯН, В.Р. НИКОГОСЯН, А.С. КУЗАНЯН*

Институт физических исследований НАН Армении, Аштарак, Армения

*e-mail: akuzanyan@yahoo.com

(Поступила в редакцию 8 декабря 2023 г.)

Методом компьютерного моделирования изучены процессы распространения тепла и определены шумы в трехслойном детектирующем элементе термоэлектрического однофотонного детектора, состоящем из поглотителя (Pt), термоэлектрического сенсора ($\text{La}_{0.99}\text{Ce}_{0.01}\text{B}_6$) и теплоотвода (Pt, Mo). Исследовано поглощение фотонов с энергией 0.8–7.1 эВ (1550–175 нм) в поглотителях различной толщины, обеспечивающей высокую эффективность поглощения. Моделирование проводилось на основе уравнений распространения тепла из ограниченного объема. Изучены временные зависимости возникающего на сенсоре сигнала. Определены мощность сигнала, эквивалентная мощность шума и отношение сигнал/шум. Показано, что детектирующий элемент с платиновым поглотителем может уверенно регистрировать одиночные фотоны с энергией 3.1–7.1 эВ.

1. Введение

Однофотонные детекторы востребованы в различных областях науки и техники [1, 2]. С развитием современных технологий, использованием детекторов для решения все более сложных задач, возрастают и предъявляемые к их характеристикам требования [3, 4]. Высокими характеристиками, открывающими широкую возможность их использования в различных квантовых технологиях, обладают сверхпроводящие нанопроволочные однофотонные детекторы (SNSPD) [5–9]. Наряду с этим, SNSPD применяются и в других областях [10–14]. SNSPD могут также служить компонентом оптических микрочипов [15–17] и применяться в многопиксельных матрицах, в том числе в SNSPD камере с разрешением 400 000 пикселей [18–21].

Со сверхпроводящими детекторами могут конкурировать термоэлектрические однофотонные детекторы (TSPD) [22]. Они не требуют строгих ограничений рабочей температуре и дополнительного тока смещения [23, 24]. Детектирующий элемент TSPD имеет очень простую конструкцию в которой поглотитель и теплоотвод служат одновременно электродами для регистрации возникающего на термоэлектрическом сенсоре напряжения. Путем компьютерного моделирования мы исследовали процессы распространения тепла в термоэлектрическом детектирующем элементе различной конструкции [25–27]. Показано, что TSPDs могут обладать высокой эффективностью и скоростью счета в широкой области электромагнитного спектра. В данной работе изучаются процессы распространения

тепла в трехслойных детектирующих элементах. На диэлектрической подложке последовательно расположены друг на друге теплоотвод, термоэлектрический сенсор и поглотитель. Исследована зависимость мощности сигнала и эквивалентной мощности шума детектирующих элементов от энергии поглощенного фотона.

2. Параметры моделирования

Одним из основных характеристик однофотонных детекторов является их системная эффективность, определяемая как отношение числа зарегистрированных фотонов к числу достигших детектор фотонов. Системная эффективность зависит от эффективности оптической связи фотона и детектирующего элемента, эффективности поглощения фотона и эффективности регистрации уже поглощенного фотона. Эффективность оптической связи может быть достигнута использованием антиотражающего покрытия. Эффективность поглощения фотона определяется коэффициентом поглощения излучения в материале и его толщиной. Эффективность регистрации уже поглощенного фотона определяется отношением сигнал/шум (SNR) детектирующего элемента. Последние два фактора мы будем учитывать для определения оптимальной конструкции детектирующего элемента TSPD.

Рассматриваем поглощение одиночных фотонов с энергией 0.8, 1.65, 3.1 и 7.1 эВ. В табл.1 приведены значения коэффициента поглощения излучения в различных металлах [28]. Видно, что ультрафиолет лучше поглощают вольфрам и молибден, а для ближнего инфракрасного диапазона, особенно для длины волны 1550 нм, перспективными являются поглотители из платины. Детекторы ультрафиолетового диапазона применяются преимущественно в астрофизике. Более широкое применение имеют детекторы ближней инфракрасной области. Это и телекоммуникация, и квантовые технологии, и многое другое. Не трудно посчитать, что вероятность поглощения фотонов с длиной волны 1550 нм в платиновом поглотителе толщиной 30, 25, 20 и 15 нм будет равна 98.1, 96.2, 92.8 и 86%, соответственно, что обеспечивает высокую эффективность поглощения. Для достижения высокой эффективности регистрации уже поглощенного фотона необходимо добиться высокой мощности сигнала при малой мощности шума детектирующего элемента. Для решения этой задачи останавливаем выбор на термоэлектрическом сенсоре из гексаборида лантана–церия ($\text{La}_{0.99}\text{Ce}_{0.01}\text{B}_6$) с высоким коэффициентом Зеебека при 1К. В качестве материала теплоотвода используем платину и молибден. Расположим трехслойный детектирующий элемент на диэлектрической подложке из сапфира. Итак, мы будем исследовать характеристики детектирующих элементов двух типов, отличающихся по

Табл.1. Коэффициент поглощения излучения для различных металлов

E , эВ	λ , нм	α , 10^{+6} см^{-1}			
		W	Pb	Mo	Pt
7.1	175	1.6024	0.7769	1.5190	1.1283
3.1	400	1.526	1.2263	1.6095	0.9694
1.65	750	1.4143	1.2055	1.7894	1.2573
0.8	1550	1.1667	1.1857	1.1453	1.3128

материалу теплоотвода: Pt (поглотитель) / $\text{La}_{0.99}\text{Ce}_{0.01}\text{B}_6$ (сенсор) / Pt или Mo (теплоотвод) / Al_2O_3 (подложка), которым для краткости присвоим обозначения PLP и PLM. Физические параметры материалов конструкции детектирующих элементов, которые используются как при моделировании тепловых процессов, так и при определении мощности шума, приведены в табл.2 [29–37].

Табл.2. Физические параметры материалов при 1К

Параметры	Материал			
	Al_2O_3	(La, Ce) B_6	Mo	Pt
Плотность, кг/м ³	4000	4720	10280	
Удельная теплоемкость, Дж/(кг К)	0.002	0.13	0.02	0.035
Теплопроводность, Вт/(м К)	20	1.1	60	231
Коэффициент Зеебека, мкВ/К		105		
Удельное сопротивление, Ом м		2×10^{-8}	7×10^{-12}	2×10^{-12}

Компьютерное моделирование процессов распространения тепла в детектирующих элементах после поглощения фотона в центре поверхности поглотителя проводилось на основе уравнения теплопередачи из ограниченного объема с использованием трехмерного матричного метода. Используемая методика позволяет определить температуру в любой области детектирующего элемента в любой момент времени после термализации фотона. Методика расчетов, принятые ограничения и приближения подробно описаны в работе [25].

В фотонных тепловых сенсорах преобладают тепловой и Джонсоновский шум. Эквивалентная мощность шума описывается уравнениями, приведенными в работе [38]. Мощность суммарного шума (P_N) и возникающего на сенсоре сигнала (P_S), а также отношение сигнала к шуму (SNR) определялись используя уравнения Джонсоновского и теплового шума трехслойного детектирующего элемента TSPD [39]. Эквивалентная мощность теплового шума определялась по уравнению

$$\text{NEP}_T^2 = 4k_B T^2 (4A\varepsilon\sigma_{\text{SB}} T^3 + k_3 d_3),$$

где k_B – постоянная Больцмана, T – рабочая температура, A – площадь поверхности детектирующего элемента, σ_{SB} – постоянная Стефана-Больцмана, k_3 и d_3 – теплопроводность и толщина теплоотвода. Для эквивалентной мощности Джонсоновского шума нами получено уравнение

$$\text{NEP}_J^2 = 4k_B T (\rho_1 d_1 / A + \rho_2 d_2 / A) (4A\varepsilon\sigma_{\text{SB}} T^3 + k_1 d_1 + k_2 d_2)^2 / |S|^2,$$

где S – коэффициент Зеебека материала сенсора, ρ_1 , d_1 , k_1 и ρ_2 , d_2 , k_2 – удельное сопротивление, толщина и теплопроводность поглотителя и сенсора, соответственно. Сумарная эквивалентная мощность шума в единицах ($\text{ВтГц}^{-1/2}$) рассчитывается по уравнению $\text{NEP} = (\text{NEP}_T^2 + \text{NEP}_J^2)^{1/2}$. Мощность суммарного шума P_N в единицах (Вт) для полосы частот измерения Δf определяется по уравнению $P_N = \text{NEP} \times \Delta f^{1/2}$.

Мгновенная мощность электрического сигнала устройства с сопротивлением R , на котором возникает напряжение V , равна $P(t) = V^2(t)/R$. Для термоэлектрического детектирующего элемента $V(t) = S \times \Delta T_{\text{avs}}$, где S – коэффициент Зеебека материала сенсора, а ΔT_{avs} – градиент усредненной температуры на границах сенсора. Усредненная за период τ мощность сигнала равна

$$P = \frac{1}{\tau} \int_0^{\tau} P(t) dt .$$

Мы можем рассчитать мощность сигнала, возникающего на датчике, так как из данных моделирования мы можем узнать возникающий на сенсоре градиент температуры и время затухания сигнала. При определении SNR нужно учитывать, что мощность и сигнала, и шума должны быть определены для одной и той же полосы частот измерения, т.е. должно выполняться условие $\Delta f = 1/\tau$.

3. Результаты и обсуждение

Как отмечено выше, мы рассматриваем поглощение фотонов с энергией 0.8, 1.65, 3.1 и 7.1 эВ в детектирующих элементах PLP и PLM с площадью поверхности $1 \text{ мкм} \times 1 \text{ мкм}$ и толщиной платинового поглотителя d_1 – 30, 25, 20 и 15 нм. Толщина сенсора и теплоотвода во всех расчетах составляла 10 нм, подложки – 100 нм. Изучены временные зависимости температуры в зоне термализации, в центре границ всех слоев, в 10 точках на каждой границе с шагом 50 нм от центра и усредненной температуры поверхности слоев.

После того как мы определились с конструкцией детектирующих элементов, можем посчитать значения их эквивалентной мощности шума. Значения теплового, Джонсоновского и общего шума для каждой рассмотренной толщины d_1 и материала теплоотвода приведены в табл.3. Так как величина теплового шума не зависит от толщины поглотителя, то для всех значений d_1 имеем одно и тоже значение NEP^2_T , которое почти в 4 раза меньше у детектирующего элемента PLM. Величина Джонсоновского шума уменьшается с уменьшением d_1 и одинакова для PLM и PLP. Соответственно, суммарный шум также уменьшается с уменьшением d_1 и при каждом значении толщины поглотителя, NEP меньше для PLM детектирующего элемента.

Табл.3. Эквивалентная мощность шума PLM и PLP детектирующих элементов

d_1 , нм	PLP			PLM		
	NEP^2_T , Е-29 Вт ² Гц ⁻¹	NEP^2_J , Е-29 Вт ² Гц ⁻¹	NEP , фВтГц ^{-1/2}	NEP^2_T , Е-29 Вт ² Гц ⁻¹	NEP^2_J , Е-29 Вт ² Гц ⁻¹	NEP , фВтГц ^{-1/2}
30	12.8	4.83	13.26	3.31	4.83	9.022
25		3.35	12.69		3.35	8.164
20		2.15	12.21		2.15	7.389
15		1.21	11.82		1.21	6.725

3.1. Детектирование фотонов с энергией 0.8 эВ

Закономерности распространения тепла из зоны термализации фотона практически одинаковы для обоих типов детектирующих элементов и различных толщин поглотителя. Отличаются только численные значения параметров, характеризующих временную зависимость изменения температуры. Мы рассмотрим следующие параметры: значение максимума (T_m), время достижения максимума (t_m), время спада температуры до фонового значения (t_b), которое отличается от рабочей температуры на 0.1 мК. На рис.1 представлена временная

зависимость изменения температуры на различных участках поверхности сенсора. Мы можем констатировать, что с удалением от центра поверхности параметр T_m убывает, параметр t_m возрастает. Эта закономерность выполняется для всех слоев, для всех рассмотренных конструкций детектирующего элемента.

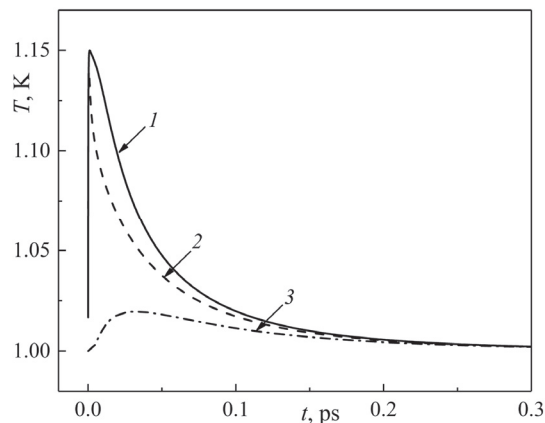


Рис.1. Временная зависимость температуры на поверхности сенсора детектирующего элемента PLM с толщиной поглотителя 20 нм, расстояние от центра: 1 – 0 мкм, 2 – 0.25 мкм, 3 – 0.5 мкм.

На рис.2 приведены значения параметров T_m и t_b временной зависимости температуры участков на удалении l от центра поверхности сенсора (1, 3) и теплоотвода (2, 4) детектирующего элемента PLM. С удалением от центра параметр T_m уменьшается, и он значительно меньше на поверхности теплоотвода. Параметр t_b также значительно меньше для поверхности теплоотвода. Можем сформулировать вторую закономерность распространения тепла в трехслойном детектирующем элементе. Чем дальше от зоны термализации находится слой, тем меньшие температуры достигаются на его поверхности. В результате, на термоэлектрическом сенсоре образуется градиент температуры, возникает электрическое напряжение, позволяющее зафиксировать факт поглощения фотона.

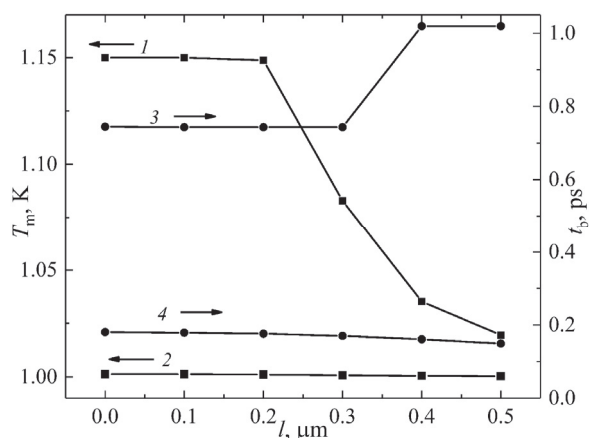


Рис.2. Значения параметров T_m и t_b функции $T(t)$ на расстоянии l от центра по данным с поверхности сенсора (1, 3) и теплоотвода (2, 4) детектирующего элемента PLM с толщиной поглотителя 20 нм.

На рис.3 приведены значения максимума градиента усредненной температуры на границах сенсора (ΔT_{am}) и ширины на полувысоте (FWHM) зависимости $\Delta T_a(t)$ от толщины поглотителя. Эти параметры имеют одинаковые значения для PLM и PLP детектирующих элементов. Можно видеть, что с уменьшением толщины поглотителя значения параметра ΔT_{am} возрастают, а параметра FWHM – убывают. Это третья закономерность распространения тепла поглощенного фотона. Более высокие значения параметра ΔT_{am} обеспечивают более высокую мощность сигнала. Чем меньше параметр FWHM тем меньше временное разрешения детектора, т.е. больше скорость счета. Однако не следует забывать, что меньшим толщинам поглотителя соответствует меньшая эффективность поглощения фотонов.

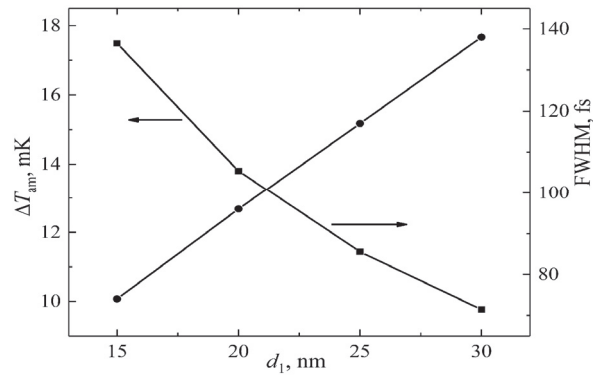


Рис.3. Зависимость максимума градиента усредненной температуры на границах сенсора (ΔT_{am}) и полной ширины на полувысоте (FWHM) функции $\Delta T_a(t)$ от толщины поглотителя.

В табл.4 приведены значения полосы частот измерения сигнала, мощности шума, мощности сигнала и SNR для обоих типов детектирующего элемента. Можно видеть, что с уменьшением толщины поглотителя все эти параметры возрастают. Параметры Δf и P_s имеют одинаковые значения для обоих типов детектирующего элемента. Детектирующий элемент PLM, при каждом значении d_1 , имеет меньшую мощность шума, чем PLP, что и определяет большие значения SNR детектирующего элемента с Mo теплоотводом. Однако и для PLM значения SNR меньше единицы. Следует вывод, что детектирующие элементы PLM и PLP рассмотренной геометрии не могут эффективно регистрировать фотоны с энергией 0.8 эВ.

Табл.4. Значения параметров Δf , P_N , P_s и SNR детектирующих элементов PLP и PLM при разных толщинах поглотителя

d_1, nm	PLP				PLM			
	$\Delta f, \text{ГГц}$	$P_N, \text{нВт}$	$P_s, \text{нВт}$	SNR	$\Delta f, \text{ГГц}$	$P_N, \text{нВт}$	$P_s, \text{нВт}$	SNR
30	1.05	13.61	0.55	0.04	1.05	9.26	0.55	0.06
25	1.19	13.82	0.72	0.05	1.19	8.89	0.72	0.08
20	1.36	14.25	0.99	0.07	1.36	8.62	0.99	0.12
15	1.61	15.01	1.45	0.1	1.61	8.54	1.45	0.17

3.2. Детектирование фотонов с различной энергией

В предыдущем параграфе мы установили, что при прочих равных условиях детектирующий элемент с молибденовым теплоотводом и толщиной поглотителя 15 нм обеспечивает наиболее высокое значение SNR при поглощении фотонов ближнего ИК диапазона с энергией 0.8 эВ. В данном параграфе рассмотрим характеристики детектирующего элемента PLM с толщинами слоев $d_1 = 15$ нм, $d_2 = d_3 = 10$ нм при поглощении фотонов с более высокой энергией: 1.65 эВ – граница видимой и ИК области, 3.1 эВ – ближняя ультрафиолетовая область и 7.1 эВ – далекий ультрафиолет. Характеристики детектирующего элемента PLM с такой геометрией представлены в табл. 5.

Можно видеть, что с увеличением энергии фотона параметры Δf и P_N уменьшаются, а P_S – увеличивается. В результате, с увеличением энергии увеличивается отношение мощности сигнала к мощности шума также, и для УФ фотонов мы имеем $SNR > 1$.

Табл.5. Значения параметров Δf , P_N , P_S и SNR детектирующего элемента PLM при разных энергиях поглощенного фотона

E , эВ	Δf , ГГц	P_N , нВт	P_S , нВт	SNR
0.8	1.61	8.54	1.45	0.17
1.65	1.41	7.99	5.38	0.67
3.1	1.27	7.59	17.2	2.26
7.1	1.13	7.14	79.8	11.2

4. Заключение

Исследована зависимость параметров трехслойных детектирующих элементов TSPD, состоящих из расположенных на сапфировой подложке платинового или молибденового теплоотвода, термоэлектрического сенсора из гексаборида лантана-церия и платинового поглотителя. Методом компьютерного моделирования изучены процессы распространения тепла в этих детектирующих элементах после поглощения фотонов с энергией 0.8–7.1 эВ. Изучены временные зависимости изменения температуры в различных участках детектирующего элемента и усредненной температуры поверхности слоев. Установлены закономерности распространения тепла, определена мощность шума и сигнала, а также отношение сигнала к шуму детектирующих элементов с различной толщиной поглотителя. Установлено, что SNR больше у детектирующих элементов с молибденовым теплоотводом. Полученные значения SNR позволяют заключить, что чувствительный элемент TSPD с платиновым поглотителем рассмотренной конструкции не может эффективно регистрировать фотоны ИК области, но может уверенно регистрировать фотоны УФ диапазона.

Авторы благодарны А.М. Гуляну за интерес к работе и полезные дискуссии.

Исследование выполнено при финансовой поддержке Комитета по науке РА в рамках научного проекта №21Т-1С088 «Разработка сенсора термоэлектрического детектора ультрафиолетового излучения с учетом тепловых шумов».

ЛИТЕРАТУРА

1. F. Ceccarelli, G. Acconcia, A. Gulinatti, M. Ghioni, I. Rech, R. Osellame. *Adv. Quantum Technol.*, **4**, 2000102 (2021).
2. H. Yokota, A. Fukasawa, M. Hirano, T. Ide. *Appl. Sci.*, **11**, 2773 (2021).
3. K.D. Irwin. *Scientific American*, **295**, 86 (2006).
4. T. Yamashita, S. Miki, H. Terai, Z. Wang. *Optics Express*, **21**, 27177 (2013).
5. I.E. Zadeh, J. Chang, J.W.N. Los, S. Gyger, A.W. Elshaari, S. Steinhauer, S.N. Dorenbos, V. Zwiller, *Appl. Phys. Lett.*, **118**, 190502 (2021).
6. C.H. Bennett, D. P. DiVincenzo, *Nature*, **404**, 247 (2000).
7. R.H. Hadfield. *Nature Photonics*, **3**, 696 (2009).
8. T. Yamashita, S. Miki, H. Terai. *IEICE Transactions on Electronics*, **E100-C**, 274 (2017).
9. D. Zhu, M. Colangelo, B.A. Korzh, Q-Y. Zhao, S. Frasca, A.E. Dane, A.E. Velasco, A.D. Beyer, J.P. Allmaras, E. Ramirez, W.J. Strickland, D.F., Santavicca, M.D. Shaw, K.K. Berggren. *Appl. Phys. Lett.*, **114**, 042601 (2019).
10. N. Zen, A. Casaburi, S. Shiki, K. Suzuki, M. Ejrnaes, R. Cristiano, M. Ohkubo. *Appl. Phys. Lett.*, **95**, 172508 (2009).
11. R. Sobolewski, A. Verevkin, G. Gol'Tsman, A. Lipatov, K. Wilsher. *IEEE Trans. Appl. Supercond.*, **13**, 1151 (2003).
12. W. Guerin, A. Dussaux, M. Fouch, G. Labeyrie, J.-P. Rivet, D. Vernet, F. Vakili, R. Kaiser. *Mon. Not. R. Astron. Soc.*, **472**, 4126 (2017).
13. G.G. Taylor, D. Morozov, N.R. Gemmell, K. Erotokritou, S. Miki, H. Terai, R.H. Hadfield. *Opt. Express*, **27**, 38147 (2019).
14. C. Schuck, W.H.P. Pernice, X. Ma, H. X. Tang. *Appl. Phys. Lett.*, **102**, 191104 (2013).
15. S. Gyger, J. Zichi, L. Schweickert, A.W. Elshaari, S. Steinhauer, S.F.C. da Silva, A. Rastelli, V. Zwiller, K.D. Jöns, C. Errando-Herranz. *Nat Commun*, **12**, 1408 (2021).
16. E. Lomonte, M.A. Wolff, F. Beutel, S. Ferrari, C. Schuck, W.H.P. Pernice, F. Lenzini. *Nat Commun*, **12**, 6847 (2021).
17. Y. Dai, K. Jia, G. Zhu, H. Li, Y. Fei, Y. Gu, H. Yuan, H. Wang, X. Jia, Q. Zha, L. Kang, J. Chen, S-n. Zhu, P. Wu, Z. Xie, L. Zhang. *PhotonIX*, **4**, 7 (2023).
18. E.E. Wollman, V.B. Verma, A.E. Lita, W.H. Farr, M.D. Shaw, R.P. Mirin, S.W. Nam. *Opt. Express*, **27**, 35279 (2019).
19. A.N. Mc Caughan, Y. Zhai, B. Korzh, J.P. Allmaras, B.G. Oripov, M.D. Shaw, S.W. Nam. *Appl. Phys. Lett.*, **121**, 102602 (2022).
20. Y. Dai, K. Jia, G. Zhu, H. Li, Y. Fei, Y. Gu, H. Yuan, H. Wang, X. Jia, Q. Zha, L. Kang, J. Chen, S-n. Zhu, P. Wu, Z. Xie, L. Zhang. *PhotonIX*, **4**, 7 (2023).
21. B.G. Oripov, D.S. Rampini, J. Allmaras, M.D. Shaw, S.W. Nam, B. Korzh, A.N. McCaughan. *Nature*, **622**, 730 (2023).
22. A. Gulian, K. Wood, D. Van Vechten, G. Fritz. *J. Mod. Opt.*, **51**, 1467 (2004).
23. A.A. Kuzanyan, V.R. Nikoghosyan, A.S. Kuzanyan. *J. Contemp. Phys.*, **53**, 73 (2018).
24. A.A. Kuzanyan, V.R. Nikoghosyan, A.S. Kuzanyan. *IEEE Sens. J.*, **20**, 3040 (2020).
25. A.A. Kuzanyan, V.R. Nikoghosyan, A.S. Kuzanyan. *IEEE Sens. J.*, **20**, 12776 (2020).
26. A.A. Kuzanyan, V.R. Nikoghosyan, N.G. Margiani, G.A. Mumladze, S.R. Harutyunyan, A.S. Kuzanyan. *J. Contemp. Phys.*, **57**, 174 (2022).
27. A.A. Kuzanyan, A.S. Kuzanyan, V.R. Nikoghosyan, V.T. Tatoyan, V.S. Kuzanyan, S.R. Harutyunyan, G.Ts. Kharatyan, G.R. Badalyan. *J. Contemp. Phys.*, **58**, 155 (2023).
28. W.S.M. Werner, K. Glantschnig, C. Ambrosch-Draxl. *J. Phys Chem Ref. Data*, **38**, 1013 (2009).

29. **G.T. Furukawa, T.B. Douglas, R.E. McCoskey, D.C. Ginnings.** J. Research National Bureau Stand., **57**, 67 (1956).
30. **R. Berman, E. L. Foster and J. M. Ziman.** Proceedings of the Royal Society of London. Series A, Mathematical and Physical Sciences, **231**, 130 (1955).
31. **P.D. Desai, T.K. Chu, H.M. James, C.Y. Ho.** J Phys.Chem.Ref. Data, **13**, 1069 (1984).
32. **A. Gulian, A.M. Gulian.** Mod. Phys. Lett. B, **34**, 2050403 (2020).
33. **K. Samwer, K. Winzer.** Z Physik B, **25**, 269 (1976).
34. **W. Duffy, S. Dalal, M. Quiazon.** J Appl. Phys., **81**, 6675 (1997).
35. **R.J. Corruccini, J.J. Gniewek.** National Bureau of Standards, **21**, 12 (1960).
36. https://www.efunda.com/materials/elements/TC_Table.cfm?Element_ID=Pt
37. **J.W. Arblaster.** Johnson Matthey Technology Review, **59**, 174 (2015).
38. **U. Dillner, E. Kessler, H.-G. Meyer.** J. Sens. Sens. Syst., **2**, 85 (2013).
39. **A.A. Kuzanyan, V.R. Nikoghosyan, A.S. Kuzanyan, S.R. Harutyunyan.** J Contemp. Phys., **58**, 305 (2023).

**ՋԵՐՄԱՆԷԼԵԿՏՐԻԿ ՄԻԱՖՈՏՈՆ ԴԵՏԵԿՏՈՐԻ
ՊԼԱՏԻՆ ՊԱՐՈՒՆԱԿՈՂ ԴԵՏԵԿՏՈՂ ՏԱՐՐ**

Ա.Ա. Կուզանյան, Վ.Ռ. Նիկողոսյան, Ա.Ս. Կուզանյան

Համակարգչային մոդելավորման միջոցով ուսումնասիրվել են ջերմության տարածման պրոցեսները միաֆոտոն ջերմաէլեկտրական դետեկտորի եռաշերտ դետեկտոր տարրում, որը բաղկացած է կլանիչից (Pt), ջերմաէլեկտրական տվիչից ($\text{La}_{0.99}\text{Ce}_{0.01}\text{B}_6$) և ջերմատարից (Pt, Mo): Ուսումնասիրվել է 0.8–7.1 էՎ (1550–175 նմ) էներգիայով ֆոտոնների կլանումը տարբեր հաստության կլանիչներում՝ ապահովելով կլանման բարձր արդյունավետություն: Մոդելավորումն իրականացվել է սահմանափակ ծավալից ջերմության տարածման հավասարումների հիման վրա: Ուսումնասիրվել են տվիչի վրա առաջացող ազդանշանի ժամանակային կախվածությունները: Որոշվել են ազդանշանի հզորությունը, աղմուկի համարժեք հզորությունը և ազդանշան-աղմուկ հարաբերակցությունը: Ցույց է տրվել, որ պլատինե կլանիչով դետեկտոր տարրը կարող է հուսալիորեն գրանցել 3.1 էՎ-ից բարձր էներգիա ունեցող միակի ֆոտոններ:

**PLATINUM-CONTAINING DETECTION PIXEL OF A
THERMOELECTRIC SINGLE-PHOTON DETECTOR**

A.A. KUZANYAN, V.R. NIKOGHOSYAN, A.S. KUZANYAN

Using computer simulation, the processes of heat propagation were studied and noise was determined in a three-layer detection pixel of a thermoelectric single-photon detector, consisting of an absorber (Pt), a thermoelectric sensor ($\text{La}_{0.99}\text{Ce}_{0.01}\text{B}_6$) and a heat sink (Pt, Mo). The absorption of photons with energies of 0.8–7.1 eV (1550–175 nm) in absorbers of various thicknesses, providing high absorption efficiency, was studied. The simulation was based on the heat propagation equations from a limited volume. The temporal dependencies of the signal appearing on the sensor were studied. Signal power, noise equivalent power, and signal-to-noise ratio were determined. It was shown that a detection pixel with a platinum absorber can reliably detect single photons with the energy higher than 3.1 eV.