

УДК 621.383.45: 621.793.09

PACS: 85.60.Dw

Фоторезисторы из материала $Cd_xHg_{1-x}Te$ (обзор)

А. В. Филатов, Е. В. Сусов, В. В. Карпов, А. В. Гусаров

В обзоре выполнен анализ развития с 70-х годов прошлого века отечественной технологии изготовления высокочувствительных и стабильных фоторезисторов из твёрдых растворов тройной системы $Cd_xHg_{1-x}Te$. Вольтовая чувствительность современных фоторезисторов из гетероэпитаксиальных структур $n-Cd_xHg_{1-x}Te$, полученных методом молекулярно-лучевой эпитаксии на подложке из арсенида галлия и предназначенных на спектральный диапазон 3–5 и 8–12 мкм с размером фоточувствительной площадки 50×50 и 35×35 мкм, причем работающих в неравновесных условиях эксклюзии неосновных носителей заряда, достигает величины $Su_{\lambda max} \approx 10^7$ В/Вт с удельной обнаружительной способностью более 5×10^{11} см $Гц^{1/2}$ $Вт^{-1}$ при температуре жидкого азота и плоском угле зрения 14° . Высокая вольтовая чувствительность и малая выделяемая мощность (5×10^{-7} Вт) фоторезисторов в конструкции пиксела с радиальным смещением позволяют создавать на их основе фокальные матрицы с количеством пикселей $\approx 10^6$.

Ключевые слова: фоторезистор, гетероэпитаксиальные структуры кадмий-ртуть-теллур, ионное травление, эксклюзия неосновных носителей заряда, фокальные матрицы.

DOI: 10.51368/2307-4469-2021-9-2-112-127

ЛИТЕРАТУРА

Филатов Александр Владимирович, вед. инженер, к.т.н.

Сусов Евгений Васильевич, гл. спец., к.т.н.

Карпов Владимир Владимирович, зам. ген. директора по гражданскому приборостроению – начальник ЦКБ, к.ф.-м.н.

Гусаров Анатолий Викторович, вед. инженер.

АО «Московский завод «САПФИР».

Россия, 117545, Москва, Днепропетровский проезд, 4А, стр. 3А.

E-mail: info@mzsaphir.ru

Статья поступила в редакцию 02 марта 2021 г.

© Филатов А. В., Сусов Е. В., Карпов В. В., Гусаров А. В., 2021

1. Lawson W. D., Nelsen S., Putley E. H., Young A. S. // J. Phys. Chem. Sol. 1959. Vol. 9. No. 3. P. 325.

2. Шнейдер А. Д., Гаврищак И. В. // ФТТ. 1960. Т. 2. № 9. С. 2079.

3. Rogalski A. // Rep. Prog. Phys. 2005. Vol. 68. P. 2267.

4. www.cobham.com/media/934628/ADV10553pdf

5. Филатов А. В., Сусов Е. В., Кузнецов Н. С., Карпов В. В. // Оптический журнал. 2016. Т. 83. № 9. С. 43.

6. Курбатов Л. Н. // Вопросы оборонной техники. 1998. Сер. 11. Вып. 1(154)–2(155). С. 3.

7. Барышев Н. С. Свойства и применение узкозонных полупроводников. – Казань: Унипресс, 2000.

8. Пономаренко В. П., Филачев А. М. Инфракрасная техника и электронная оптика. Становление научных направлений (1946–2016). – М.: Физматкнига, 2016.

9. Северцев В. Н., Сусов Е. В., Варавин В. С.,

- Дворецкий С. А., Михайлов Н. Н., Чеканова Г. В. // Автометрия. 1998. № 4. С. 21.
10. Susov E. V., Sidorov Yu. G., Severtsev V. N., Komov A. A., Chekanova G. V., Dvoretzky S. A., Varavin V. S., Mikhailov N. N., Diakonov L. I. // Optoelectronics, instrumentation and data processing (Avtometriya). 1996. No. 4. P. 32.
11. Трошкин Ю. С., Филатов А. В., Алексеевичева В. С., Гусаров А. В., Коршунова А. П., Поповян Г. Э., Посевин О. П. // Прикладная физика. 1999. № 2. С. 63.
12. Поповян Г. Э., Трошкин Ю. С., Филатов А. В., Филачев А. М., Хитрова Л. М. Свидетельство на полезную модель RU № 11938 U1. 1999.
13. Smith D. L. // J. Appl. Phys. 1983. Vol. 54. No. 9. P. 5441.
14. Smith D. L. // J. Appl. Phys. 1984. Vol. 56. No. 6. P. 1663.
15. Климанов Е. А., Неверов Е. С., Поповян Г. Э., Трошкин Ю. С., Филатов А. В., Балугев В. А. // Прикладная физика. 2002. № 2. С. 76.
16. Wiedemeier H., Trivedi S. B., Whiteside R. C., Polosz W. // J. Electrochem. Soc. 1986. Vol. 133. No. 11. P. 2399.
17. Заитов Ф. А., Исаев Ф. К., Горшков А. В. Дефектообразование и диффузионные процессы в некоторых полупроводниковых твердых растворах. – Баку: Азернешр, 1984.
18. Raccah P. M., Lee U., Silberman J. A., Spicer W. E., Wilson J. A. // Appl. Phys. Lett. 1983. Vol. 42. No. 4. P. 374.
19. Silberman J. A., Morgen P., Lindan I., Spicer W. E., Wilson J. A. // J. Vac. Sci. Technol. 1982. Vol. 21. No. 1. P. 154.
20. Nitz G., Schlicht B., Dornhaus R. // Appl. Phys. Lett. 1979. Vol. 34. No. 8. P. 490.
21. Lunn M. A., Dobson P. S. // J. of Crystal Growth. 1985. Vol. 73. P. 379.
22. Пономаренко В. П., Трошкин Ю. С., Филатов А. В. // Прикладная физика. 2007. № 5. С. 71.
23. Sidorov Yu. G., Varavin V. S., Dvoretzky S. A., Liberman V. I., Mikhailov N. N., Sabinina I. V., Yakushev M. V. // J. of Growth of Crystals. 1996. Vol. 20. P. 35.
24. Varavin V. S., Dvoretzky S. A., Liberman V. I., Mikhailov N. N., Sidorov Yu. G. // J. Cryst. Growth. 1996. Vol. 159. P. 1161.
25. Свиташиев К. К., Швец В. А., Мардежов А. С., Дворецкий С. А., Сидоров Ю. Г., Спесивцев Е. В., Рыхлицкий С. В., Чикичев С. И., Придачин Д. Н. // Автометрия. 1996. № 4. С. 100.
26. Svitashkev K. K., Dvoretzky S. A., Sidorov Yu. G., Shvets V. A., Mardezhov A. S., Nis I. E., Varavin V. S., Liberman V. I., Remesnik V. G. // Cryst. Res. Technol. 1994. Vol. 29. No. 7. P. 931.
27. Филатов А. В., Сусов Е. В., Гусаров А. В., Акимова Н. М., Крапухин В. В., Карнов В. В., Шаевич В. И. // Оптический журнал. 2009. Т. 76. № 12. С. 49.
28. Филатов А. В., Сусов Е. В., Акимова Н. М., Карнов В. В., Шаевич В. И. // Успехи прикладной физики. 2015. Т. 3. № 2. С. 196.
29. Мынбаев К. Д., Иванов-Омский В. М. // ФТП. 2003. Т. 37. Вып. 10. С. 1153.
30. Филатов А. В., Сусов Е. В., Карнов В. В. // Оптический журнал. 2017. Т. 84. № 4. С. 67.
31. Болтакс Б. И. Диффузия в полупроводниках. – М.: Гос. изд-во физ.-мат. лит. 1961.
32. Филатов А. В., Лукиа В. И., Поповян Г. Э., Трошкин Ю. С., Шаронов Ю. П. // Прикладная физика. 2002. № 6. С. 123.
33. Филатов А. В., Сусов Е. В., Карнов В. В. // Оптический журнал. 2018. Т. 85. № 6. С. 58.
34. Филатов А. В., Сусов Е. В., Гусаров А. В., Карнов В. В. // Оптический журнал. 2020. Т. 87. № 12. С. 103.
35. Ashley T., Elliott C. T. // Electron. Lett. 1985. Vol. 21. P. 451.
36. Ashley T., Elliott C. T., White A. M. // SPIE Proc. 1986. Vol. 588. P. 62.
37. Djurić Z., Jović V., Matić M., Jakšić Z. // Electronics Lett. 1990. Vol. 2. P. 929.
38. Ashley T., Elliott C. T., Harker A. T. // Infrared Phys. 1986. Vol. 26. P. 303.
39. Djurić Z., Piotrowski J. // Opt. Eng. 1992. Vol. 31. P. 1955.
40. Ashley T., Elliot C. T., White A. M. // SPIE Proc. 1985. Vol. 572. P. 123.
41. Siliquini J. F., Faraone L. // Infrared Physics & Technology. 1997. Vol. 38. P. 205.
42. Гусаров А. В., Филатов А. В., Филатов С. А., Сусов Е. В., Карнов В. В., Гиндин П. Д. Патент на полезную модель RU № 181688 U1. H 01 L 31/042. 2018.
43. Гусаров А. В., Филатов А. В., Сусов Е. В., Карнов В. В., Гиндин П. Д. // Оптический журнал. 2019. Т. 86. № 2. С. 55.
44. Бородин Д. В., Осипов Ю. В., Васильев В. В. / Труды российской конференции по актуальным проблемам полупроводниковой фотозлектроники «Фотоника-2015» (Новосибирск. 2015). С. 157–160.

PACS: 85.60.Dw

Photoresistors made of $\text{Cd}_x\text{Hg}_{1-x}\text{Te}$ material (a review)

A. V. Filatov, E. V. Susov, V. V. Karpov, and A. V. Gusarov

JSC “Moskovskij Zavod “SAPPHIR”
4a Dnepropetrovsky passage, Moscow, 117545, Russia
E-mail: info@mzsapphir.ru

Received March 02, 2021

*The review analyzes the development of domestic technology for manufacturing highly sensitive and stable photoresistors from solid solutions of the $Cd_xHg_{1-x}Te$ triple system since the 70s of the last century. The volt sensitivity of modern photoresistors made of heteroepitaxial structures $n-Cd_xHg_{1-x}Te$, obtained by molecular beam epitaxy on a gallium arsenide substrate, in the spectral range of 8–12 microns with a photosensitive pixel size of 50×50 microns, operating under nonequilibrium conditions of the exclusion of minority charge carriers, reaches a value of $Su_{\lambda, max} \approx 10^7$ V/W with a specific detection capacity $D^*_{\lambda, max}$ (1200.1, 14°) of more than 5×10^{11} cm $Gz^{1/2} W^{-1}$ at liquid nitrogen temperature. The high voltage sensitivity and low power output (5×10^{-7} W) of photoresistors in the design of a with a radial arrangement of contacts allow you to create focal matrices based on them with a number of pixels of $\approx 10^6$.*

Keywords: photoresistor, heteroepitaxial structures of cadmium-mercury-tellurium, ion etching, exclusion of minor charge carriers, focal matrices photodetectors.

DOI: 10.51368/2307-4469-2021-9-2-112-127

REFERENCES

1. W. D. Lawson, S. Nelsen, E. H. Putley, and A. S. Young, *J. Phys. Chem. Sol.* **9**, 325 (1959).
2. A. D. Schneider and I. V. Gawrysiak, *Physics and engineering of semiconductors* **2** (9), 2079 (1960) [in Russian].
3. A. Rogalski, *Rep. Prog. Phys.* **68**, 2267 (2005).
4. www.cobham.com/media/934628/ADV10553pdf
5. A. V. Filatov, E. V. Susov, N. S. Kuznetsov, and V. V. Karpov, *J. of Optical Technology* **83** (9), 543 (2016).
6. L. N. Kurbatov, *Vopr. oboron. technicians. Ser. 11, Is. 1(154)–2(155)*, 3 (1998).
7. N. S. Baryshev, *Properties and application of narrow-band semiconductors* (Unipress, Kazan, 2000) [in Russian].
8. V. P. Ponomarenko and A. M. Filachev, *Infrared technology and electronic optics. Formation of scientific directions (1946–2016)* (Fizmatkniga, Moscow, 2016) [in Russian].
9. V. N. Severtsev, E. V. Susov, V. S. Varavin, S. A. Dvoretzky, N. N. Mikhailov, and G. V. Chekanova, *Optoelectronics, instrumentation and data processing (Avtometriya)*, No. 4, 21 (1998).
10. E. V. Susov, Yu. G. Sidorov, V. N. Severtsev, A. A. Komov, G. V. Chekanova, S. A. Dvoretzky, V. S. Varavin, N. N. Mikhailov, and L. I. Diakonov, *Optoelectronics, instrumentation and data processing (Avtometriya)*, No. 4, 32 (1996).
11. Yu. S. Troshkin, A. V. Filatov, V. S. Alexeevicheva, A. V. Gusarov, A. P. Korshunova, E. G. Popov, and O. P. Possevin, *Applied Physics*, No. 2, 63 (1999) [in Russian].
12. G. E. Popovyan, Yu. S., Troshkin, A. V. Filatov, A. M. Filachev, and L. M. Khitrova, *RF Certificate for a utility model, RU No. 11938 U1* (1999).
13. D. L. Smith, *J. Appl. Phys.* **54** (9), 5441 (1983).
14. D. L. Smith, *J. Appl. Phys.* **56** (6), 1663 (1984).
15. E. A. Klimanov, E. S. Neverov, G. E. Popovyan, Yu. S. Troshkin, A. V. Filatov, and V. A. Baluev, *Applied Physics*, No. 2, 76 (2002) [in Russian].
16. H. Wiedemeier, S. B. Trivedi, R. C. White-side, and W. Polosz, *J. Electrochem. Soc.* **133** (11), 2399 (1986).
17. F. A. Zaitov, F. K. Isaev, and A. V. Gorshkov, *Defect formation and diffusion processes in the some semiconductor solid solutions* (Azerneshr, Baku,

- 1984) [in Russian].
18. P. M. Raccah, U. Lee, J. A. Silberman, W. E. Spicer, and J. A. Wilson, *Appl. Phys. Lett.* **42** (4), 374 (1983).
19. J. A. Silberman, P. Morgen, I. Lindan, W. E. Spicer, and J. A. Wilson, *J. Vac. Sci. Technol.* **21** (1), 154 (1982).
20. G. Nitz, B. Schlicht, and R. Dornhaus, *Appl. Phys. Lett.* **34** (8), 490 (1979).
21. M. A. Lunn and P. S. Dobson, *J. of Crystal Growth.* **73**, 379 (1985).
22. V. P. Ponomarenko, Yu. S. Troshkin, and A. V. Filatov, *Applied Physics*, No. 5, 71 (2007) [in Russian].
23. Yu. G. Sidorov, V. S. Varavin, S. A. Dvoretzky, V. I. Liberman, N. N. Mikhailov, I. V. Sabina, and M. V. Yakushev, *J. of Growth of Crystals* **20**, 35 (1996).
24. V. S. Varavin, S. A. Dvoretzky, V. I. Liberman, N. N. Mikhailov, and Yu. G. Sidorov, *J. Cryst. Growth.* **159**, 1161 (1996).
25. K. K. Svitashv, V. A. Shvets, A. S. Mardezhov, S. A. Dvoretzky, Yu. G. Sidorov, E. V. Spesivtsev, S. V. Rykhlytsky, S. I. Chikichev, and D. N. Pridachin, *Avtometriya*, No. 4, 100 (1996).
26. K. K. Svitashv, S. A. Dvoretzky, Yu. G. Sidorov, V. A. Shvets, A. S. Mardezhov, I. E. Nis, V. S. Varavin, V. I. Liberman, and V. G. Remesnik, *Cryst. Res. Technol.* **29** (7), 931 (1994).
27. A. V. Filatov, E. V. Susov, A. V. Gusarov, N. M. Akimova, V. V. Krapukhin, V. V. Karpov, and V. I. Shaevich, *J. Opt. Technol.* **76**, 773 (2009).
28. A. V. Filatov, E. V. Susov, N. M. Akimova, V. V. Karpov, and V. I. Shaevich, *Progress applied physics* **3** (2), 196 (2015).
29. K. D. Mynbayev and V. M. Ivanov-Omsky, *Physics and engineering of semiconductors* **37** (10), 1153 (2003).
30. A. V. Filatov, E. V. Susov, and V. V. Karpov, *Journal of Optical Technology* **84** (4), 275 (2017).
31. B. I. Boltaks, *Diffusion in semiconductors* (State publ. of phy.-mat. lit, Moscow, 2000) [in Russian].
32. A. V. Filatov, V. I. Luksha, G. E. Popovyan, Yu. S. Troshkin, and Yu. P. Sharonov, *Applied Physics*, No. 6, 123 (2002) [in Russian].
33. A. V. Filatov, E. V. Susov, and V. V. Karpov, *J. of Optical Technology* **85** (6), 359 (2018).
34. A. V. Filatov, E. V. Susov, A. V. Gusarov, and V. V. Karpov, *Journal of optical* **87** (12), 103 (2020).
35. T. Ashley and C. T. Elliott, *Electron. Lett.* **21**, 451 (1985).
36. T. Ashley, C. T. Elliott, and A. M. White, *SPIE Proc.* **588**, 62 (1986).
37. Z. Djurić, V. Jović, M. Matić, and Z. Jakšić, *Electronics Lett.* **2**, 929 (1990).
38. T. Ashley, C. T. Elliott, and A. T. Harker, *Infrared Phys.* **26**, 303 (1986).
39. Z. Djurić and J. Piotrowski, *Opt. Eng.* **31**, 1955 (1992).
40. T. Ashley, C. T. Elliot, and A. M. White, *SPIE Proc.* **572**, 123 (1985).
41. J. F. Siliquini and L. Faraone, *Infrared Physics & Technology* **38**, 205 (1997).
42. A. V. Gusarov, A. V. Filatov, S. A. Filatov, E. V. Susov, V. V. Karpov, and P. D. Gindin, *RF Certificate for a utility model*, RU No. 181688 U1 H 01 L 31/042 (2018).
43. A. V. Gusarov, A. V. Filatov, E. V. Susov, V. V. Karpov, and P. D. Gindin, *J. of Optical Technology* **86** (2), 108 (2019).
44. D. V. Borodin, Yu. V. Osipov, and V. V. Vasiliev, in *Proc. Russian Conference on Actual problems of semiconductor photoelectronics "Photonics-2015"* (Novosibirsk, 2015), pp. 157–160.