

УДК 621.315.592.3: 621.383.522

PACS: 85.30.-z

## Диэлектрические покрытия на основе $Al_2O_3$ и $SiO_x$ для фотодиодных матриц из антимонида индия

А. Е. Мирофьянченко, Е. В. Мирофьянченко, Н. А. Лаврентьев, В. А. Малыгин,  
В. О. Ванюшин, В. С. Попов

*Исследованы МДП-структуры  $In/Al_2O_3/InSb$  и  $In/SiO_x/AO/InSb$  методами низкочастотных и высокочастотных  $C-V$  характеристик. Диэлектрические слои на поверхности пластин антимонида индия диаметром 2" формировались методами атомно-слоевого осаждения и гибридным способом, включающим анодное окисление и термическое напыление. Были построены карты распределения фиксированного заряда и величины плотности состояний на границе раздела полупроводник-диэлектрик, оценена морфология поверхности. Распределение значений  $D_{it}$  по площади для МДП-структуры  $In/Al_2O_3/InSb$  не превышало 9%. Средние значения фиксированного заряда,  $N_F$ , для МДП-структур  $In/Al_2O_3/InSb$  и  $In/SiO_x/AO/InSb$  составили  $1,4 \times 10^{11} \text{ см}^{-2}$  и  $2,9 \times 10^{11} \text{ см}^{-2}$ , соответственно. Использование  $Al_2O_3$ , нанесённого методом атомно-слоевого осаждения, может быть использовано для пассивации фотодиодных матриц на основе антимонида индия.*

*Ключевые слова:* антимонид индия, атомно-слоевое осаждение, пассивация, диэлектрические покрытия, high-k диэлектрики, термическое напыление,  $A^3B^5$ , МДП-структура, фиксированный заряд, плотность состояний, анодный оксидный слой (АО), АСМ, МФПУ, ФЧЭ.

DOI: 10.51368/2307-4469-2022-10-2-183-188

Мирофьянченко Андрей Евгеньевич<sup>1</sup>, нач. научно-исследовательской лаборатории, к.т.н.

E-mail: mirofyanchenko@gmail.com

Мирофьянченко Екатерина Васильевна<sup>1</sup>, вед. инженер-конструктор, к.т.н.

Лаврентьев Николай Александрович<sup>1,2</sup>, инженер.

Малыгин Владислав Анатольевич<sup>1</sup>, инженер.

Ванюшин Владислав Олегович<sup>3</sup>, инженер.

Попов Виктор Сергеевич<sup>1,2</sup>, нач. специального конструкторско-технологического центра, к.х.н.

<sup>1</sup> АО «НПО «Орион».

Россия, 111538, Москва, ул. Косинская, 9.

<sup>2</sup> Московский физико-технический институт (национальный исследовательский университет). Россия, 141701, Московская обл., г. Долгопрудный, Институтский пер., 9.

<sup>3</sup> НИТУ «МИСиС».

Россия, 119049, Москва, Ленинский пр-т, 4, стр. 1.

Статья поступила в редакцию 11 апреля 2022 г.

© Мирофьянченко А. Е., Мирофьянченко Е. В., Лаврентьев Н. А., Малыгин В. А., Ванюшин В. О., Попов В. С., 2022

### ЛИТЕРАТУРА

1. Razeghi M. Technology of quantum devices 2010th edition. – New York: Springer, 2009.
2. Rogalski A., Kopytko M., Martyniuk P. Antimonide-based infrared detectors: A new perspective. – Washington: SPIE, 2018.
3. Бурлаков И. Д., Болтарь К. О., Мирофьянченко А. Е., Власов П. В., Лопухин А. А., Пряникова Е. В., Соловьев В. А., Семенов А. Н., Мельцер Б. Я., Комиссарова Т. А., Львов Т. В., Иванов С. В. // Успехи прикладной физики. 2015. Т. 3. № 6. С. 559.
4. Mirofianchenko A. E., Mirofianchenko E. V., Lavrentyev N. A., Popov V. S. // Journal of Communications Technology & Electronics. 2021. Vol. 66. Issue 3. P. 354.
5. Vasquez R. P. // Journal of Applied Physics. 1981. № 5. P. 3509.
6. Mackens U. // Thin Solid Films. 1982. № 1. P. 53.
7. Sun T. P., Lee S. C., Liu K. C., Pang Y. M., Yang S. J. // Journal of Applied Physics. 1990. № 7. P. 3701.
8. Olcaytug F., Riedling K., Fallmann W. // Electronics Letters. 1980. Vol. 16. P. 677.
9. Weiguo S. // Appl. Phys. A. 1991. № 52. P. 75.

10. Hou C. H., Chen M. C., Chang C. H., Wu T. B., Chiang C. D, Luo J. J. // Journal of The Electrochemical Society. 2008. Vol. 155. P. 180.
11. Marron T., Takashima S., Z. Li, T. Paul Chow // Phys. Status Solidi. 2012. Vol. 9. № 3–4. P. 907.
12. Trinh H. D., Chang E. Y., Wu P. W., Wong Y. Y., Chang C. T., Hsieh Y. F., Yu C. C., Nguyen H. Q., Lin Y. C., Lin K. L., Hudait M. K. // App. Phys. Lett. 2010. Vol. 93. P. 042903.
13. Chang Y. C., Huang M. L., Lee K. Y., Lee Y. J., Lin T. D., Hong M., Kwo J., Lay T. S., Liao C. C., Cheng K. Y. // Appl. Phys. Lett. 2008. Vol. 92. P. 072901.
14. Hinkle C. L., Sonnet A. M., Vogel E. M., McDonnell S., Hughes G. J., Milojevic M., Lee B., Aguirre-Tostado F. S., Choi K. J., Kim H. C. // Appl. Phys. Lett. 2008. Vol. 92. P. 071901.
15. Васильев В. Ю. // Наноиндустрия. 2019. Т. 12. № 3–4. С. 194.
16. Mirofyanchenko E. V., Mirofyanchenko A. E., Popov V. S. // Journal of Communications Technology and Electronics. 2022. Vol. 67. Issue 3. P. 313.
17. Adar R. // Solid-State Electronics. 1989. № 2. P. 111.
18. Кожаринова Е. А., Батырев Н. И., Костышина Л. А., Умникова Е. В. // Успехи прикладной физики. 2017. Т. 5. № 2. С. 174.
19. Dewald J. F. // J. Electron. Sot. 1957. Vol. 104. P. 244.
20. Etchells A., Fischer C. W. // J. Appl. Phys. 1967. Vol. 47. P. 4605.
21. Бакаров А. К., Гутаковский А. К., Журавлев К. С., Ковчавцев А. П., Торопов А. И., Бурлаков И. Д., Болтарь К. О., Власов П. В., Лопухин А. А. // Журнал технической физики. 2017. Т. 87. Вып. 6. С. 900.
22. Mori K., Samata S., Mitsugi N., Teramoto A., Kuroda R., Suwa T., Hashimoto K., Sugawa S. // Jpn. J. Appl. Phys. 2020. Vol. 59. P. SMMB06-1.

PACS: 85.30.-z

## Alumina and silicone oxide dielectric films for focal plane arrays based on InSb

*A. E. Mirofyanchenko<sup>1</sup>, E. V. Mirofyanchenko<sup>1</sup>, N. A. Lavrentiev<sup>1,2</sup>, V. A. Malygin<sup>1</sup>,  
V. O. Vanyushin<sup>3</sup>, and V. S. Popov<sup>1,2</sup>*

<sup>1</sup> Orion R&P Association, JSC

9 Kosinskaya st., Moscow, 111538, Russia

E-mail: mirofyanchenko@gmail.com

<sup>2</sup> Moscow Institute of Physics and Technology

9 Institutskiy per., Dolgoprudny, Moscow Region, 141701, Russia

<sup>3</sup> National University of Science and Technology MISIS, Moscow, Russia

4 Leninskiy prospect, Moscow, 119049, Russia

Received April 11, 2022

***In this work the characterization of MIS structures In/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/InSb and In/SiO<sub>x</sub>/anodic oxide/InSb were carried out. The Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> dielectric layer were deposited by atomic layer deposition (ALD) method. For second sample we applied combination of dielectrics which include anodic oxide film and SiO<sub>x</sub> layer deposited by resistive evaporation method. For both structures we mapped fixed charge and interface trap level over 2 inch InSb wafers. The average value of fixed charge level, N<sub>F</sub>, for MIS-structures In/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/InSb and In/SiO<sub>x</sub>/anodic oxide/InSb were 1.4×10<sup>11</sup> cm<sup>-2</sup> and 2.9×10<sup>11</sup> cm<sup>-2</sup>, respectively. The dispersion of Dit values over the wafer in In/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/InSb MIS structure did not exceed 9 % that confirms feasibility Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> insulators films deposited by ALD as a passivation coating for InSb based photodiode arrays.***

**Keywords:** indium antimonide, atomic-layer deposition, passivation, dielectric films, high-k insulators, resistive evaporation, A<sub>3</sub>B<sub>5</sub>, MOS-structure, fixed charge, density of states, anodic oxide (AO), AFM, FPA, photosensitive elements.

**DOI:** 10.51368/2307-4469-2022-10-2-183-188

## REFERENCES

1. M. Razeghi *Technology of quantum devices 2010th edition*. (New York, Springer, 2009)
2. A. Rogalski, M. Kopytko, and P. Martyniuk *Antimonide-based infrared detectors: A new perspective*. (Washington, SPIE, 2018).
3. I. D. Burlakov, K. O. Boltar, A. E. Mirofyanchenko, P. V. Vlasov, A. A. Lopukhin, E. V. Pryanikova, V. A. Soloviev, A. N. Semenov, B. Ya. Meltzer, T. A. Komissarova, T. V. Lvov, and S. V. Ivanov, *Usp. Prikl. Fiz.* **3** (6), 559 (2015).
4. A. E. Mirofyanchenko, E. V. Mirofyanchenko, N. A. Lavrentyev, and V. S. Popov, *Journal of Communications Technology & Electronics* **66**, 354 (2021).
5. R. P. Vasquez, *Journal of Applied Physics*, No. 5, 3509 (1981).
6. U. Mackens, *Thin Solid Films*, **1**, 53 (1982).
7. T. P. Sun, S. C. Lee, K. C. Liu, Y. M. Pang, and S. J. Yang, *Journal of Applied Physics* **7**, 3701 (1990).
8. F. Olcaytug, K. Riedling, and W. Fallmann, *Electronics Letters* **16**, 677 (1980).
9. S. Weiguo, *Appl. Phys. A* **52**, 75 (1991).
10. C. H. Hou, M. C. Chen, C. H. Chang, T. B. Wu, C. D. Chiang, and J. J. Luo, *Journal of the Electrochemical Society* **155**, 80 (2008).
11. T. Marron, S. Takashima, Z. Li, and T. Paul Chow, *Phys. Status Solidi* **9**, 907 (2012).
12. H. D. Trinh, E. Y. Chang, P. W. Wu, Y. Y. Wong, C. T. Chang, Y. F. Hsieh, C. C. Yu, H. Q. Nguyen, Y. C. Lin, K. L. Lin, and M. K. Hudait, *App. Phys. Lett.* **93**, 042903 (2010).
13. Y. C. Chang, M. L. Huang, K. Y. Lee, Y. J. Lee, T. D. Lin, M. Hong, J. Kwo, T. S. Lay, C. C. Liao, and K. Y. Cheng, *Appl. Phys. Lett.* **92**, 072901 (2008).
14. C. L. Hinkle, A. M. Sonnet, E. M. Vogel, S. McDonnell, G. J. Hughes, M. Milojevic, B. Lee, F. S. Aguirre-Tostado, K. J. Choi, and H. C. Kim, *Appl. Phys. Lett.* **92**, 071901 (2008).
15. V. U. Vasilev, *Nanoindustry* **12**, 194 (2019).
16. E. V. Mirofyanchenko, A. E. Mirofyanchenko, and V. S. Popov, *Journal of Communications Technology and Electronics* **67**, 313 (2022).
17. R. Adar, *Solid-State Electronics* **2**, 111 (1989).
18. E. A. Kozharinova, N. I. Batyrev, L. A. Kostyshina, and E. V. Umnikova, *Usp. Prikl. Fiz.* **5** (2), 174 (2017).
19. J. F. Dewald, *J. Electron. Sot.* **104**, 244 (1957).
20. A. Etchells and C. W. Fischer, *J. Appl. Phys.* **47**, 4605 (1967).
21. A. K. Bakarov, A. K. Gutakovskii, K. S. Zhuravlev, A. P. Kovchavtsev, A. I. Toropov, I. D. Burlakov, K. O. Boltar, P. V. Vlasov, and A. A. Lopukhin, *Tech. Phys.* **87**, 900 (2017).
22. K. Mori, S. Samata, N. Mitsugi, A. Teramoto, R. Kuroda, T. Suwa, K. Hashimoto, and S. Sugawa, *Jpn. J. Appl. Phys.* **59**, SMMB06-1 (2020).