

УДК 621.315.592.3: 621.383.522

PACS: 85.30.-z

## Пассивация фоточувствительных элементов InSb (100) анодным окислением в растворе сульфида натрия с предварительным сульфидированием поверхности

*А. Е. Мирофьянченко, Е. В. Мирофьянченко, Н. А. Лаврентьев, В. С. Попов*

*Исследованы C-V характеристики МДП-структур, изготовленных на основе антимонида индия и диэлектрического покрытия, полученного методом анодного окисления в растворе Na<sub>2</sub>S в двухстадийном режиме. Сформированное покрытие обладает высоким качеством с низкой плотностью быстрых и медленных поверхностных состояний. Рассчитанные значения D<sub>it</sub> и N<sub>F</sub> составили 2×10<sup>11</sup> см<sup>-2</sup> эВ<sup>-1</sup> и 9,2×10<sup>10</sup> см<sup>-2</sup>, соответственно. Изучена зависимость величины гистерезиса от напряжения. Проведение предварительного сульфидирования в растворе (NH<sub>4</sub>)<sub>2</sub>S – этиленгликоль позволило значительно уменьшить величину гистерезиса и на 25 % снизить плотность состояний на границе раздела. Значение среднеарифметической шероховатости, Ra, после анодирования увеличилось с 0,6 нм до 0,9 нм, но при этом предварительное сульфидирование не оказывает существенного влияния на данный параметр. Сформированное диэлектрическое покрытие обладает достаточной сплошностью пленки для ее применения в качестве пассивирующего покрытия фоточувствительных элементов (ФЧЭ) InSb.*

*Ключевые слова:* InSb, пассивация, сульфидирование, анодное окисление, ФЧЭ, ИК ФПУ, средневолновый ИК-диапазон спектра, C-V характеристики, АСМ, РЭМ.

**Ссылка:** Мирофьянченко А. Е., Мирофьянченко Е. В., Лаврентьев Н. А., Попов В. С. // Прикладная физика. 2020. № 3. С. 33.

**Reference:** A. E. Mirofyanchenko, E. V. Mirofianchenko, N. A. Lavrentyev, and V. S. Popov, Prikl. Fiz., No. 3, 33 (2020).

### ЛИТЕРАТУРА

1. Razeghi M. Technology of quantum devices 2010th edition. – New York: Springer, 2009.
2. 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.
3. Rogalski A., Kopytko M., Martyniuk P. Antimonide-based infrared detectors: A new perspective. – Washington: SPIE, 2018.
4. Chang K-M., Luo J-J., Chiang C-D., Kou J., Liu C., Tw K., Chang J. J. // Journal of the Chinese Institute of Engineers. 2007. Vol. 30. P. 11.
5. Park S., Choi D., Park H., Moon D., Yoon E., Park Y., Bae D. K. // International Journal of Nanotechnology. 2016. Vol. 13. P. 392.
6. Eftekhari G. // Semiconductor Science and Technology. 1991. Vol. 6. P. 193.
7. Sugahara H., Oshima M., Oigawa H., Shigekawa H., Nannichi Y. // Appl. Phys. 1991. Vol. 69. P. 4349.
8. Driad R., Lu Z. H., Charbonneau S., McKin-

**Мирофьянченко Андрей Евгеньевич**<sup>1,2</sup>, нач. научно-исследовательской лаборатории.

**Мирофьянченко Екатерина Васильевна**<sup>1,2</sup>, вед. инженер-конструктор.

**Лаврентьев Николай Александрович**<sup>3</sup>, студент.

**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.

E-mail: orion@orion-ir.ru

<sup>2</sup> Московский физико-технический институт

(национальный исследовательский университет).

Россия, 141701, Московская обл., г. Долгопрудный,

Институтский пер., 9.

<sup>3</sup> МИРЭА – Российский технологический университет.

Россия, 119454, Москва, просп. Вернадского, 78.

Статья поступила в редакцию 25 мая 2020 г.

© Мирофьянченко А. Е., Мирофьянченко Е. В., Лаврентьев Н. А., Попов В. С., 2020

- non W. R., Laframboise S., Poole P. J., McAlister S. P. // Appl. Phys. Lett. 1998. Vol. 73. P. 665.
9. Petrovykh D. Y., Yang M. J., Whitman L. J. // Surf. Sci. 2003. Vol. 523. P. 231.
10. Brennan B., Milojevic M., Hinkle C. L., Aguirre-Tostado F. S., Hughes G., Wallace R. M. // Appl. Surf. Sci. 2011. Vol. 257. P. 4082.
11. O'Connor E., Brennan B., Djara V., Cherkaoui K., Monaghan S., Newcomb S. B., Contreras R., Milojevic M., Hughes G., Pemble M. E., Wallace R. M., Hurley P. K. // J. Appl. Phys. 2011. Vol. 109. P. 024101.
12. Gu J. J., Neal A. T., Ye P. D. // Appl. Phys. Lett. 2011. Vol. 99. P. 152113.
13. Львова Т. В., Дунаевский М. С., Лебедев М. В., Шахмин А. Л., Седова И. В., Иванов С. В. // Физика и техника полупроводников. 2013. Т. 47. Вып. 5. С. 710.
14. Lvova T. V., Shahmin A. L., Sedova I. V., Lebedev M. // Applied Surface Science. 2014. Vol. 311. P. 300.
15. Sun W. // Applied Physics A. 1919. Vol. 52. P. 75.
16. Lindner R. // The Bell System Technical Journal. 1962. Vol. 41. P. 803.
17. Brews J. R. // Solid-State Electronics. 1977. Vol. 20. P. 607.
18. Nicollian E. H., Brews J. R. MOS (Metal Oxide Semiconductor) Physics and Technology. – New York: Wiley, 1982.
19. Бессолов В. Н., Лебедев М. В. // Физика и техника полупроводников. 1998, Т. 32. № 11. С. 1281.
20. Lee J. S., Ahn T. Y., Kim D. // Materials. 2019. Vol. 12. P. 3917.
21. Dewald J. F. // J. Electron. Sot. 1957. Vol. 104. P. 244.
22. Etchells A., Fischer C. W. // J. appl. Phys. 1967. Vol. 47. P. 4605.
23. Hung R. H., Yon E. T. // J. appl. Phys. 1970. Vol. 41. P. 2185.
24. Shapira Y., Bergman J., Kalahorra Z. // Appl. Phys. Lett. 1985. Vol. 47. P. 495.
25. Fujisada H., Kakagawa T., Sasase T. // Jap. J. appl. Phys. 1983. Vol. 22. P. L525.
26. Киселева Л. В., Лопухин А. А., Мезин Ю. С., Савостин А. В., Власов П. В., Вяткина О. С. // Прикладная физика. 2015. № 5. С. 84.
27. Bregman J., Shapira Y., Calahorra Z. // J. Surface Science. 1986. Vol. 178. P. 188.
28. Кожаринова Е. А., Батырев Н. И., Костышина Л. А., Умникова Е. В. // Успехи прикладной физики. 2017. Т. 5. № 2. С. 174.

PACS: 85.30.-z

## Anodic passivation of InSb (100) by sodium sulfide solution with additional sulfidation pretreatment

A. E. Mirofyanchenko<sup>1,2</sup>, E. V. Mirofianchenko<sup>1,2</sup>, N. A. Lavrentyev<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

<sup>2</sup> Moscow Institute of Physics and Technology  
9 Institutskiy per., Dolgoprudny, Moscow Region, 141701, Russia

<sup>3</sup> MIREA – Russian Technological University  
78 Vernadsky Ave., Moscow, 119454, Russia

Received May 25, 2020

*The MIS-structures of InSb with anodically grown dielectric coating in galvanostatic mode in sodium sulfide solution were studied. Fast and slow surface states extracted by using the C-V characteristics method. The extracted values of  $D_{it}$  and  $N_f$  were  $2 \times 10^{11} \text{ cm}^{-2}$ ,  $eV^{-1}$  and  $9.2 \times 10^{10} \text{ cm}^{-2}$ , respectively. The hysteresis behavior was investigated. Additional sulfidation pretreatment using  $(\text{NH}_4)_2\text{S}$  – ethylenglycol solution lower the value of hysteresis and 25 % reduce the interface state density. The arithmetic average roughness after anodizing increases from 0.6 nm to 0.9 nm, but preliminary sulfidation does not significantly affect this parameter. The formed dielectric coating has sufficient film continuity for its use as a passivating coating of InSb based FPA's.*

**Keywords:** InSb, passivation, sulfidation, anodic oxidation, photodiode array, IR FPA, MWIR, C-V characteristics, AFM, SEM.

## REFERENCE

1. M. Razeghi, *Technology of quantum devices 2010<sup>th</sup> edition*. (Springer, New York, 2009).
2. 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, *Advances in Applied Physics*. **3**, 559 (2015).
3. A. Rogalski, M. Kopytko, and P. Martyniuk, *Antimonide-based infrared detectors: A new perspective* (SPIE, Washington, 2018).
4. K-M. Chang, J-J luo, C-D. Chiang, J. Kou, C. Liu, K. Tw, and J. J. Chang, *Journal of the Chinese Institute of Engineers* **30**, 11 (2007).
5. S. Park, D. Choi, H. Park, D. Moon, E. Yoon, Y. Park, and D. K. Bae, *International Journal of Nanotechnology* **13**, 392 (2016).
6. G. Eftekhari, *Semiconductor Science and Technology* **6**, 193 (1991).
7. H. Sugahara, M. Oshima, H. Oigawa, H. Shigekawa, and Y. Nannichi, *Appl. Phys.* **69**, 4349 (1991).
8. R. Driad, Z. H. Lu, S. Charbonneau, W. R. McKinnon, S. Laframboise, P. J. Poole, and S. P. McAlister, *Appl. Phys. Lett.* **73**, 665 (1998).
9. D. Y. Petrovykh, M. J. Yang, and L. J. Whitman, *Surf. Sci.* **523**, 231 (2003).
10. B. Brennan, M. Milojevic, C. L. Hinkle, F. S. Aguirre-Tostado, G. Hughes, and R. M. Wallace, *Appl. Surf. Sci.* **257**, 4082 (2011).
11. É. O'Connor, B. Brennan, V. Djara, K. Cherkaoui, S. Monaghan, S. B. Newcomb, R. Contreras, M. Milojevic, G. Hughes, M. E. Pemble, R. M. Wallace, and P. K. Hurley, *J. Appl. Phys.* **109**, 024101 (2011).
12. J. J. Gu, A. T. Neal, and P. D. Ye, *Appl. Phys. Lett.* **99**, 152113 (2011).
13. T. V. Lvova, M. S. Dunaevsky, M. V. Lebedev, A. L. Shahmin, I. V. Sedova, S. V. Ivanov, *Semiconductor Physics and Technology* **47**, 710 (2013).
14. T. V. Lvova, A. L. Shakhmin, I. V. Sedova, and M. Lebedev. *Applied Surface Science* **311**, 300 (2014).
15. W. Sun, *Applied Physics A*. **52**, 75 (1991).
16. R. Lindner, *The Bell System Technical Journal* **41**, 803 (1962).
17. J. R. Brews, *Solid-State Electronics* **20**, 607 (1977).
18. E. H. Nicollian and J. R. Brews, *MOS (Metal Oxide Semiconductor) Physics and Technology* (Wiley, New York, 1982).
19. V. N. Bessolov and M. V. Lebedev, *Semiconductor Physics and Technology*, **32**, 1281 (1998).
20. J. S. Lee, T. Y. Ahn, and D. Kim, *Materials*. **12**, 3917 (2019).
21. J. F. Dewald, *J. Electron. Sot.* **104**, 244 (1957).
22. A. Etchells and C. W. Fischer, *J. appl. Phys.* **47**, 4605, (1976).
23. R. H. Hung and E. T. Yon, *J. appl. Phys.* **41**, 2185, (1970).
24. Y. Shapira, J. Bergman, and Z. Kalahorra, *Appl. Phys. Lett.* **47**, 495 (1985).
25. H. Fujisada, T. Kakagawa, and T. Sasase, *Jap. J. appl. Phys.* **22**, L525 (1983).
26. L. V. Kiseleva, A. A. Lopukhin, Yu. S. Mezin, A. V. Savostin, P. V. Vlasov, and O. S. Vyatkina, *Applied Physics*, No. 5, 84 (2015).
27. J. Bregman, Y. Shapira, and Z. Calahorra, *J. Surface Science*. **178**, 188 (1986).
28. E. A. Kozharinova, N. I. Batyrev, L. A. Kostyshina, and E. V. Umnikova, *Advances in Applied Physics* **5**, 174 (2017).