

УДК 621.315.592

PACS: 78.30.Am.

Комбинационное рассеяния света монокристаллами кремния, легированных атомами хрома

Ш. Б. Утамуродова, А. В. Станчик, К. М. Файзуллаев, Б. А. Бакиров

Представлены экспериментальные результаты исследования монокристаллического Si (111), легированного хромом. Исследования проводились с использованием метода спектроскопии комбинационного рассеяния света (Рамановская спектроскопия). Обнаружено, что легирование переходных элементов к чистому кремнию приводит к уменьшению интенсивности рамановских пиков в несколько раз, а также к образованию дополнительных пиков на спектрах.

Ключевые слова: комбинационное рассеяние света, кремний, хром, диффузия.

DOI: 10.51368/1996-0948-2022-2-33-38

ЛИТЕРАТУРА

Утамуродова Шарифа Бекмуродовна¹, д.ф.-м.н., профессор.

E-mail: sh-utamuradova@yandex.ru

Станчик Алёна Викторовна², н.с., к.ф.-м.н.

E-mail: alena.stanchik@bk.ru

Файзуллаев Кахрамон Махмуджанович¹, н.с.

Бакиров Булат Айратович³, стажер-исследователь.

¹ Научно-исследовательский институт физики полупроводников и микроэлектроники при Национальном университете Узбекистана.

Узбекистан, 100057, г. Ташкент, ул. Янги Алмазар, 20.

² ГНПО «Научно-практический центр НАН Беларуси по материаловедению».

Республика Беларусь, 220072, г. Минск, ул. П. Бровки, 19.

³ Объединенный институт ядерных исследований.

Россия, 141980, г. Дубна, Московская обл., ул. Жолио-Кюри, 6.

Статья поступила в редакцию 16 марта 2022 г.

© Утамуродова Ш. Б., Станчик А. В., Файзуллаев К. М., Бакиров Б. А., 2022

Выражаем благодарность ученым Лаборатории нейтронной физики им. И. М. Франка (ОИЯИ) за практическую помощь в получении научных результатов в данном исследовании.

1. Daliev Kh. S., Utamuradova Sh. B., Bozorova O. A., Daliev Sh. Kh. // Applied Solar Energy (English translation of Geliotekhnika). 2005. Vol. 41. № 1. P. 80.

2. Abdurakhmanov K. P., Utamuradova Sh. B., Daliev Kh. S., Tadjy-Aglaeva S. G., Ergashev R. M. // Semiconductors. 1998. Vol. 32. № 6. P. 606.

3. Kamiya T., Kishi M., Ushirokawa A., Katoda T. // Appl. Phys. Lett. 1981. Vol. 38(5). P. 377.

4. Yang M., Huang D., Hao P. et al. // J. Appl. Phys. 1993. Vol. 75(1). P. 651.

5. Утамуродова Ш. Б., Далиев Х. С., Далиев Ш. Х., Файзуллаев К. М. // Прикладная физика. 2019. № 6. С. 90.

6. Утамуродова Ш. Б., Музафарова С. А., Абдугофуров А. М., Файзуллаев К. М., Наурзалиева Э. М., Рахманов Д. А. // Прикладная физика. 2021. № 4. С. 90.

7. Павлов Л. П. Методы измерения параметров полупроводниковых материалов. – М.: Высшая школа, 1987.

8. Хожиев Ш. Т. и др. // Universum: технические науки. 2020. Т. 73. № 4. С. 84.

9. Suzuki Y. et al. // Journal of Fluorine Chemistry. 2020. Vol. 238. P. 109616.

10. Купцова А. Х., Жижина Г. Н. Handbook of Fourier Transform Raman and Infrared Spectra of Polymers. – Amsterdam: Elsevier, 1998.

11. Talochkin B. // J. Raman Spectrosc. 2019. Vol. 1. P. 6.

12. Zhang S., Mao N., Zhang N., Wu J., Tong L., Zhang J. // ACS Nano. 2017. Vol. 11. P. 10366.

13. Temple P. A., Hathaway C. E. // Physical Review B. 1973. Vol. 7. № 8. P. 3685.

14. Uchinokura K., Sekine T., Matsuura E. // Journal of Physics and Chemistry of Solids. 1974. Vol. 35. № 2. P. 171.

15. Iatsunskiy I., Nowaczyk G., Jurga S., Fedorenko V.,

- Pavlenko M., Smyntyna V.* // *Optik – International Journal for Light and Electron Optics*. 2016. Vol. 126. № 18. P. 1650.
16. *Wellner A., Paillard V., Coffin H., Cherkashin N., Bonafos C.* // *Journal of Applied Physics*. 2004. Vol. 96. № 4. P. 2403.
17. *Zhigunov D. M., Kamaev G. N., Kashkarov P. K., Volodin V. A.* // *Applied Physics Letters*. 2018. Vol. 113. № 2. P. 023101. doi:10.1063/1.5037008.
18. *Graczykowski B. et al.* // *Nat. Commun.* 2017. № 8. P. 415.
19. *Duan Y., Kong J. F., Shen W. Z.* // *J. Raman Spectrosc.* 2012. Vol. 43. № 6. P. 756.
20. *Campbell H., Fauchet P. M.* // *Solid State Communications*. 1986. Vol. 58. P. 739.
21. *Smit C. et al.* // *Journal of Applied Physics*. 2003. Vol. 94. № 5. P. 3582. doi:10.1063/1.1596364.
22. *Sachat E. et al.* // *Nature Communications*. 2017. Vol. 8. № 1. doi:10.1038/s41467-017-00115-4
23. *Iatsunskiy I., Jurga S., Smyntyna V., Pavlenko M., Myndrul V., Zaleska A.* // *Optical Micro- and Nanometrology V.* 2014. doi:10.1117/12.2051489
24. *Cerdeira F., Cardona M.* // *Physical Review B*. 1972. Vol. 5. № 4. P. 1440. doi:10.1103/physrevb.5.1440.
25. *Hensel C., Hasegawa H., Nakayama M.* // *Phys. Bev.* 1965. № 138. P. A225.
26. *Laude F., Pollak H., Cardona M.* // *Phys. Rev. B*. 1971. Vol. 3. P. 2623.
27. *Hall J. J.* // *Phys. Rev.* 1965. Vol. 137. P. A960.
28. *Beilin V. M., Velikov Yu. Kh., Krasil'nikov O. M.* // *Sov. Phys. Solid State*. 1970. Vol. 12. P. 531.
29. *Hermet P., Khalil M., Viennois R., Beaudhuin M., Bourgogne D., Ravot D.* // *RSC Adv.* 2015. Vol. 5. P. 19106.
30. *Borowicz P., Latek M., Rzodkiewicz W., Łaszcz A., Czerwinski A., Ratajczak J.* // *Advances in Natural Sciences: Nanoscience and Nanotechnology*. 2012. Vol. 3. P. 045003.

Raman scattering of light by silicon single crystals doped with chromium atoms

Sh. B. Utamuradova¹, A. V. Stanchik², K. M. Fayzullaev¹, and B. A. Bakirov³

¹ Institute of Semiconductor Physics and Microelectronics at the National University of Uzbekistan
20 Yangi Almazar st., Tashkent, 100057, Uzbekistan
E-mail: sh-utamuradova@yandex.ru

² "Scientific-Practical Materials Research Centre NAS of Belarus"
19 P. Brovki st., Minsk, 220072, Belarus

³ Joint Institute for Nuclear Research
6 Joliot-Curie st., Dubna, Moscow Region, 141980, Russia

This paper presents the experimental results of a study of single-crystal Si (111) doped with chromium. The studies were carried out using the method of Raman spectroscopy (Raman spectroscopy). It has been found that the doping of transition elements with pure silicon leads to a decrease in the intensity of the Raman peaks by several times, as well as to the formation of additional peaks in the spectra.

Keywords: Raman scattering, silicon, chromium, diffusion.

DOI: 10.51368/1996-0948-2022-2-33-38

REFERENCES

1. Kh. S. Daliev, Sh. B. Utamuradova, O. A. Bozorova, and Sh. Kh. Daliev, Applied Solar Energy (English translation of Geliotekhnika) **41** (1), 80 (2005).
2. K. P. Abdurakhmanov, Sh. B. Utamuradova, Kh. S. Daliev, S. G. Tadjy-Aglaeva, and R. M. Ergashev, Semiconductors **32** (6), 606 (1998).
3. T. Kamiya, M. Kishi, A. Ushirokawa, and T. Katoda, Appl. Phys. Lett. **38**(5), 377 (1981).
4. M. Yang, D. Huang, P. Hao et al., J. Appl. Phys. **75**(1), 651 (1993).
5. Sh. B. Utamuradova, Kh. S. Daliev, Sh. Kh. Daliev, and K. M. Fayzullaev, Applied Physics, No. 6, 90 (2019) [in Russian].
6. Sh. B. Utamuradova, S. A. Muzafarova, A. M. Abdugafurov, K. M. Fayzullaev, E. M. Naurzalieva, and D. A. Rakhmanov, Applied Physics, No. 4, 90 (2021) [in Russian].
7. L. P. Pavlov, *Methods for measuring the parameters of semiconductor materials* (High school, Moscow, 1987).
8. Sh. T. Khojiev et al., Universum: technical science **73** (4), 84 (2020).
9. Y. Suzuki et al., Journal of Fluorine Chemistry **238**, 109616 (2020).
10. A. H. Kuptsova and G. N. Zhizhina, *Handbook of Fourier Transform Raman and Infrared Spectra of Polymers* (Elsevier, Amsterdam, 1998).
11. B. Talochkin, J. Raman Spectrosc **1**, 6 (2019).
12. S. Zhang, N. Mao, N. Zhang, J. Wu, L. Tong, and J. Zhang, ACS Nano **11**, 10366 (2017).
13. P. A. Temple and C. E. Hathaway, Physical Review B **7** (8), 3685 (1973).
14. K. Uchinokura, T. Sekine, and E. Matsuura, Journal of Physics and Chemistry of Solids **35** (2), 171 (1974).
15. I. Iatsunskyi, G. Nowaczyk, S. Jurga, V. Fedorenko, M. Pavlenko, and V. Smyntyna, Optik – International Journal for Light and Electron Optics **126** (18), 1650 (2016).

16. A. Wellner, V. Paillard, H. Coffin, N. Cherkashin, and C. Bonafos, *Journal of Applied Physics* **96** (4), 2403 (2004).
17. D. M. Zhigunov, G. N. Kamaev, P. K. Kashkarov, and V. A. Volodin, *Applied Physics Letters* **113** (2), 023101 (2018). doi:10.1063/1.5037008.
18. B. Graczykowski et al., *Nat. Commun.*, No. 8, 415 (2017).
19. Y. Duan, J. F. Kong, and W. Z. Shen, *J. Raman Spectrosc.* **43** (6), 756 (2012).
20. H. Campbell and P. M. Fauchet, *Solid State Communications* **58**, 739 (1986).
21. C. Smit et al., *Journal of Applied Physics* **94** (5), 3582 (2003). doi:10.1063/1.1596364.
22. E. Sachat et al., *Nature Communications* **8** (1), (2017). doi:10.1038/s41467-017-00115-4
23. I. Iatsunskyi, S. Jurga, V. Smyntyna, M. Pavlenko, V. Myndrul, and A. Zaleska, *Optical Micro- and Nanometrology V.* (2014). doi:10.1117/12.2051489
24. F. Cerdeira and M. Cardona, *Physical Review B* **5** (4), 1440 (1972). doi:10.1103/physrevb.5.1440.
25. C. Hensel, H. Hasegawa, and M. Nakayama, *Phys. Rev.*, No. 138, A225 (1965).
26. F. Laude, H. Pollak, and M. Cardona, *Phys. Rev. B* **3**, 2623 (1971).
27. J. J. Hall, *Phys. Rev.* **137**, A960 (1965).
28. V. M. Beilin, Yu. Kh. Velikov, and O. M. Krasil'nikov, *Sov. Phys. Solid State* **12**, 531 (1970).
29. P. Hermet, M. Khalil, R. Viennois, M. Beaudhuin, D. Bourgogne, and D. Ravot, *RSC Adv.* **5**, 19106 (2015).
30. P. Borowicz, M. Latek, W. Rzodkiewicz, A. Łaszcz, A. Czerwinski, and J. Ratajczak, *Advances in Natural Sciences: Nanoscience and Nanotechnology* **3**, 045003 (2012).