

## МЕТОДИКА ПОЛУЧЕНИЯ СВЕРХГЛАДКИХ ПОВЕРХНОСТЕЙ ОПТИЧЕСКИХ ЭЛЕМЕНТОВ ИЗ СЕЛЕНИДА ЦИНКА

Буй Динь Бао<sup>1</sup>, Нгуен Зуи Хынг<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Технический университет имени Ле Куи Дона, 100000, Ханой, Вьетнам  
Email: dinhbao.bui@mta.edu.vn

<sup>2</sup>Университет ИТМО, 197101, Санкт-Петербург, Россия

Исследован процесс механического полирования селенида цинка с использованием в качестве полирующего материала водно-гликолевой суспензии алмазов: монокристаллического ACM и поликристаллического RDDM. На основании полученных результатов разработана методика механического полирования ZnSe, позволяющая получать шероховатость 0,227 нм, при этом отклонение в форме поверхности не превышает одного кольца.

**Ключевые слова:** селенид цинка, шероховатость, полирование, оптический элемент заданной формы

**Введение.** Селенид цинка (ZnSe) — это кристаллический материал, который широко используется в оптической и электронной промышленности [1—6], лазерной, терагерцовой технике [7, 8] и т.п. Этот материал хорошо пропускает электромагнитное излучение в спектральном диапазоне 0,5—22 мкм. Он используется также в лазерах, работающих на CO<sub>2</sub>, из-за термостабильности и незначительного поглощения на длине волны 10,6 мкм. Чтобы увеличить коэффициент пропускания оптических элементов, изготовленных из селенида цинка, необходимо преломляющие поверхности обработать так, чтобы минимизировать на них рассеяние, т.е. отполировать их, а затем, при необходимости, нанести на эти поверхности интерференционные покрытия, которые могут увеличивать отражение, пропускание и т.п. Для достижения минимальной шероховатости поверхности оптического элемента, изготовленного из кристаллического материала ZnSe, необходим специальный процесс полирования, отличающийся от процесса полирования поверхности элементов, изготовленных из традиционного оптического стекла. Это объясняется тем, что ZnSe — достаточно мягкий кристаллический материал, и при полировании его поверхность очень легко царапается, что не позволяет получать требуемый класс чистоты.

Исследование процесса полирования ZnSe рассмотрено в работах [9—16]. В работе [9] приведено описание химического метода полирования селенида цинка, представлено детальное описание процесса полирования, но отсутствуют данные о качестве полированной поверхности. В работах [10, 11, 14, 16] авторы описали исследование механического и химического процессов полирования ZnSe с использованием для полирования смол и кислот. В работах показаны зависимости скорости удаления материала от времени и представлены данные о точности получаемой формы поверхности. Но в этих работах не представлены данные о достигаемой шероховатости полированной поверхности. Механический процесс полирования также описан в работах [12, 15]. Авторы показали, что поверхность оптического качества ZnSe получается при использовании полирующей смолы с температурой размягчения 64 °С. В работе [13] представлены результаты исследования химического процесса полирования этого материала. Но данные о шероховатости поверхности не приведены.

Целью настоящего исследования является определение технологических режимов обработки, которые позволят получить поверхность оптического элемента, изготовленного из ZnSe, с наименьшими шероховатостью и отклонением от заданной формы.

**Эксперименты.** В экспериментах использован поликристаллический селенид цинка высокой чистоты, полученный химическим осаждением из паровой фазы (CVD ZnSe). Образцы размером 25,4×5,3 мм крепятся на алюминиевом приспособлении (рис. 1, а — до полирования, б — после). Условия эксперимента выбраны на основе рекомендаций работы [17]: скорость вращения нижнего звена (полировальника): 30 об/мин, давление: 30 кПа. В качестве полирующего материала была использована смола СП-4 (изготовлена по РТМ 3-72-70). Качество поверхности селенида цинка оценивается шероховатостью и геометрической формой поверхности (в нашем случае — это плоскостность). Шероховатость поверхности измерялась на профилометре Zygo's ZeGage optical profiler, а форма поверхности контролировалась с помощью интерферометра ZYGO Verifire (длина волны излучения 632,8 нм).

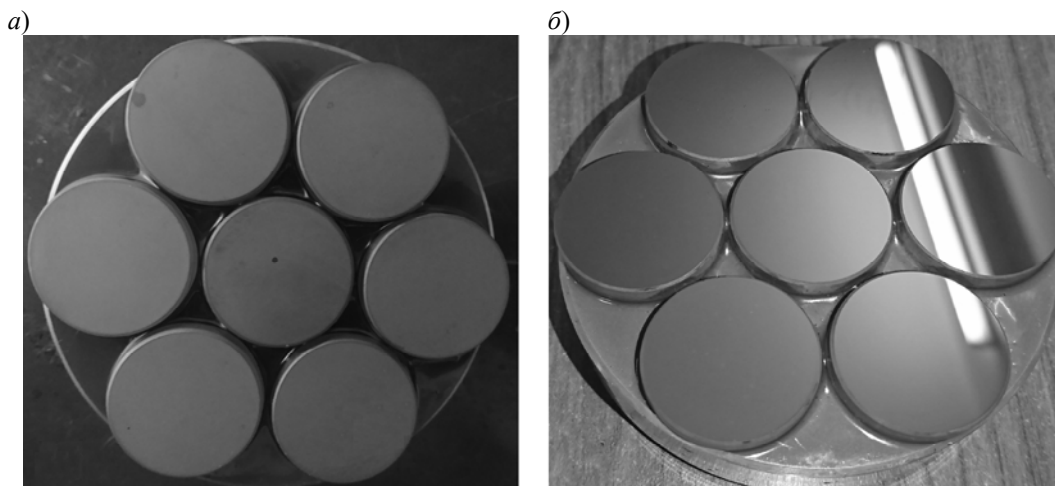


Рис. 1

На первом и втором этапах полирования использованы водно-гликолевые суспензии монокристаллического алмаза АСМ 1/0 и АСМ 0,5/0, потому что монокристаллические алмазные абразивы имеют режущие края, повреждающие обрабатываемую поверхность. Обрабатывающая способность этого порошка достаточна хорошая. Однако неровные части выступающих краев абразива могут создавать глубокие царапины на поверхности, что требует дополнительной обработки. Поэтому следует провести третий этап полирования, используя RDDM — суспензию поликристаллического искусственного алмаза. Форма частиц этого порошка максимально приближена к сфере, поэтому микрорельеф поверхности после обработки этой суспензией имеет меньшую глубину и становится более однородными. Кроме того, поликристаллические алмазные частицы достаточно хрупкие, под давлением инструмента в процессе полирования они ломаются, что позволяет активизировать процесс обработки.

**Полученные результаты.** Аттестация полученной полированной поверхности проводилась на приборе Zygo's ZeGage optical profile и интерферометр Zygo's Verifire. Полученные результаты представлены на рис. 2—5.

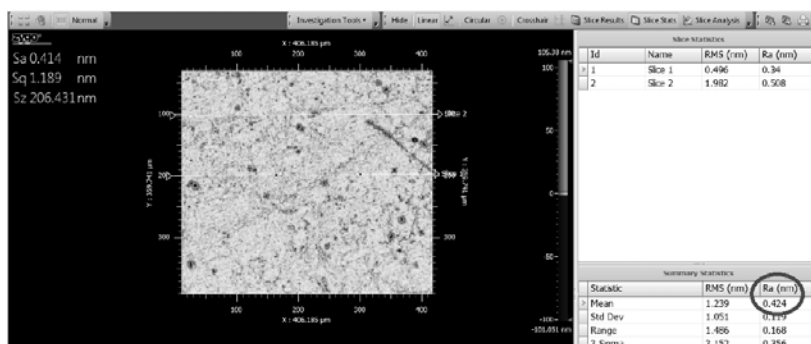


Рис. 2

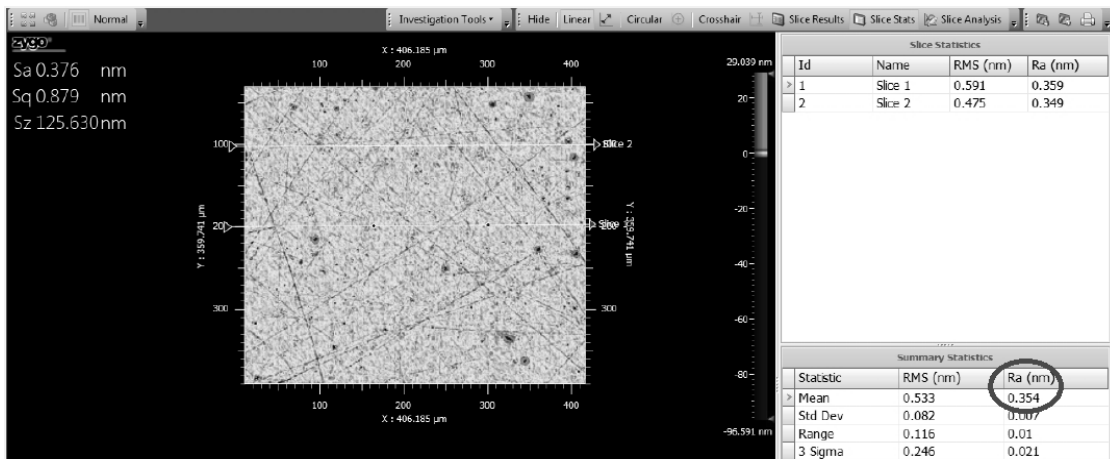


Рис. 3

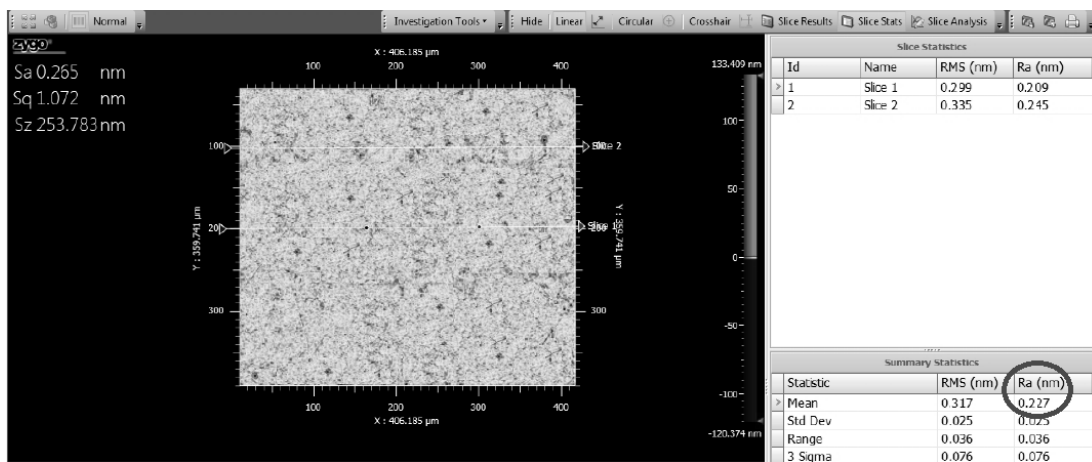


Рис. 4

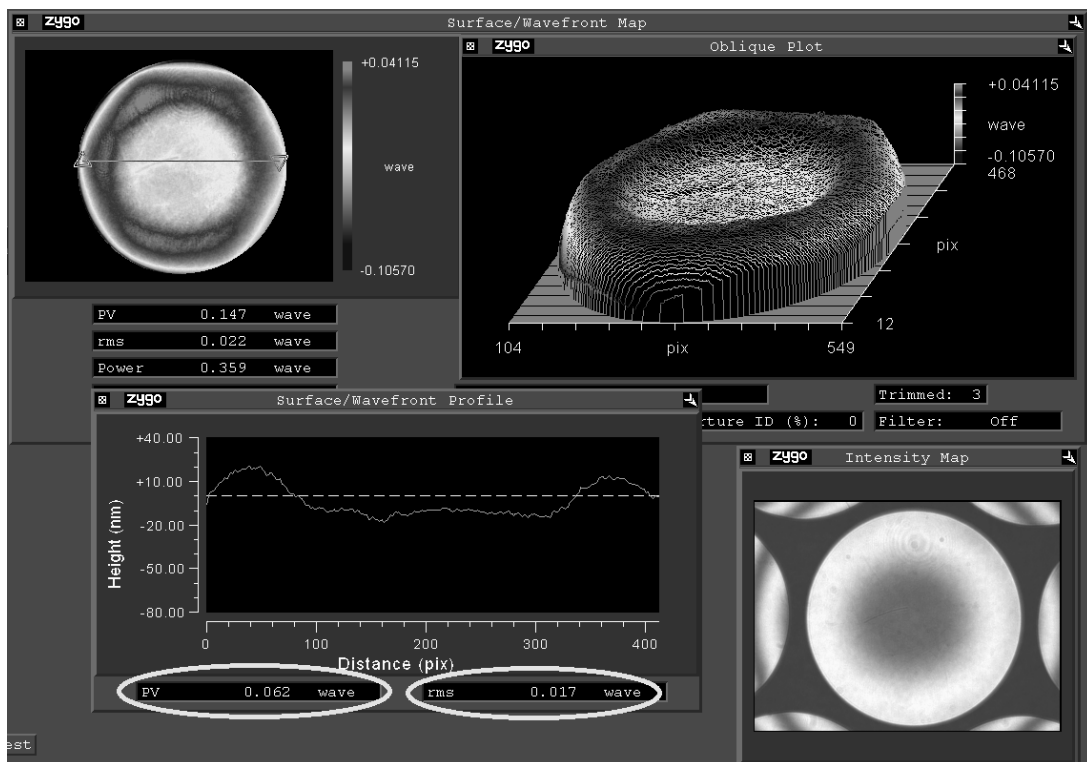


Рис. 5

Из полученных результатов видно, что после 90 мин полирования на первом этапе суспензией ACM1/0 шероховатость поверхности оптического элемента, изготовленного из ZnSe,

достигает 0,424 нм и на нем появляется несколько царапин (рис. 2). После второго этапа при замене суспензии на монокристаллический АСМ 0,5/0 и полировании в течение полутора часов результат становится лучше  $R_a = 0,354$  нм и количество царапин снижается (рис. 3). Такая шероховатость приемлема для оптических деталей. На третьем этапе в качестве полирующего материала используется суспензия поликристаллического алмаза RDDM 0,5/0 и после полирования в течение 30 мин шероховатость поверхности достигает 0,227 нм (рис. 4). После этого производится коррекция формы поверхности (в данном случае — плоскостности). Время коррекции обычно не меньше одного часа, проверка формы поверхности детали (см. рис. 5) показала, что  $PV=0,062\lambda$ , где  $\lambda = 632,8$  нм — длина волны, используемая в интерферометре соответственно  $\Delta N \approx 0,1$  и общая ошибка  $N < 1$ .

**Заключение.** Цель исследования — получение сверхгладких поверхностей с заданной точностью формы оптического элемента, изготовленного из ZnSe. В результате работы получены следующие результаты:

- шероховатость поверхности не превышает 0,227 нм;
- общая ошибка  $N < 1$ , местная  $\Delta N \approx 0,1$ .

Результаты получены с использованием оборудования лаборатории кафедрой „Оптические приборы“ технического университета имени Ле Куй Дона, Вьетнама.

Это исследование финансируется Военно-технической академией Вьетнама по проекту № 18.1.030.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Gavrushchuk E. M. Polycrystalline Zinc Selenide for IR Optical Applications // *Inorganic Materials*. 2003. Vol. 39, N 9. P. 883—899.
2. Bryzgalov A. N., Musatov V. V., and Buz'ko V. V. Optical properties of polycrystalline zinc selenide // *Semiconductors*. 2004. Vol. 38, N 3. P. 310—312.
3. Li D. et al. Optical Constants of Zinc Selenide at 373 and 423 K in the Wavelength Range of 2—15  $\mu\text{m}$  // *J. of Applied Spectroscopy*. 2016. Vol. 83, N 3. P. 512—516.
4. Qi H. et al. Optical Constants of Zinc Selenide in Visible and Infrared Spectral Ranges // *J. of Applied Spectroscopy*. 2017. Vol. 84, N 4. P. 679—682.
5. Balabanov S. S. et al. Spatial Distribution of Impurity Defect Centers in Fe-Doped Polycrystalline Zinc Selenide // *Inorganic Materials*. 2019. Vol. 55, N 5. P. 423—431.
6. Shalimova K. V., Dima I., and Pirogova N. V. Electrical properties of polycrystalline films of zinc selenide, cubic modification // *Soviet Physics J*. 1966. Vol. 9, N 2. P. 87—89.
7. Bogdankevich O. V. and Zverev M. M. Some Properties of a Zinc Selenide Laser // *Physics of p-n Junctions and Semiconductor Devices* / Ed. by S. M. Ryykin and Y. V. Shmartsev. Boston, MA: Springer, 1971. P. 204—208.
8. Zhukova M. O. et al. An Investigation of the Transmission of Iron-Doped Zinc Selenide in the Terahertz-Frequency Range // *Optics and Spectroscopy*. 2018. Vol. 124, N 5. P. 687—690.
9. Patent US 3869323A. Method of polishing zinc selenide / J. S. Basi. 28.12.1973.
10. Gavrishchuk E. M. et al. Polishing of ZnSe using rosin-based resins // *Inorganic Materials*. 2006. Vol. 42, N 7. P. 699—704.
11. Gavrishchuk E. M. et al. Study of the process of polishing polycrystalline zinc selenide using rosin-based polishing resin // *J. of Optical Technology*. 2008. Vol. 75, N 9. P. 603—607.
12. Vilkovala E. Y. and Timofeev O. V. Mechanical polishing of ZnSe using rosin-based resins // *Inorganic Materials*. 2010. Vol. 46, N 3. P. 264—268.
13. Vilkovala E. Y. and Timofeev O. V. Etching and chemical mechanical polishing of ZnSe using inorganic acids // *Inorganic Materials*. 2012. Vol. 48, N 5. P. 451—455.

14. Tomashyk V. Optimization of conditions for treatment of ZnSe crystal surfaces by chemical etching // *Semiconductor Physics Quantum Electronics and Optoelectronics*. 2013. Vol. 16. P. 140—145.
15. Vilkova E. Y. et al. Variation of the surface roughness of CVD ZnSe undergoing mechanical processing as a function of the grain size of the suspension // *J. of Optical Technology*. 2013. Vol. 80, N 9. P. 577—581.
16. Gavrishchuk E. M. et al. Effect of Polishing Conditions on the Optical Properties of Zinc Selenide Surfaces // *Inorganic Materials*. 2004. Vol. 40, N 3. P. 217—220.
17. Справочник технолога-оптика / Под ред. М. А. Окатова. СПб: Политехника, 2004. 679 с.

#### Сведения об авторах

- Динь Бао Буй** — канд. техн. наук; технический университет имени Ле Куй Дона, кафедра оптических приборов; преподаватель; E-mail: dinhbao.bui@mta.edu.vn
- Зуи Хынг Нгуен** — аспирант; Университет ИТМО, факультет прикладной оптики; E-mail: duyhung121093@gmail.com

Поступила в редакцию  
06.12.19 г.

**Ссылка для цитирования:** Буй Динь Бао, Нгуен Зуи Хынг. Методика получения сверхгладких поверхностей оптических элементов из селенида цинка // *Изв. вузов. Приборостроение*. 2020. Т. 63, № 2. С. 143—148.

### METHOD FOR OBTAINING ULTRA-SMOOTH SURFACES OF OPTICAL ELEMENTS FROM ZINC SELENIDE

Bui Dinh Bao<sup>1</sup>, Nguyen Duy Hung<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Le Quy Don Technical University, 100000, Hanoi, Vietnam  
Email: dinhbao.bui@mta.edu.vn

<sup>2</sup>ITMO University, 197101, St. Petersburg, Russia

The process of mechanical polishing of zinc selenide using a water-glycol suspension of ASM single crystal diamond and RDDM polycrystalline diamond is studied. Based on obtained results, a method for mechanical polishing of ZnSe is developed. The method is reported to provide the surface roughness of 0,227 nm, while deviation from planarity is less than one interference fringe, with a local error within 0,1 interference fringe.

**Keywords:** zinc selenide, roughness, polishing, laser, optical element of a given shape

#### REFERENCES

1. Gavrushchuk E.M. *Inorganic Materials*, 2003, no. 9(39), pp. 883–899.
2. Bryzgalov A.N., Musatov V.V., and Buz'ko V.V. *Semiconductors*, 2004, no. 3(38), pp. 310–312.
3. Li D. et al. *Journal of Applied Spectroscopy*, 2016, no. 3(83), pp. 512–516.
4. Qi H. et al. *Journal of Applied Spectroscopy*, 2017, no. 4(84), pp. 679–682.
5. Balabanov S.S. et al. *Inorganic Materials*, 2019, no. 5(55), pp. 423–431.
6. Shalimova K.V., Dima I., and Pirogova N.V. *Soviet Physics Journal*, 1966, no. 2(9), pp. 87–89.
7. Bogdankevich O.V. and Zverev M.M. *Physics of p-n Junctions and Semiconductor Devices*, S.M. Ryvkin and Y.V. Shmartsev, ed., Boston, MA, Springer US, 1971, pp. 204–208.
8. Zhukova M.O. et al. *Optics and Spectroscopy*, 2018, no. 5(124), pp. 687–690.
9. Patent US 3869323A, *Method of Polishing Zinc Selenide*, J.S. Basi, 28.12.1973.
10. Gavrishchuk E.M. et al. *Inorganic Materials*, 2006, no. 7(42), pp. 699–704.
11. Gavrishchuk E.M. et al. *Journal of Optical Technology*, 2008, no. 9(75), pp. 603–607.
12. Vilkova E.Y. and Timofeev O.V. *Inorganic Materials*, 2010, no. 3(46), pp. 264–268.
13. Vilkova E.Y. and Timofeev O.V. *Inorganic Materials*, 2012, no. 5(48), pp. 451–455.
14. Tomashyk V. *Semiconductor Physics Quantum Electronics and Optoelectronics*, 2013, no. 16, pp. 140–145.
15. Vilkova E.Y. et al. *Journal of Optical Technology*, 2013, no. 9(80), pp. 577–581.
16. Gavrishchuk E.M. et al. *Inorganic Materials*, 2004, no. 3(40), pp. 217–220.
17. Okatov M.A., ed., *Spravochnik tekhnologa-optika* (Handbook of Optologist), St. Petersburg, 2004, 679 p. (in Russ.)

#### Data on authors

- Dinh Bao Bui** — PhD; Le Quy Don Technical University, Department of Optical Instruments; Lecturer; E-mail: dinhbao.bui@mta.edu.vn

**Duy Hung Nguyen**— Post-Graduate Student; ITMO University, Faculty of Applied Optics;  
E-mail: duyhung121093@gmail.com

**For citation:** Bui Dinh Bao, Nguyen Duy Hung. Method for obtaining ultra-smooth surfaces of optical elements from zinc selenide. *Journal of Instrument Engineering*. 2020. Vol. 63, N 2. P. 143—148 (in Russian).

DOI: 10.17586/0021-3454-2020-63-2-143-148