

**Gorbatenko Nikolay Nikolaevich** – Southern Federal University; e-mail: nickrussia93@gmail.com; 44, Nekrasovskiy, Taganrog, 347928, Russia; the department of antennas and radio transmitters; post-graduate student.

**Semenikhina Diana Viktorovna** – e-mail: d\_semenikhina@mail.ru; 64, Skachkova street, Rostov-on-Don, Russia; phone: +79281895931 the department of antennas and radio transmitters; professor.

УДК 681.2

DOI 10.23683/2311-3103-2018-7-24-32

**А.В. Саенко, Д.А. Бондарчук****РАЗРАБОТКА КОНСТРУКЦИИ ДАТЧИКА ДАВЛЕНИЯ НА ОСНОВЕ СТРУКТУРЫ САПФИР-СТЕКЛОВИДНЫЙ ДИЭЛЕКТРИК-КЕРАМИКА**

**Актуальность.** Рассматривается задача проектирования конструктивных решений датчика давления с применением структуры сапфир-стекловидный диэлектрик-керамика. Приводится описание основных недостатков в разработанных полупроводниковых датчиках давления. В датчиках давления для присоединения чувствительного элемента (например, структуры «кремний-на-сапфире») к корпусу изделия (подложке-держателю) применяются компаунды или стеклопорошки. Рассмотрена модель расчёта термического напряжения структуры сапфир-стекловидный диэлектрик с применением метода конечных элементов на базе пакета Coventor Ware Turbo 2012. **Научная новизна.** Для улучшения качества надёжности работы полупроводниковых датчиков давления на основе структуры сапфир-стекловидный диэлектрик-керамика в условиях с повышенной температурой, высоким уровнем радиации или химически агрессивной средой был разработан стекловидный неорганический диэлектрик системы  $PbO - V_2O_5 - ZnO$ . При расчёте в модели термического напряжения структуры сапфир-стекловидный диэлектрик компонентами служили неорганический диэлектрик (толщиной 5 мкм) и сапфировая подложка, изготовленная методом горизонтальной направленной кристаллизации (ГНК) (толщиной 0,5 мкм). **Принципиальное отличие.** Применяемый для разработки датчика давления стекловидный диэлектрический материал отвечает комплексу физико-химических требований и согласованности по коэффициентам линейных термических расширений (КЛТР) с такими материалами как сапфир, изготовленный методом горизонтальной направленной кристаллизации (ГНК) и керамика. Разработанный стекловидный неорганический диэлектрик имеет температуру плавления менее 560 °С, что значительно для ускорения работы изготовления и экономии процессорного времени прибора. Модель расчёта термических напряжений структуры сапфир-стекловидный диэлектрик для датчиков давления позволяет получать величины термических напряжений, а также дать рекомендацию разработчикам датчика давления для использования стекловидного диэлектрика в качестве «связующего» элемента конструкции. Представлен вариант применения структуры сапфир - стекловидный диэлектрик – керамика для изготовления разрабатываемой конструкции полупроводникового датчика давления на основе структуры «кремний-на-сапфире». К основным этапам изготовления разработанного датчика давления можно отнести: подготовка сапфировой и керамической поверхности, изготовление чувствительного элемента (на базе «кремний-на-сапфире»), присоединение чувствительного элемента (структуры «кремний-на-сапфире») к керамической подложке (корпусу изделия), испытание и отбраковка. Полученная конструкция датчика давления с применением структуры сапфир-стекловидный диэлектрик-керамика характеризуется улучшенными эксплуатационными параметрами датчика давления такими как: интервал измерения (от 0,1 до 120,0 МПа) и рабочая температура (-50 до +250 °С).

Датчик давления; конструкция; модель расчёта; термические напряжения; сапфир; стекловидный диэлектрик; керамика; чувствительный элемент.

A.V. Sayenko, D.A. Bondarchuk

**DESIGN OF PRESSURE SENSOR BASED ON THE STRUCTURE OF THE SAPPHIRE-DIELECTRIC, VITREOUS-CERAMICS**

**Relevance.** Considered the model for calculation of thermal stresses the structure of the sapphire-vitreous dielectric using the method of finite elements on the basis of the package Coventor Ware Turbo 2012. The pressure transducers for connection of sensitive element (e.g., the structures "silicon-on-sapphire") to the body (substrate holder) are used compounds or steklopack. The article considers the problem of designing constructive solutions to the pressure sensor with the use of the structure of the sapphire-dielectric glass-ceramics. The description of the basic deficiencies in the developed semiconductor pressure sensors. **Scientific novelty.** To improve the quality and reliability of semiconductor pressure sensors based on the structure of the sapphire-dielectric, vitreous-ceramics in conditions of high temperature, high radiation or chemically aggressive environment was developed vitreous inorganic dielectric system  $PbO - B_2O_3 - ZnO$ . In the calculation in the model of thermal stress of structure, the sapphire-vitreous dielectric components served as an inorganic dielectric (thickness  $5 \mu m$ ) and sapphire substrate manufactured by the method of horizontal directional crystallization (GNK) (thickness  $0.5 \mu m$ ). **The fundamental difference.** Used to develop pressure dielectric material meets the glassy complex physico-chemical requirements and coherence coefficients of linear thermal extensions (LTEC) with materials such as Sapphire, manufactured the method of horizontal directional solidification (SOC) and ceramics. Designed by glassy inorganic dielectric has a melting point less than  $560^\circ C$ , significantly to speed up manufacture and CPU time saving appliance. Thermal stress calculation model of the structure of Sapphire-glassy dielectric for pressure sensors allows to get values of thermal stresses, as well as give advice to developers to use vitreous pressure sensor dielectric as a "Binder" element of design. Submitted to the application structure of Sapphire-glassy dielectric ceramic a semiconductor design developed for the manufacture of pressure sensor based on the structure of the "Silicon-on-Sapphire". The main stages of manufacturing developed pressure sensor are: preparation of Sapphire and ceramic surface, making the sensitive element (based on Silicon-on-Sapphire"), connection of the sensitive element (structure" Silicon-on-Sapphire") to the ceramic substrate (Hull), testing and culling. The resulting pressure sensor design using structure of Sapphire-glassy dielectric ceramics are characterized by improved operating parameters such as pressure sensor: measuring interval (from 0.1 to 120.0 Mpa) and the working temperature ( $-50^\circ C$  to  $+250^\circ C$ ).

*Pressure sensor; construction; calculation model; thermal stress; sapphire; glassy dielectric; ceramics; the sensitive element.*

**Введение.** Бурное развитие техники в последние годы в области создания электронных устройств поставило перед микро- и нанoeлектроникой повышенные требования к ним по надёжности, микроминиатюризации, быстродействию, стабильности параметров и другим свойствам. Наличие современной эффективной отечественной базы по производству монокристаллов сапфира является стратегическим приоритетом и гарантом развития электронной техники в стране. Однако, производство и решение научно-технических задач, связанных с применением и разработкой электронных устройств на базе структуры «кремний-на-сапфире» до сих пор остается серьёзной проблемой. Важной проблемой при разработке полупроводниковых датчиков давления является выбор метода присоединения первичного тензопреобразователя к корпусу прибора, так как существующие в настоящее время методы резко снижают технические параметры и надёжность электрического прибора [1–4, 6–13].

Рассмотренные в работе датчики давления на базе тройной структуры учитывают эффект тензочувствительности кремниевых слоев. Чувствительный элемент датчика давления представляет собой мембрану, которая выполнена из монокристаллического сапфира. Данная мембрана служит упругим элементом, на котором размещаются кремниевые тензорезисторы, объединенные в измерительный мост

[7–9, 11, 18–23]. Металлическая подложка присоединяется к чувствительному элементу структуры «кремний-на-сапфире». К основному недостатку датчика давления можно отнести сильную нелинейную зависимость характеристики выходного сигнала от температуры. Указанный недостаток влияет на увеличение температурной погрешности преобразования и вызывает необходимость ввода температурной коррекции сигнала на выходе. Главной причиной теплового дрейфа выходного сигнала в начальный момент времени считаются различные коэффициенты линейно-термического расширения (КЛТР) металлической мембраны и сапфировой подложки чувствительного элемента. Данный недостаток, когда корпус датчика давления изготавливается на основе металлического сплава, устраняется применением преобразователей с упругими сапфировыми элементами и использованием керамического основания (корпуса). Применение керамики при производстве датчиков давления уменьшает цену преобразователя за счёт применения керамического материала вместо дорогостоящего металлического сплава и тяжёлой обработки металла [13–15, 21].

Разработка и исследование технологии структур сапфир – стекловидный диэлектрик – керамика для электронной техники, и расчёт термических напряжений структур сапфир-стекловидный диэлектрик в частности для датчиков давления является весьма **актуальной** на сегодняшний день задачей [1–10].

Разработка конструкции датчика давления, в котором неорганический стекловидный диэлектрик системы  $PbO - V_2O_3 - ZnO$  применяется в качестве «связующего» компонента первичного тензопреобразователя к корпусу изделия; разработка и расчёт модели термического напряжения плёнки стекловидного диэлектрика на сапфировой подложке является **научной новизной** статьи.

**Принципиальным отличием** разрабатываемой конструкции датчика давления на основе структуры сапфир-стекловидный диэлектрик-керамика, от производимых датчиков давления фирмами Kulite [7], Honeywell [8], Omega (США) [9], Auxitor (Франция) [10], Druck (Великобритания) [11], является применение «связующего» компонента из неорганического стекловидного диэлектрика, который в отличие других материалов, механически более прочный, обладает более высокой химической и радиационной стойкостью, более близкими к материалу полупроводникового преобразователя значением коэффициента линейного термического расширения, его структура менее подвержена термическим воздействиям и не подвергается деструкции во времени. В соответствии с этим, применение стекловидных диэлектриков в технологии изготовления полупроводниковых датчиков давления позволяет получить приборы с высокими метрологическими характеристиками [11, 13].

**Постановка задачи.** Данная работа посвящена разработке конструкции датчика давления на основе структуры сапфир-стекловидный диэлектрик-керамика, а также модели расчёта термических напряжений структуры сапфир-стекловидный диэлектрик на базе пакета Coventor Ware Turbo 2012, который даёт объективную оценку расчёта напряжений стекловидного неорганического диэлектрика системы  $PbO - V_2O_3 - ZnO$  на сапфировой подложке [6–24].

**Целью** данной работы является разработка конструкции датчика давления на основе структуры сапфир-стекловидный диэлектрик-керамика, который способен сохранить свою надёжную работоспособность в экстремальных условиях, а также расчёт термических напряжений структуры сапфир-стекловидный диэлектрик для датчика давления на базе пакета Coventor Ware Turbo 2012.

**Описание метода.** В датчиках давления для присоединения чувствительного элемента к корпусу изделия применяются компаунды или стеклопорошки [3–5, 12, 16]. Для соединения чувствительного элемента (структуры «кремний-

на-сапфире») к корпусу изделия (подложке-держателю) и для улучшения качества надёжности полупроводниковых датчиков давления, и при этом стабильно сохраняющих свою работоспособность в экстремальных условиях (повышенная температура, высокий уровень радиации или химически агрессивная среда) был разработан стекловидный диэлектрик системы  $PbO - V_2O_5 - ZnO$ , имеющий температуру плавления менее  $560\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Стекловидный диэлектрический материал имеет согласованность по коэффициенту линейного термического расширения (КЛТР) с КЛТР сапфира и КЛТР керамики [13, 14].

Конструкция датчика давления, разработанного на базе тройной структуры представлена на рис. 1,а,б.

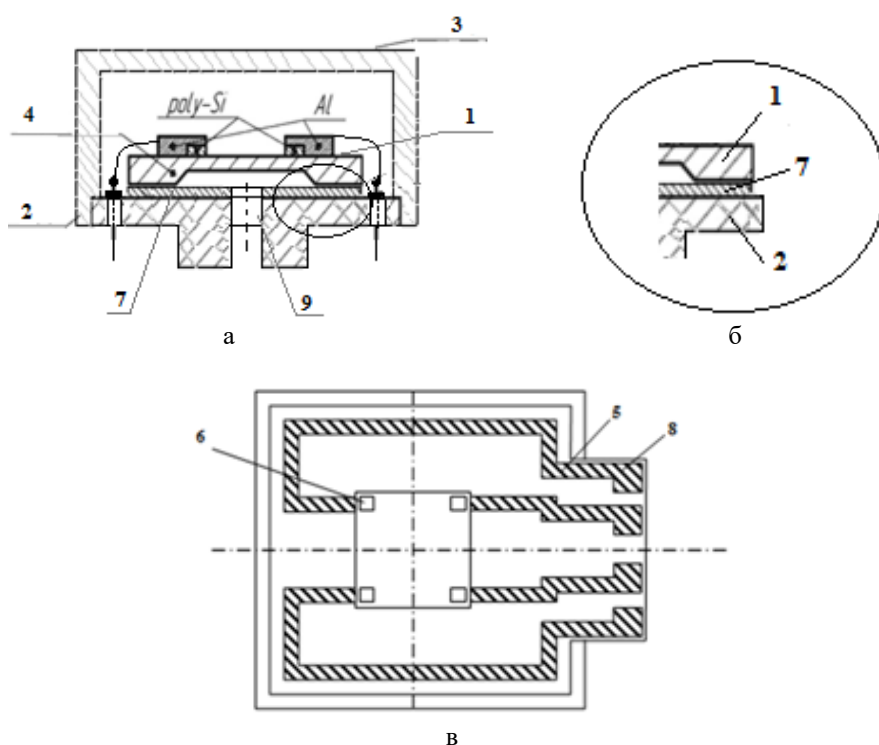


Рис. 1. Датчик давления: а) разрез конструкции; б) тройная структура в конструкции датчика давления; в) вид сверху со снятой крышкой:

1 – полупроводниковый чувствительный элемент на основе «кремний-на-сапфире», 2 – керамическое основание с отверстием  $D$ , 3 – крышка, 4 – мембрана, 5 – металлизированные токоведущие дорожки, 6 – контактные площадки, 7 – паяное соединение (стекловидный неорганический диэлектрик), 8 – выходные контакты, 9 – отверстие диаметром  $D$ .

К основным этапам изготовления разработанного датчика давления можно отнести:

- ◆ подготовка сапфировой и керамической поверхности;
- ◆ изготовление чувствительного элемента (структуры «кремний-на-сапфире»);
- ◆ присоединение чувствительного элемента (на базе структуры «кремний-на-сапфире») к керамической подложке (корпусу изделия);
- ◆ испытания, отбраковка.

Удаление зоны тензочувствительного элемента от узлов сопряжения с корпусом делает возможным осуществление термомеханической развязки и защиты контактов от внешнего воздействия (рис. 1,в).

**Проведенные исследования.** При расчёте термического напряжения структуры сапфир-стекловидный диэлектрик коэффициент линейного термического расширения (КЛТР) записывают в дифференциальной форме [10, 25]:

$$\alpha^{int}(T_w, T_b) = \left( a + \frac{b}{2} \cdot T_b + \frac{c}{3} \cdot T_b^2 + \frac{d}{4} \cdot T_b^3 + \frac{e}{5} \cdot T_b^4 \right) + \left( \frac{b}{2} + \frac{c}{3} \cdot T_b + \frac{d}{4} \cdot T_b^2 + \frac{e}{5} \cdot T_b^3 \right) \cdot T_w + \left( \frac{c}{3} + \frac{d}{4} \cdot T_b + \frac{e}{5} \cdot T_b^2 \right) \cdot T_w^2 + \left( \frac{d}{4} + \frac{e}{5} \cdot T_b \right) \cdot T_w^3 + \frac{e}{5} \cdot T_w^4, \quad (1)$$

Для упрощения расчёта термических напряжений КЛТР преобразуют и записывают в интегральной форме. Форма записи будет иметь следующий вид [25]:

$$\alpha^{int}(T_w, T_b) = \int_{T_b}^{T_w} \frac{1}{T_w - T_b} \alpha^{dif}(T) dT, \quad (2)$$

где  $T_b$  – температура соединения, °C;  $T_w$  – рабочая температура, °C;  $\alpha(T)$  – вектор КЛТР материала, 1/К.

При расчёте термического напряжения двойной структуры использовалась модель, компонентами которой являлась плёнка стекловидного неорганического диэлектрика и сапфировая подложка, изготовленная методом ГНК. Для формирования стекловидной диэлектрической плёнки равномерной по толщине и однородности на сапфировой подложке был применён метод центрифугирования [16].

На рис. 2 и 3 показаны результаты моделирования распределения термических напряжений структуры сапфир-стекловидный диэлектрик методом конечных элементов. В расчётах использовался стекловидный неорганический диэлектрик системы  $PbO-B_2O_3-ZnO$  (толщиной 5 мкм) с КЛТР  $8,5 \dots 9,5 \times 10^{-6} K^{-1}$  и сапфир, изготовленный методом ГНК (толщиной 0,5 мкм), имеющий КЛТР в диапазоне значений  $5 \dots 6,66 \times 10^{-6} K^{-1}$ . В модели расчёта термических напряжений структуры сапфир-стекловидный диэлектрик задавалась температура соответствующая рабочей температуре ( $T_w$ ) и температуре соединения ( $T_b$ ) 550°C [17, 18].

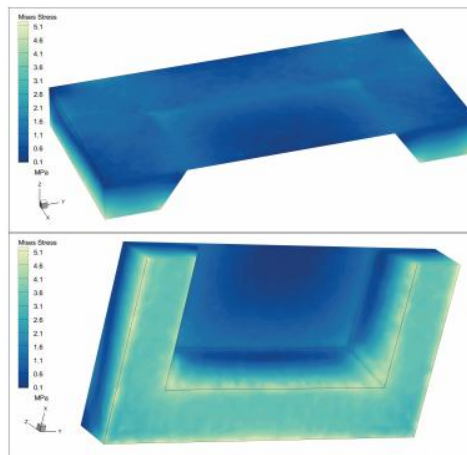


Рис. 2. Распределение термических напряжений в структуре стекловидного неорганического диэлектрика системы  $PbO-B_2O_3-ZnO$  на сапфировой подложке, изготовленной методом ГНК

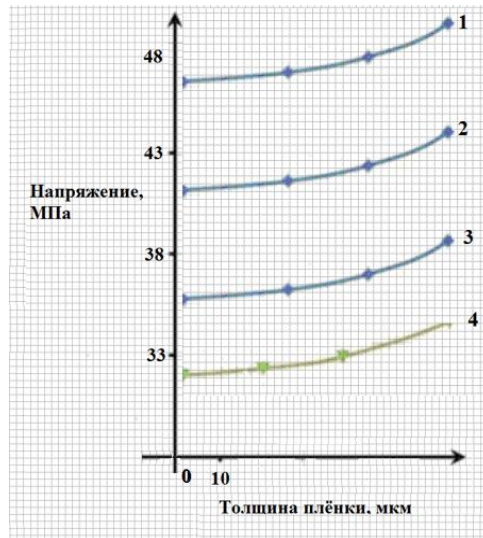


Рис. 3. Остаточные термические напряжения стекловидного диэлектрика на поверхности сапфировой подложке при различных рабочих температурах (1-50°C, 2-100°C, 3-150°C, 4-200°C)

**Результат.** Выполнен расчёт модели термических напряжений структуры сапфир-стекловидный диэлектрик в программе Coventor Ware Turbo 2012. Расчётным результатом было установлено, что термические напряжения в плёнке стекловидного неорганического диэлектрика системы  $PbO-B_2O_3-ZnO$  на сапфировой подложке, изготовленной методом ГНК, составляют значения в диапазоне 26-41 кг/см<sup>2</sup>, что соответствует теоретическим расчётам [16].

**Заключение.** Таким образом, разработанный датчик давления с применением структуры сапфир-стекловидный диэлектрик-керамика имеет расширенные функциональные возможности. Датчик давления на основе тройной структуры может работать при рабочих температурах от -50 до +250, имеет весьма широкий диапазон измерения давления 0,1–120,0 МПа. При увеличении температурного диапазона применение стекловидного диэлектрика позволяет использовать широкий круг материалов, согласованных по величинам КЛТР между собой, что дает возможность уменьшить величины напряжений в структуре до 10 кг/см<sup>2</sup>, что существенно повышает качество датчиков давления. Основной недостаток датчиков давления - сильная нелинейная зависимость параметров (прежде всего, начального выходного сигнала) от температуры. От этого недостатка можно избавиться, используя преобразователи с однослойным упругим элементом из сапфира и керамическим основанием. Сапфировый элемент позволяет повысить чувствительность, стабильность, практически не имеет механического гистерезиса, работать в широком диапазоне температур и при воздействии радиации. Применение керамики при производстве преобразователей давления уменьшает температурную погрешность преобразования из-за возможности лучшего согласования КЛТР керамики и сапфировой подложки, кроме этого, это позволяет уменьшить стоимость преобразователя из-за использования керамики вместо дорогостоящих титановых сплавов и сложной металлообработки.

Работа выполнена при поддержке Министерства образования и науки Российской Федерации (проект № 14.587.21.0025, уникальный идентификатор RFMEFI58716X0025).

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Алферов Ж.И., Копьев П.С., Суриц Р.А. Наноматериалы и нанотехнологии // Нано- и микросистемная техника. – 2003. – № 8. – С. 3-13.
2. Wang Y.D., Wu X.H., Su Q., Li Y.-F., Zhou Z.L. Ammonia-sensing characteristics of Pt and SiO<sub>2</sub> doped SnO<sub>2</sub> materials // Solid-State Electronics. – 2001. – Vol. 45. – P. 347-350.
3. Добровинская Е.Р., Литвинов Л.А., Пищук В.В. Энциклопедия сапфира. – Харьков: НТК «Институт монокристаллов», 2004. – 508 с.
4. Стучебников В.М. Структуры «кремний на сапфире» как материал для тензопреобразователей механических величин // Радиотехника и электроника. – 2005. – Т. 50, № 6. – С. 678-696.
5. Угай Я.А. Введение в химию полупроводников. – М.: Высш. шк., 1975. – 302 с.
6. Лидер в области технологии преобразователей давления. – Режим доступа: <http://kulite.com.ru> (дата обращения: 17.10.2018).
7. Оборудование Honeywell. Режим доступа: <https://honeywell.ru> (дата обращения: 17.10.2018).
8. Аналоговые датчики давления OMEGA. – Режим доступа: <http://www.directindustry.com.ru/produkt—proizvoditel/analogovuj—datcik—davlenia—omega—91461—797.html> (дата обращения: 17.10.2018).
9. Лидер в области технологии преобразователей давления. – Режим доступа: <http://www.geex.ru> (дата обращения: 17.10.2018).
10. Honeywell—каталог продукции автоматизации. – Режим доступа: <https://honeywell.ru/catalog/datchiki—davlenia> (дата обращения: 17.10.2018).
11. Носов Ю.Г., Деркаченко Л.И. Последствие при испытании корунда на микротвердость // Журнал технической физики – 2003. – № 10. – С. 139-142.
12. Гончаров В.А., Азанова И.В., Васекин Б.В. Модель неравновесной кристаллизации для численного решения задачи роста полупроводниковых кристаллов из расплавов // Известия вузов. Электроника. – 2010. – № 5. – С. 5-13.
13. Malukov S.P., Klunnikova Yu.V. Nano- and Piezoelectric Technologies, Materials and Devices (chapter: Physical and Technological Fundamentals of Sapphire Production for Electronics) – USA: Nova Science Publishers, 2013. – P. 133-150.
14. Нелина С.Н. Снижение количества дефектов в монокристаллах сапфира за счёт стабилизации градиента температуры теплового поля // Тр. международной научной конференции и школы-семинара «Актуальные проблемы твердотельной электроники и микроэлектроники». – 2006. – С. 82-84.
15. Корякова З., Битт В. Легкоплавкие стекла с определенным комплексом физико-механических свойств // Компоненты и технологии. – 2004. – № 5. – С. 126-128.
16. Павлушкин Н.М. Химическая технология стекла и ситаллов. – М.: Стройиздательство, 1943. – 432 с.
17. Лебедев Г.А., Чередниченко Д.И. Исследование модели жидкофазной рекристаллизации слоя поликремния на сапфировой подложке // Кристаллография. – 2009. – № 3. – С. 553-558.
18. Клунникова Ю.В. Оптимизация технологического процесса получения высококачественных подложек из сапфира для интегральных схем // Известия ЮФУ. Технические науки. – 2016. – № 4 (177). – С. 23-21.
19. Dobrovinskaya E.R., Lytvynov L.A., Pischik V.V. Sapphire. Material, Manufacturing, Applications. – New York: Springer, 2009. – 481 p.
20. Буй Т.Х. Разработка и исследование чувствительных элементов датчиков давления на основе структур «кремний на сапфире» с использованием лазерных технологий: дис. ... канд. техн. наук. – Таганрог, 2017. – 123 с.
21. Malukov S.P., Klunnikova Yu.V., Parinov I.A. Investigations of Defects Formation During Sapphire Growth // In: Advanced Nano- and Piezoelectric Materials and Their Applications. – USA: Nova Science, 2014. – P. 89-108.
22. Синев Л.С. Расчет и выбор режимов электростатического соединения кремния со стеклом по критерию минимума остаточных напряжений: дис. ... канд. техн. наук: 05.27.06. – М., 2016. – 119 с.
23. Малюков С.П., Нелина С.Н., Стефанович В.А. Физико-технологические аспекты изготовления изделий из сапфира. – Германия: LAP LAMBERT Academic Publishing CmbH &Co. KG, 2012. – 164 с.

## REFERENCES

1. *Alferov Zh.I., Kop'ev P.S., Suris R.A.* Nanomaterialy i nanotekhnologi [Nanomaterials and nanotechnology], *Nano- i mikrosistemnaya tekhnika* [Nano-and Microsystem technology], 2003, No.8, pp.3-13.
2. *Wang Y.D., Wu X.H., Su Q., Li Y.-F., Zhou Z.L.* Ammonia-sensing characteristics of Pt and SiO<sub>2</sub> doped SnO<sub>2</sub> materials, *Solid-State Electronics*, 2001, V. 45, pp. 347-350.
3. *Dobrovinskaya E.P., Litvinov L.A., Pischik V.V.* Enziklopedia saphira [Encyclopedia of sapphire]. Harkov: NTK "Institut monokristallov", 2004, 508 p.
4. *Stuchechnikov V.M.* Struktury "kremniy-na-sapphire" kak material dlya tenzopreobrazovateley mekhanicheskikh velichin [Silicon-on-sapphire structures as a material for strain transducers of mechanical quantities], *Radiotekhnika i ehlektronika* [Radio engineering and electronics], 2005, No.6, pp.678-696.
5. *Ugaj Ja.A.* Vvedenie v himiju poluprovodnikov [Introduction to the chemistry of semiconductors]. Moscow: Vyssh. shk., 1975, 302 p.
6. Available at: <http://kulite.com.ru> (accessed 17 October 2018).
7. Available at: <https://honwell.ru> (accessed 17 October 2018).
8. Available at: <http://www.directindustry.com.ru/produkt—proizvoditel/analogovyy—datchik—davleniya—omega—91461—797.html> (accessed 17 October 2018).
9. Available at: <http://www.reex.ru> (accessed 17 October 2018).
10. Available at: <https://honwell.ru/catalog/датчики—давления> (accessed 17 October 2018).
11. *Nosov Ju.G., Derkachenko L.I.* Posledstvie pri ispytanii korunda na mikrotverdost' [The consequence of the test of corundum for microhardness], *Zhurnal tekhnicheskoy fiziki* [Technical Physics Journal], 2003, No. 10, pp. 139-142.
12. *Goncharov V.A., Azanova I.V., Vasekin B.V.* Model' neravnovesnoy kristallizatsii dlya chislennogo resheniya zadachi rosta poluprovodnikovykh kristallov iz rasplavov [Nonequilibrium crystallization model for the numerical solution of the problem of growth of semiconductor crystals from melts], *Izvestiya vuzov. Ehlektronika* [Izvestiya vuzov.Elektronika], 2010, No. 5, pp. 5-13.
13. *Malyukov S.P., Klunnikova Yu.V.* Nano- and Piezoelectric Technologies, Materials and Devices (chapter: Physical and Technological Fundamentals of Sapphire Production for Electronics), USA: Nova Science Publishers, 2013, pp. 133-150.
14. *Nelina S.N.* Snizhenie kolichestva defektov v monokristallakh saphira za schet stabilizatsii gradienta temperatury teplovogo polya [Reducing the number of defects in sapphire single crystals by stabilizing the temperature gradient of the thermal field], *Trudy mezhdunarodnoy nauchnoy konferentsii i shkoly-seminara "Aktual'nye problemy tverdotel'noj ehlektroniki i mikroehlektroniki* [Proceedings of the international scientific conference and school-seminar "Actual problems of solid-state electronics and microelectronics"], 2006, pp. 82-84.
15. *Koryakova Z., Bitt V.* Legkoplavkie stekla s opredelennym kompleksom fiziko-mekhanicheskikh svoystv [Fusible glasses with a certain complex of physico-mechanical properties], *Komponenty i tekhnologii* [Components and technologies], 2004, No. 5, pp. 126-128.
16. *Pavluchkin N.M.* Himicheskaya tekhnologiya stekla i sitallov [Chemical technology of glass and Sital]. Moscow: "Strojizdatelstvo", 1943, 432 p.
17. *Lebedev G.A., Cherednichenko D.I.* Issledovanie modeli zhidkofaznoy rekristallizatsii sloya polikremniya na sapirovoy podlozhke [Ehermal processes for the production of crystals of sapphire by horizontal directed crystallization], *Kristallografiya* [Crystallography], 2009, No. 3, pp. 553-558.
18. *Klunnikova Yu.V.* Optimizatsiya tekhnologicheskogo processa polucheniya vysokokachestvennykh podlozhek iz saphira dlya integral'nykh skhem [Optimization of the technological process for obtaining high-quality sapphire substrates for integrated circuits], *Izvestiya YuFU. Tekhnicheskie nauki* [Izvestiya SFedU. Engineering Sciences], 2016, No. 4 (177), pp. 23-31.
19. *Dobrovinskaya E.R., Lytvynov L.A., Pischik V.V.* Sapphire. Material, Manufacturing, Applications. New York: Springer, 2009. 481 p.
20. *Buy T.H.* Razrabotka i issledovanie chuvstvitelnykh elementov datchikov davleniya na osnove struktur «kremniy na saphire» s ispolzovaniem lazernykh tekhnologii: dis.kand.tekhn.nauk [Development and investigation of pressure sensing elements on the basis of "silicon on sapphire" structures using laser technologies: cand. of eng sc.diss.], Taganrog, 2017, 123 p.



21. *Malyukov S.P., Klunnikova Yu.V., Parinov I.A.* Investigations of Defects Formation During Sapphire Growth, *In: Advanced Nano- and Piezoelectric Materials and Their Applications*. USA: Nova Science, 2014. P. 89-108.
22. *Sin'jov L.S.* Raschety i vybor rejimov elektrostatičeskogo soedinenia kremniya so steklom po kriteriyu minimum ostatočnyh naprjagenij: dis.: kand. tech.nauk: 05.27.06. Moscow, 2016. 119 pp. [Sinev L.S. Calculation and selection of modes of electrostatic silicon with glass according to the criterion of minimum residual voltages: cand. of eng. sc.: 05.27.06]. M., 2016. 119 p.
23. *Malyukov S.P., Nelina S.N., Stefanovich V.A.* Fiziko-technologičeskie aspekty izgotovleniya izdelij iz saphira [Physico-technological aspects of manufacturing products from sapphire]. Germany: LAP LAMBERT Academic Publishing GmbH & Co. KG, 2012, 164 p.

Статью рекомендовал к опубликованию д.т.н., профессор Я.Е. Ромм.

**Саенко Александр Викторович** – Южный федеральный университет; e-mail: avsaenko@sfedu.ru; 347928, г. Таганрог, пер. Некрасовский, 44; тел.: 88634371603; кафедра конструирования электронных средств; к.т.н.; доцент.

**Бондарчук Дина Алексеевна** – e-mail: gemtschugnaja@rambler.ru; кафедра конструирования электронных средств; аспирант.

**Sayenko Alexandr Viktorovich** – Southern Federal University; e-mail: avsaenko@sfedu.ru; 44, Nekrasovskiy, Taganrog, 347928, Russia; phone: +78634371603; the department of electronic apparatuses design; assistant professor.

**Bondarchuk Dina Alexeevna** – e-mail: gemtschugnaja@rambler.ru; the department of electronic apparatuses design; postgraduate student.

УДК 520.624

DOI 10.23683/2311-3103-2018-7-32-46

**В.В. Комаров, Е.А. Семенко**

## **ИССЛЕДОВАНИЕ СОВРЕМЕННЫХ ПОЛУПРОФЕССИОНАЛЬНЫХ ПЗС-КАМЕР ДЛЯ РАБОТЫ НА ОПТИЧЕСКИХ ТЕЛЕСКОПАХ СРЕДНЕГО КЛАССА**

*Данная статья посвящена исследованиям современных высокочувствительных ПЗС камер для работы в составе фотоприемной аппаратуры оптических телескопов среднего класса (однометровых телескопов). В связи с быстрым развитием технологической базы оптоэлектронных приборов становится возможным применять в составе профессиональной астрономической аппаратуры не только приборы, которые предназначены для узкоспециализированного профиля работы, изготавливаемые в единичных экземплярах. В результате серийного производства современных ПЗС камер происходит как существенное удешевление самих изделий, так и значительное улучшение параметров таких приборов, которые теперь можно встраивать в состав светоприемного оборудования больших и средних оптических телескопов. Цель данной работы состояла в определении перспектив применения современных полупрофессиональных ПЗС-камер в наблюдениях на оптических телескопах среднего класса. В статье приводятся результаты исследований ПЗС-камеры для астрономических наблюдений на примере Arogee Asrep CG16M. В качестве такого телескопа был использован 1м оптический телескоп Цейсс-1000 (САО РАН). Основные выводы, которые следуют из проведенного исследования: полупрофессиональные ПЗС-камеры можно ограниченно рекомендовать к использованию для фотометрических наблюдений ярких объектов с короткими экспозициями (десятки секунд). А также однозначно можно рекомендовать данные ПЗС-камеры для работы в составе спектральной аппаратуры на оптических телескопах среднего класса.*

*ПЗС-фотоприемник; оптический телескоп; наблюдательная астрономия.*