



Обработка оптических кристаллов и светодиодов в плазме тлеющего разряда

М. А. Богачев^{1,2}, Д. Д. Васильев^{1,2}, К. М. Моисеев^{1,2},
М. В. Назаренко^{1,3}

¹ ООО «Джизэнтех», Москва, Россия

² МГТУ им. Н. Э. Баумана, Москва, Россия

³ РТУ МИРЭА, Москва, Россия

Обработка в плазме тлеющего разряда все активнее применяется для очистки поверхностей материалов от загрязнений, уменьшения шероховатости поверхности, повышения поверхностной энергии и модификации поверхности. В статье приведены результаты обработки в плазме высокочастотного и низкочастотного газового разряда в установке плазменной обработки MPC RF-12 дисков оптических кристаллов и кассет твердотельных светодиодов. Оценено влияние параметров и режимов плазменной обработки, а именно мощности, времени и типа рабочего газа, на качество обработки. Показано, что плазменная обработка является мощным инструментом влияния на свойства поверхности оптических кристаллов, эффективна для удаления оксидных слоев металлов и безопасна для клеевых соединений кристаллов с основанием.

Ключевые слова: низкотемпературная импульсная плазма, оптические кристаллы, твердотельные светодиоды, плазменная обработка поверхности, очистка оптических элементов

Статья получена: 19.01.2023

Статья принята: 03.02.2023

ВВЕДЕНИЕ

Спектр материалов и устройств на их основе, используемых в применениях фотоники, крайне разнообразен. Технологический процесс их использования, как правило, включает операцию плазменной обработки, выполняемую с различными целями: очистка поверхности от органических загрязнений, актива-

Processing of Optical Crystals and LEDs in Glow Discharge Plasma

M. A. Bogachev^{1,2}, D. D. Vasiliev^{1,2}, K. M. Moiseev^{1,2},
M. V. Nazarenko^{1,3}

¹ GNtech LLC, Moscow, Russia

² Bauman Moscow State Technical University, Moscow, Russia

³ Russian Technological University MIREA (RTU-MIREA), Moscow, Russia

Glow discharge plasma treatment is increasingly being used to clean the surfaces of materials from contamination, reduce surface roughness, increase surface energy and surface modification. The article presents the results of plasma processing of high-frequency and low-frequency gas discharge in the MPC RF-12 plasma processing unit of optical crystal disks and cassettes of solid-state LEDs. The influence of parameters and modes of plasma treatment, namely power, time and type of working gas on the quality of treatment is estimated. It is shown that plasma treatment is a powerful tool for influencing the surface properties of optical crystals, is effective for removing metal oxide layers and is safe for adhesive joints of crystals with a base.

Key words: low-temperature pulsed plasma, optical crystals, solid-state LEDs, plasma surface treatment, cleaning of optical elements

The article received: January 19, 2023

The article accepted: February 03, 2023

INTRODUCTION

The range of materials used in photonics products is extremely diverse. The technological process of creating photonic products usually includes a plasma processing operation, the purposes of which differ: this includes cleaning the surface from organic contaminants, activating the surface for subsequent application of thin-film optical coatings, modifying the surface structure, reducing roughness (ion polishing), and hydrophilization and hydrophobization. It is possible



ция поверхности для последующего нанесения тонкопленочных оптических покрытий, модификация структуры поверхности, снижение шероховатости (ионная полировка), придание гидрофильных или гидрофобных свойств. Можно выделить такие крупные направления, как лазерная техника [1], тесно связанная с ней интегральная [2-4] и волоконная оптика [5, 6], поликристаллические оптические материалы [7] и др.

Отдельный интерес представляет плазменная обработка оптических кристаллов [8, 9] и твердотельных светодиодов [10, 11].

В статье приведены результаты влияния обработки в плазме тлеющего разряда на свойства оптических кристаллов $ZnGeP_2$ и кассет с чипами твердотельных светодиодов.

ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ ПЛАЗМЕННОЙ ОБРАБОТКИ ПОВЕРХНОСТЕЙ

Исследования производились в установках плазменной обработки MPC (рис. 1) производства российской компании GNtech (ООО «Джиэнтех, резидент инновационного центра «Сколково») [12]. Установки являются отечественной разработкой, выпускаются серийно и по своим характеристикам и функционалу полностью соответствуют зарубежным аналогам.

Для обработки оптических кристаллов $ZnGeP_2$ используется обработка в плазме высокочастотного (ВЧ) разряда в установке MPC RF-12. Это связано с тем, что материал является диэлектриком, и в таком ВЧ переменном поле с частотой 13,56 МГц электроны обеспечивают эффективную нейтрализацию положительного заряда, возникающего на поверхности подложек при их взаимодействии с положительно заряженными ионами рабочего газа.

Для обработки кассет с чипами светодиодов используется установка MPC LF-12 с низкочастотной плазмой 40 кГц, поскольку основным элементом, требующим обработки, являются металлические рамки светодиодов, которые необходимо очищать как от возможных органических загрязнений, так и от образующихся оксидов, которые ухудшают оптические свойства (коэффициент отражения).

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Образцы оптических кристаллов $ZnGeP_2$ – диски диаметром 30 мм и толщиной 2 мм. Целью обработки является исследование влияния параметров обработки поверхности оптического кристалла на величину порога лазерного разрушения (ПЛР). Для определения ПЛР кристаллов используется стандартная методика «S-on-1», описанная в международном стан-

to distinguish such large market niches of industrial products, the manufacture of which involves plasma processing operations, as laser technology [1], closely related integral [2-4] and fiber optics [5, 6], polycrystalline optical materials [7] and many others. Plasma processing of optical crystals [8, 9] and solid-state LEDs [10, 11] is of particular interest.

The article presents the results of the effect of glow discharge plasma processing on the properties of $ZnGeP_2$ optical crystals and cassettes with solid-state LED chips.

EQUIPMENT FOR PLASMA SURFACE TREATMENT

The experiments were carried out in MPC plasma processing units (Fig. 1) manufactured by the Russian company GNtech (GNtech LLC, resident of the Skolkovo Innovation Center) [12]. The units are a domestic development, they are mass-produced and in their characteristics and functionality fully correspond to foreign analogues.

For processing $ZnGeP_2$ optical crystals, plasma processing of a radio-frequency (RF) discharge in the MPC RF-12 unit is used. This is due to the fact that the material is a dielectric, and in such an RF-alternating field with a frequency of 13.56 MHz, the electrons provide effective neutralization of the positive charge that occurs on the surface of the substrates when they interact with positively charged ions of the working gas.

For the processing of metal materials, an MPC LF-12 installation with a low-frequency plasma of 40 kHz is used. For example, it is used to process cassettes with LED chips. The reason is that the main element of the product that requires cleaning is the metal frames of the LEDs. They need to be cleaned both from possible organic contaminants and from the resulting oxides, which degrade the optical properties (reflection coefficient) of the final LED product.

RESEARCH RESULTS AND THEIR DISCUSSION

Samples of $ZnGeP_2$ optical crystals are disks with a diameter of 30 mm and a thickness of 2 mm.

The purpose of the treatment is to study the effect of the technological parameters of RF plasma treatment of the surface of an optical crystal on the efficiency of removing residual products of crystal polishing (organic contaminants), which in turn affects the value of the laser destruction threshold (LDT). LDT is directly related to the amount of contamination of the crystal surface [9], therefore, its value may also be used to judge the quality of plasma treatment. The standard “S-on-1” technique is used to determine the LDT of crystals (see international

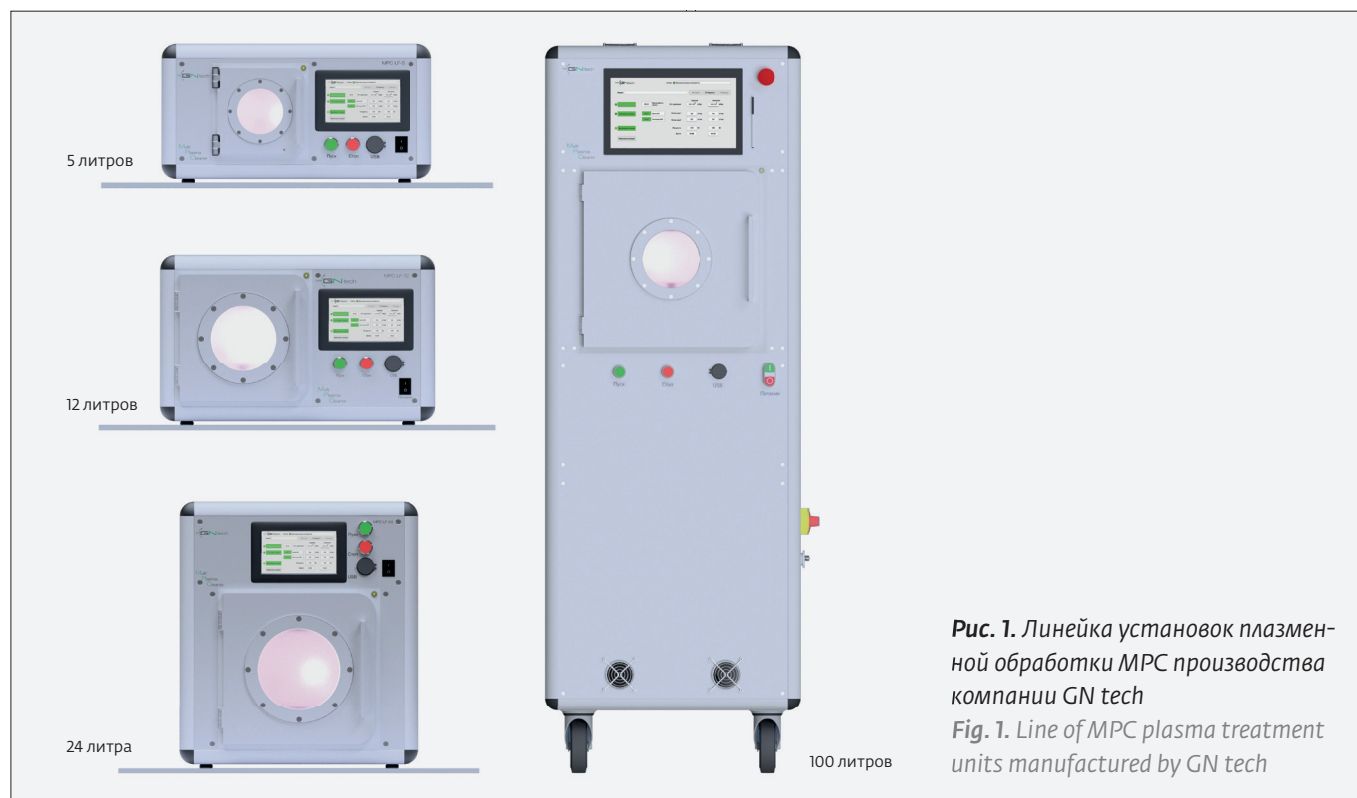


Рис. 1. Линейка установок плазменной обработки MPC производства компании GN tech

Fig. 1. Line of MPC plasma treatment units manufactured by GN tech

дарте ISO 11254-2, которая позволяет учесть вероятностный характер оптического пробоя. Параметры обработки приведены в таблице. Как показали изменения, на качество обработки более сильное влияние оказывает мощность, вкладываемая в разряд.

Целью плазменной обработки кассет со светодиодными кристаллами является удаление оксидов с металлических рамок (медь с серебряным покрытием) для восстановления отражающей способности серебра, а также проверка влияния плазменной обработки прочность клеевого соединения кристалла и основания.

Обработка проводится в плазме низкочастотного (40 кГц) тлеющего разряда при мощностях 50, 100 и 200 Вт. Время обработки составляет 3 минуты. Рабочий газ – аргон. Изображения образцов до и после обработки приведены на рис. 2.

Наблюдается визуальное изменение цвета – с желтоватого (оксид) до серебристого. При этом различия между образцами, обработанными при различной мощности, не замечено. Прочность клеевого соединения не нарушена.

Для дополнительной оценки влияния плазменной обработки прочности клеевого соединения проведена обработка при мощности 200 Вт в течение 10 минут. Прочность клеевого соединения не нарушена. Визуально образец выглядит так же, как и образцы, обработанные при меньшем времени.

standard ISO 11254-2), according to which the probabilistic nature of the optical breakdown is estimated.

RF plasma treatment is carried out in the medium power range (50 W and 100 W) provided by the MPC RF-12 plasma treatment unit, mainly in an oxygen environment. To assess the effect of the gas type, one of the experiments was carried out in an argon medium. The parameters of the RF plasma treatment and the results of the LDT measurement are given in the table.

As measurements have shown, the LDT has a higher value in a crystal processed at a higher power of 100 W in an oxygen medium. An increase in processing time from 1 to 5 minutes, but at a lower power of 50 W does not show an increase in LDT.

The purpose of plasma treatment of cassettes with LED crystals is to remove oxides from metal frames (copper with silver coating) to restore the reflectivity of silver, as well as to check the effect of plasma treatment on the strength of the adhesive connection of the crystal and the base.

The treatment is carried out in a low-frequency (40 kHz) glow discharge plasma at capacities of 50, 100 and 200 W. The processing time is 3 minutes. The working gas is argon. Images of samples before and after processing are shown in the Fig. below.

There is a visual change in color – from yellowish (oxide) to silver. At the same time, there was no visual difference in the quality of surface treatment (i. e., a more noticeable



Таблица. Параметры процесса и результаты обработки
Table. Parameters of the RF plasma treatment and the results

№ образца Sample No.	Сторона диска кристалла Side of the crystal disk	Мощность ВЧ, Вт RF discharge power, W	Рабочий газ Working gas	Время, мин Time, min	ПЛР, Дж/см ² LDT, J/cm ²
1	Сторона 1	50	O ₂	1	0,5
	Сторона 2	50	O ₂	2	
2	Сторона 1	50	O ₂	5	0,5
	Сторона 2	50	Ar	1	
3	Сторона 1	100	O ₂	1	0,6
	Сторона 2	100	O ₂	3	

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проведенные эксперименты по влиянию параметров плазменной обработки показывают, что в случае с оптическими кристаллами она является эффективным инструментом влияния на свойства поверхности. Однако поиск оптимальных параметров (мощность, длительность обработки и состав газовой среды) необходимо подбирать экспериментальным путем, для чего требуется использовать оборудование, например установки плазменной обработки компании GN tech серии MPC, позволяющее варьировать максимальное количество параметров обработки и сохранять в виде рецептов наиболее подходящие для их последующего воспроизведения при серийном производстве.

Для обработки более стойких к воздействию плазмы материалов, таких как металлические рамки твердотельных светодиодов, возможно использовать обработку в довольно широком диапазоне мощностей. Дополнительным преимуществом плазменной обработки также является сохранение прочности клеевых соединений, присутствующих в изделиях подобного типа.

color change) between samples processed at different capacities. The strength of the adhesive connection is not affected.

For an additional assessment of the effect of plasma treatment on the strength of the adhesive connection, RF discharge plasma treatment was carried out at a power of 200 W and a duration of 10 minutes. It is confirmed that the strength of the adhesive connection is not affected and is preserved. Visually, the sample looks the same as samples processed over a shorter period of time.

CONCLUSION

Analysis of the results of the experiments conducted to study the effect of plasma processing parameters showed that the plasma formed in the unit is an effective tool for influencing the physical and mechanical properties of the surface of optical crystals. The selection of suitable process parameters (RF discharge power, processing time and composition of the gas medium) needs be carried out experimentally, which requires the use of equipment, for example, plasma processing units of GN tech MPC series. These installations make it possible to vary the values of the maximum number of operating parameters

ПОСТАВЩИК КЕРАМИЧЕСКИХ ИЗДЕЛИЙ ДЛЯ МИКРОЭЛЕКТРОНИКИ И ДРУГИХ ВИДОВ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

СПЕЦИАЛИЗИРУЕМСЯ НА ИЗДЕЛИЯХ ИЗ ТЕХНИЧЕСКОЙ КЕРАМИКИ:

Объемная керамика

Металлизованные платы

Керамические подложки

Пьезоэлектрические элементы и кристаллы

Разработка решений

ОБЕСПЕЧИВАЕМ:

- оперативный запуск в производство
- оптимальное соотношение цена-качество
- соответствие продукции ГОСТ и ТУ

- соблюдение сроков
- индивидуальная разработка проектов любой сложности
- гарантии качества поставляемой продукции

ООО «Джиэнаксель»
 +7 (499) 755-68-94
 sales@gnaxel.ru
gnelectronics.ru

REFERENCES

1. Kovsh I. B. Photonics in Russia: State & Challenges. Part I. *Photonics Russia*. 2019;13(2):130–141. DOI: 10.22184/1993-7296.FRos.2019.13.2.130.141.
2. Segev M., Bandres M. A. Topological photonics: Where do we go from here? *Nanophotonics*. 2021;10(1):425–434. DOI:10.1515/nanoph-2020-0441.
3. Wu Y., Li C., Hu X., Ao Y., Zhao Y., Gong Q. Applications of topological photonics in integrated photonic devices. *Advanced Optical Materials*. 2017;5(18): 1700357. DOI:10.1002/adom.201700357.
4. Pelucchi E., Fagas G., Aharonovich I., Englund, D, Figueroa E., Gong Q. et al. The potential and global outlook of integrated photonics for quantum technologies. *Nature Reviews Physics*. 2022;4(3):194–208. DOI:10.1038/s42254-021-00398-z.
5. Singh M., Weidner K. Types and performance of high performing multi-mode polymer waveguides for optical interconnects/ In book: *Optical Interconnects for Data Centers*. Woodhead Publishing Series in Electronic and Optical Materials. 2017;157–170. DOI:10.1016/B978-0-08-100512-5.00006-1.
6. Kachura S. M., Postnov V. I. Perspektivnye optovolokonnnye datchiki i ih primeneniye (obzor). *Trudy VIAM*. 2019; 5 (77). (In Russ.).
Качура С. М., Постнов В. И. Перспективные оптоволоконные датчики и их применение (обзор). *Труды ВИАМ*. 2019; 5 (77).
7. Miftahov I. S., Voznesenskij E. F., Abdullin I. Sh., Fadeev A. O., Gataullin L. Primeneniye plazmy VCh-razryada ponizhennogo davleniya v processah polirovki opticheskikh materialov polikristallicheskogo stroeniya. *Vestnik Kazanskogo tekhnologicheskogo universiteta*. 2015; 11. (In Russ.).
Мифтахов И. С., Вознесенский Э. Ф., Абдуллин И. Ш., Фадеев А. О., Гатауллин Л. Применение плазмы ВЧ-разряда пониженного давления в процессах полировки оптических материалов поликристаллического строения. *Вестник Казанского технологического университета*. 2015;11.
8. Gribenyukov A. I., Voevodin V. I. Influence of the preparation conditions on optical properties of single crystals ZnGeP2 in THz range // *J. Phys. Conf. Ser.* – 2018. – № 1115. – P. 052030.
9. Gerhard C., Stappenbeck M. Impact of the Polishing Suspension Concentration on Laser Damage of Classically Manufactured and Plasma Post-Processed Zinc Crown Glass Surfaces. *Appl. Sci*. 2018, 8, 1556. <https://doi.org/10.3390/app8091556>.
10. Vasiliev A. Osobennosti tekhnologii proizvodstva svetodiodnykh svetil'nikov. *Sovremennaya svetotekhnika*. 2010;5. (In Russ.).
Васильев А. Особенности технологии производства светодиодных светильников. *Современная светотехника*. 2010;5.
11. Belyaev V. Tverdotel'nye i organicheskie mikrosvetodiody – tekhnologiya, rynek, perspektivy. *Elektronika: Nauka, tekhnologiya, biznes*. 2018; 8. DOI: 10.22184/1992-4178.2018.179.8.102.112. (In Russ.).
Беляев В. Твердотельные и органические микросветодиоды – технология, рынок, перспективы. *Электроника: Наука, технология, бизнес*. 2018; 8. DOI: 10.22184/1992-4178.2018.179.8.102.112.
12. Moiseev K. M., Vasiliev D. D., Mikhailova I. V., Vorobev I. A. Development of Plasma Processing Systems for Optics and Electronics Products. *Photonics Russia*. 2022;16(2):136–141. DOI: 10.22184/1993-7296.FRos.2022.16.2.136.140.

АВТОРЫ

- Богачев Максим Андреевич, магистр 1 года кафедры «Электронные технологии в машиностроении» МГТУ им. Н.Э. Баумана; инженер-конструктор ООО «Джиэнтех», Москва, Россия.
ORCID 0000-0001-6580-0103
- Васильев Денис Дмитриевич, к. т. н., доцент кафедры «Электронные технологии в машиностроении» МГТУ им. Н.Э. Баумана; ведущий инженер ООО «Джиэнтех», Москва, Россия.
ORCID 0000-0003-2147-4216
- Назаренко Мария Владимировна, аспирант кафедры нанoeлектроники (ИПТИП) РТУ-МИРЭА, инженер-технолог ООО «Джиэнтех» info@gnaxel.ru, Москва, Россия.
ORCID 0000-0003-1707-8587
- Моисеев Константин Михайлович, к. т. н., доцент кафедры «Электронные технологии в машиностроении» МГТУ им. Н.Э. Баумана; технический директор ООО «Джиэнтех», info@gnaxel.ru, Москва, Россия.
ORCID 0000-0002-8753-7737

ВКЛАД ЧЛЕНОВ АВТОРСКОГО КОЛЛЕКТИВА

Статья подготовлена на основе работы всех членов авторского коллектива.

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов. Все авторы приняли участие в написании рукописи в части вклада каждого из них в работу и согласны с полным текстом рукописи



Рис. 2. Рамки металлических светодиодов: а) до плазменной обработки; б) после плазменной обработки
Fig. 2. Frames of metal LEDs: a) before plasma treatment; b) after plasma treatment

when choosing optimal plasma treatment conditions and save these data as recipes corresponding to the high reproducibility of the characteristics of the products being created during mass production.

For processing more plasma-resistant materials, such as metal frames of solid-state LEDs, the MPC LF-12 installation provides a choice of process conditions in a fairly wide power range from 50 to 200 W. An additional advantage of plasma treatment is also the preservation of the strength of adhesive joints present in products of this type.

AUTHORS

- Bogachev Maksim A., 1st year master's student of the Department of Electronic Technologies in Mechanical Engineering, Bauman Moscow State Technical University (BMSTU); Engineer of GN tech LLC, Moscow, Russia.
ORCID 0000-0001-6580-0103
- Vasiliev Denis D., Cand. of Scien. (Engineering), Associate Professor of the Department of Electronic Technologies in Mechanical Engineering, Bauman Moscow State Technical University (BMSTU); Lead Engineer of GN tech LLC, Moscow, Russia.
ORCID 0000-0003-2147-4216
- Nazarenko Maria V., PhD student, Department of Nanoelectronics, Institute of Advanced Technologies and Industrial Programming (IPTIP), Russian Technological University MIREA (RTU-MIREA), Process Engineer of GN tech LLC, Moscow, Russia.
ORCID 0000-0003-1707-8587
- Moiseev Konstantin M., Cand. of Scien. (Engineering), Associate Professor of the Department of Electronic Technologies in Mechanical Engineering, Bauman Moscow State Technical University (BMSTU); technical director of GN tech LLC, Moscow, Russia.
ORCID 0000-0002-8753-7737

CONTRIBUTION OF THE AUTHORS

The article was prepared on the basis of the work of all members of the team of contributors.

CONFLICT OF INTEREST

The authors herewith declare that there is no conflict of interest. All authors participated in the writing of the manuscript in terms of the contribution of each of them to the work and agree with the full text of the manuscript.

rosmould & 3D-TECH

rosmould.ru

Международная выставка
пресс-форм и штампов,
оборудования
и технологий для
производства изделий

6–8 июня 2023

МВЦ «Крокус Экспо», Москва

3D-TECH

Специализированная
экспозиция аддитивных
технологий и 3D-печати



Промокод для получения
бесплатного билета

RM23-HV4RV

 GEFERA MEDIA