

При увеличении длины устойчивого резонатора до 450 мм расходимость снижается до 1,2 мрад для частоты следования импульсов 5 Гц, энергия импульса составляет 79 мДж. Изображения излучения в дальней и ближней зонах приведены на рис. 3.

Выходная энергия и расходимость ЗГ-У при частоте следования импульсов 20 Гц составляют соответственно 74 мДж и 1 мрад.

Для расширения диапазона рабочих частот следования импульсов планируется повышение эффективности системы отвода тепла от активного элемента. Для снижения расходимости устойчивого резонатора необходимо увеличить его длину. Использование системы ЗГ-У прием-

лемо в случае, его увеличение габаритов и энергопотребления не критично.

Литература

1. Xie, S. Investigation of 100 mJ all solid state end-pumped 1064 nm Q-switched laser / S. Xie // Proc. SPIE, LIDAR Imaging Detection and Target Recognition. – 2017. – Vol. 106050.
2. Moon, H.-J. Operation Characteristics of Diode-Pumped, Bifocusing Compensated Two-Rod Nd:YAG Lasers with Diffusive Reflectors / H.-J. Moon // Journal of the Korean Physical Society. – 2001. – Vol. 39, № 5. – P. 881–885.
3. Morin, M. Graded reflectivity mirror unstable laser resonators / M. Morin // Optical and Quantum Electronics. – 1997. – Vol. 29. – P. 819–866.

УДК 620.183

ИССЛЕДОВАНИЕ СИСТЕМЫ АНАЛИЗА ДЕФЕКТОВ ДРАГОЦЕННЫХ КАМНЕЙ

Палабугин М.В., Усольцев В.П.

*Ижевский государственный технический университет имени М. Т. Калашникова
Ижевск, Российская Федерация*

Аннотация. Произведен обзор: наиболее часто встречающихся дефектов в составе драгоценных камней, классификации методов по обнаружению несовершенств в структуре алмаза. Исследован метод, позволяющий проводить быструю и качественную оценку наличия дефектов в структуре кристалла. Проанализирован опыт, результаты которого подтвердили жизнеспособность предлагаемой идеи.

Ключевые слова: лазерное сканирование, драгоценные камни.

RESEARCH SYSTEM FOR ANALYSIS OF DEFECTS OF PRECIOUS STONES

Palabugin M., Usoltsev V.

*Izhevsk State Technical University named after M. T. Kalashnikov
Izhevsk, Russia*

Abstract. A review is made of: the most common defects in the composition of gemstones, classification of methods for detecting imperfections in the structure of a diamond. A method has been investigated that makes it possible to quickly and qualitatively assess the presence of defects in the crystal structure. The experience is analyzed, the results of which have confirmed the viability of the proposed idea.

Key words: laser scanning device, precious stones.

*Адрес для переписки: Палабугин М.В., ул. Школьная 47А, г. Ижевск, Россия
e-mail: mr.kadochnikov777@mail.ru*

Введение. Каждый год злоумышленники изготавливают все более качественные подделки, которые с трудом могут выявить даже профессиональные ювелиры. Именно поэтому крайне важно создать установку, которая позволит безошибочно определить подлинность того или иного драгоценного камня [1].

Данный метод основан на запечатлении теневой картины, которая возникает при просвете драгоценного камня лазерным излучением. Известно, что каждый драгоценный камень уникален, нет другого, который бы был в точности на него похож. Подобное возникает из-за распределения внутри кристалла драгоценного камня определенных микро и макродефектов. Их сочетание, как раз-таки и дает уникальное распределение темных пятен разной формы и размеров на теневой картине. Эти данные впоследствии заносятся в паспорт изделия и по требованию пред-

являются, чтобы те или иные лица могли удостовериться в его подлинности [1].

Дефектный состав кристаллов алмаза. Под микродефектами понимаются такие дефекты, размеры которых сопоставимы с межатомными расстояниями. К ним относятся всевозможные точечные дефекты кристаллической решетки бриллианта, чьи размеры соизмеримы с межатомными расстояниями. Основные дефекты данного типа вызваны: примесными атомами внедрения (в основном это атомы углерода, азота, бора); изменением периодичности расположения атомов кристаллической решетки (в результате чего изменяются длины атомных связей в кристаллической решетке); вакансиями; примесными атомами замещения (обычно это водород и кремний). Дефекты в кристалле алмаза способны оказывать существенное влияние на

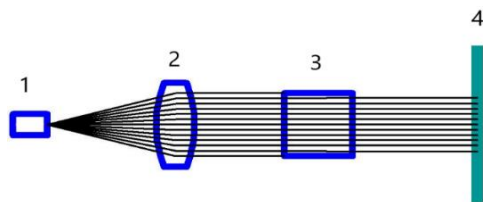
его физические и оптические свойства делая каждый камень уникальным [2].

Макродефекты – это те дефекты, которые возникают в алмазе на уровне кристаллической решетки, а также в результате внешних факторов при формировании или уже в сформированном виде (удары о породу при выходе на поверхность, сколы и трещины, возникшие при добычке и обработке). В основном, такие дефекты видны невооруженным глазом. Одними из таких дефектов являются дислокационные дефекты роста, двойникование, аномальное двупреломление, пластинчатые сегрегации [3].

Описание методики. Метод, предлагаемый в данной работе, является крайне простым, доступным и интуитивно понятным на фоне всех остальных. Его точность зависит от длины волны лазерного излучения, чем она меньше, тем выше точность.

Разработанная лазерная установка позволит производить сканирование каждого отдельного алмаза. Полученные данные будут заноситься в цифровой паспорт изделия, что позволит опознать тот или иной камень. На основании полученного анализа можно будет с определенной вероятностью подтвердить подлинности алмаза. Данное решение позволит проводить качественный мобильный и оперативный контроль за оборотом драгоценных камней. Для сканирования алмаза был выбран источник лазерного излучения высокой монохроматичности на длине волны 405 нм. На данной длине волны алмаз прозрачен, что позволяет проводить эффективные исследования его структуры с высокой точностью [4].

В состав оптической системы входит: источник лазерного излучения – 1; уширяющая пучок оптика – 2, которая уширяет пучок до размеров, сопоставимых с размерами исследуемого объекта – 3; ячеистый экран – 4, на который проецируется полученное теневое распределение дефектов 4. Функциональная схема оптической системы показана на рис. 1.



1 – лазер, 2 – оптическая система по расширению лазерного пучка, 3 – исследуемый объект, 4 – ячеистый экран

Рисунок 1 – Функциональная схема оптической системы

Описание проведенного эксперимента. Для подтверждения работоспособности установки, был проведен опыт по исследованию неоднород-

ностей структуры светоделительной призмы с соответствующими оптическими характеристиками. Источником когерентного излучения служил лазер с длиной волны 405 нм. В результате эксперимента были обнаружены дефекты в данном объекте.

Полученные теневые картины исследуемого объекта показаны на рис. 2 и 3.

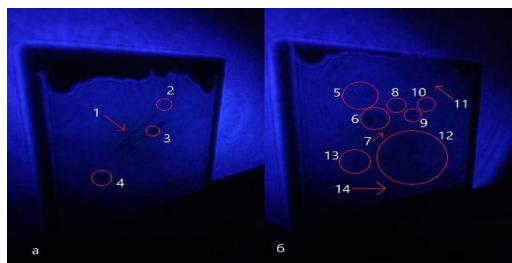


Рисунок 2 – Теневые карты граней 1 и 2 исследуемого объекта при использовании лазера с длиной волны 405 нм

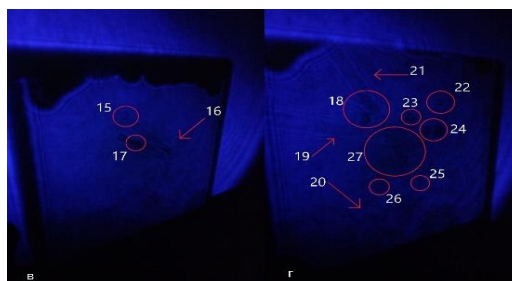


Рисунок 3 – Теневые карты граней 3 и 4 исследуемого объекта при использовании лазера с длиной волны 405 нм

Выводы. Данные, полученные при исследованиях, свидетельствуют о работоспособности рассмотренной лазерной установки для дефектоскопии драгоценных камней. Благодаря ей можно исследовать кристалл алмаза на наличие дефектов и создать их карту, а позже, по полученным сведениям, сформировать паспорт конкретного изделия.

Чтобы повысить эффективность идентификации драгоценных камней создана информационная база результатов исследования дефектов алмазов. Для удобства и быстроты поиска определенных дефектов, была предложена иерархическая структура классификации дефектов, в которой были учтены всевозможные формы и размеры встречающихся в кристаллах алмаза дефектов, а также их расположение. Если при сканировании отдельно взятого алмаза, полученная теневая картина совпадет с той, что уже находится в базе данных, то с определенной долей вероятности можно будет утверждать об идентичности.

Литература

1. Палабугин, М. В. Методы дефектоскопии кристаллов драгоценных камней / М. В. Палабугин, В. П. Усольцев // Актуальные вопросы и перспективы

развития науки, техники и технологии, 27 марта 2020 г. / ЧУДПО «НИОЦ» ; под общ. ред. Е. А. Назарова. – Казань: ЧУДПО «НИОЦ», 2020. – С. 64–69.

2. Орлов, Ю. Л. Минералогия алмаза. – Изд. 2-е. – Москва : Академия наук СССР Минералогический музей им. А. Е. Ферсмана, 1984. – 170 с.

3. Lawrence S. Pan, Don R. Cania. Diamond: Electronic Properties and Applications. Kluwer Ac. Pub., 1994. – P. 176–192.

4. Новикова, Н. В. Свойства алмаза / Н. В. Новикова. – Киев : Наукова думка, 1987. – 120 с.

УДК 535.421

ФАЗОВАЯ СТРУКТУРА ФОТОННЫХ НАНОСТРУЙ В ДИФРАКЦИОННЫХ ВОЛНОВЫХ ПОЛЯХ ИЗОЛИРОВАННЫХ ДИЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ЧАСТИЦ

Полецук Н.Н., Рудницкий А.С.

*Белорусский государственный университет
Минск, Республика Беларусь*

Аннотация. Получены численные решения строго поставленной двумерной задачи дифракции волнового поля на диэлектрическом стержне квадратного сечения. На их основе сформулированы условия образования фотонных наноструй в ближней зоне дифракционного волнового поля. Исследованы зависимости амплитудных и фазовых характеристик фотонных наноструй от структуры экспонирующего поля.

Ключевые слова: дифракция, фотонная наноструя, диэлектрическая частица, суперпозиция плоских волн, интерференционный параметр.

PHASE STRUCTURE OF PHOTONIC NANOJETTS IN DIFFRACTION WAVE FIELDS OF ISOLATED DIELECTRIC PARTICLES

Poleschuk N., Rudnitsky A.

*Belarusian State University
Minsk, Belarus*

Abstract. Rigorous two-dimensional numerical solutions are obtained for the fields of wave diffraction by an infinite dielectric rod of square cross section. These solutions provide the opportunity to formulate the conditions for the photonic nanojets generation in the near zone of diffraction field. Amplitude and phase characteristics of photonic nanojets are investigated in dependence of the exposing field structure.

Key words: diffraction, photonic nanojet, dielectric particle, plane waves superposition, interference parameter.

*Адрес для переписки: Полецук Н.Н., ФРФУКТ, пр. Независимости, 4, Минск, 220030, Республика Беларусь
e-mail: polestchuk@bsu.by*

На эффект формирования фотонных наноструй (ФНС) впервые было обращено внимание в работе [1] при изучении пространственной структуры ближнего поля рассеяния светового пучка на прозрачном кварцевом цилиндре микронных размеров. Спецификой ФНС является достаточно высокая пространственная локализация волнового поля в поперечном к направлению распространения падающего излучения сечении, что приводит к субволновым размерам фотонного потока. Это свойство ФНС и представляет интерес для практического применения их в нанопотонике, биологии, медицине, нанoeлектронике, системах хранения данных и в других областях науки и техники. Сообщается о возможности создания сенсоров высокого пространственного разрешения (нанометровый масштаб) [2], оптического скальпеля для прецизионной хирургии, оптического пинцета для манипулирования нанообъектами; возможна разработка устройств хранения данных с ультравысокой плотностью записи информации и технологии

безмасочного (прямого) нанесения нанощаблонов на поверхность фотосенсоров [3].

Большинство известных теоретических результатов исследования ФНС относятся к цилиндрическим и сферическим частицам и получены на основе соответствующих аналитических решений дифракционных задач. В работе [4] на их основе показано, что, варьируя оптический контраст оболочек сферической частицы, можно управлять параметрами ФНС. При исследовании фотонных наноструй на частицах более сложной формы используются численные методы [5]. В работе [6] показано, что при экспонировании диэлектрической частицы суперпозицией плоских волн наблюдается эффект формирования нескольких фотонных наноструй.

В данной работе исследуется зависимость прежде всего фазовых параметров ФНС от структуры падающего волнового поля на примере двумерной задачи дифракции суперпозиции двух плоских волн на диэлектрическом стержне квадратного сечения. Размеры сечения в длинах