

10. Baranovskaya, S. N. Directional Derivative Problem for the Telegraph Equation with a Dirac Potential / S. N. Baranovskaya, E. N. Novikov, N. I. Yurchuk // Differential Equations. – 2018. – V. 54, № 9. – P. 1147–1155.

11. Baranovskaya, S. N. Mixed problem for the string vibration equation with a time-dependent oblique derivative in the boundary condition / S. N. Baranovskaya, N. I. Yurchuk // Differential Equations. – 2009. – V. 45, № 8. – P. 1212–1215.

УДК 681.723.2

## ЛАЗЕРНЫЙ МИКРОСКОП ДЛЯ ВИДЕОРЕГИСТРАЦИИ СТРУКТУРЫ BLU-RAY ДИСКА

Агашков А. В.

ГНУ «Институт физики НАН Беларуси»  
Минск, Республика Беларусь

**Аннотация.** Представлен микроскоп с лазерной системой освещения, обеспечивающий качественную видеорегистрацию структуры Blu-ray диска при его поперечных перемещениях. Видеорегистрация производилась на длинах волн излучения 405, 532 и 632,8 нм без удаления защитного слоя. Для формирования изображения использован стандартный объектив ЛОМО МИ 90х/1,25, иммерсионная жидкость – дистиллированная вода. Параметры оптической системы позволяют получать изображение с высоким поперечным разрешением без повреждения диска.

**Ключевые слова:** микроскопия, косое освещение, видеорегистрация структуры, Blu-ray диск с фильмом.

## LASER MICROSCOPE FOR VIDEO REGISTRATION OF BLU-RAY DISC STRUCTURE

Agashkov A.

Institute of Physics of the NAS of Belarus  
Minsk, Republic of Belarus

**Abstract.** We present a microscope with a laser illumination system, it provides qualitative video recording of the Blu-ray disc structure during its transverse movements. Video recording was performed at wavelengths of 405, 532 and 632.8 nm without removing the protective layer. A standard LOMO MI 90x/1.25 lens was used to form the image, and the immersion liquid was distilled water. The parameters of the optical system make it possible to obtain an image with high transverse resolution without damaging the disc.

**Key words:** microscopy, oblique illumination, video recording of structure, Blu-ray movie disc.

Адрес для переписки: Агашков А. В., пр. Независимости, 68-2, г. Минск 220072, Республика Беларусь  
e-mail: a.agashkov@ifanbel.bas-net.by

**Введение.** Оптические микроскопы дальнего поля являются очень эффективными устройствами для получения изображения структуры объектов с поперечным разрешением порядка 200 нм. Основным ограничением оптической микроскопии является предельное разрешение, в соответствии с теорией Аббе определяемое выражением

$$r = \lambda_0 / 2n \sin \theta = \lambda_0 / 2NA, \quad (1)$$

где  $\lambda_0$  – длина волны света в вакууме;  $n$  – показатель преломления среды между объектом и объективом;  $\theta$  – половинный угол наиболее наклонных лучей, попадающих в объектив;  $NA$  – числовая апертура объектива. При более детальном рассмотрении необходимо также учитывать состояние поляризации и степень когерентности световой волны, а также параметры конденсора [1].

Для улучшения пространственного разрешения микроскопов был предложен метод, в соответствии с которым вплотную к исследуемой поверхности размещались микролинзы [2]. Исследования в данном направлении продолжают по настоящее время. В большинстве случаев в качестве тестовых объектов используются Blu-ray диски (BD) с периодом 320 нм. К недостаткам микроскопов с микролинзами можно отнести

необходимость предварительного удаления защитного слоя BD толщиной 100 мкм, ограничение области исследуемой поверхности размерами микролинз, малая информативность – на полученных изображениях видны только треки без записанных данных. Использование микроволокон [3] позволило увеличить только размер исследуемой области в одном направлении.

Применение дополнительной твердой иммерсионной линзы, контактирующей с поверхностью защитного слоя, увеличило числовую апертуру объектива микроскопа до значения  $NA = 1,4$  для длины волны света 405 нм. В режиме критического освещения это позволило зарегистрировать пикеты данных [4]. Недостатками данной системы является отсутствие мобильности в выборе регистрируемой области поверхности диска и возможное повреждение его защитного слоя.

В работе [5] представлен проекционный микроскоп с лазерной системой освещения, характеризующийся высокой яркостью и контрастностью изображения субмикронных объектов.

**Цель** данной работы – экспериментальное подтверждение перспективности использования модификации данного микроскопа по методу косого освещения для мобильной регистрации структуры BD.

**Экспериментальная установка.** В качестве тестового объекта выбран Blu-ray диск с фильмом (BD-R). Для формирования изображения на фотоматрице цифровой камеры Nikon D5300 использован стандартный объектив ЛОМО МИ 90х/1,25, иммерсионная жидкость – дистиллированная вода. Как было установлено ранее [5], применение окуляра микроскопа и/или объектива фотокамеры нецелесообразно, вследствие сильного проявления эффекта колец Ньютона. Для коррекции масштаба изображения использованы линзы с фокусным расстоянием  $f = -0,33, 0,5, 0,75$  и  $1$  м. Отрицательные линзы увеличивают, а положительные линзы уменьшают масштаб изображения. Система освещения основана на вращающемся микролинзовом растре, гексагональная упаковка, диаметр микролинз  $100 \mu\text{m}$ , относительное отверстие раstra  $1 : 5,6$ . В качестве источника освещения использованы лазеры с длинами волн излучения  $405, 532$  и  $632,8$  нм.

**Основные результаты.** На рисунке 1 представлены кадры видеозаписи с лазером на длине волны излучения  $405$  (а) и  $632,8$  нм (б).

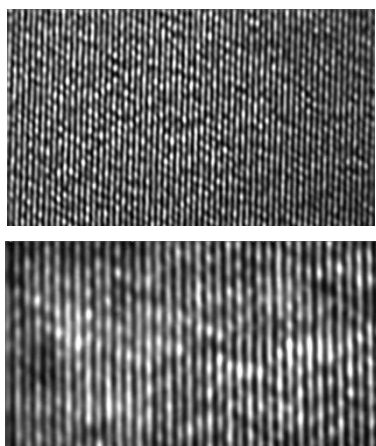


Рисунок 1 – Область данных Blu-ray диск с фильмом: а – без корректирующей линзы; б – корректирующая линза с  $f = -0,33$  м

Сканирование поверхности BD-R выявило не только различные области с питами данных (рисунок 2), но и область со специфической структурой, не описанной ранее (рисунок 3),  $\lambda = 405$  нм.

Как видно из рисунков 1, 2, при записи данного диска использована технология «low-to-high» (BD-R L2H), формат треков – «On-Groove». AFM-изображение записанных по данной технологии битов информации представлено в работе [6].

Успешная видеозапись реализована при мощностях лазеров на входе оптической системы

$20$  мВт ( $405$  нм),  $1$  мВт ( $532$  нм) и  $4$  мВт ( $632,8$  нм).

Таким образом, представлен микроскоп с лазерной системой освещения, характеризующийся высокой яркостью и контрастностью изображения структуры Blu-ray диска. Предлагаемая оптическая система позволяет производить оперативный контроль различных участков поверхности. Применение дистиллированной воды в качестве дисперсионной жидкости и отсутствие контакта оптических элементов с поверхностью Blu-ray диска обеспечивают высокую защиту от случайных повреждений.

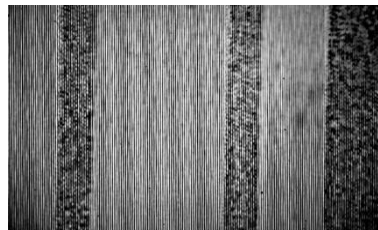


Рисунок 2 – Области с питами данных: корректирующая линза с  $f = 0,5$  м

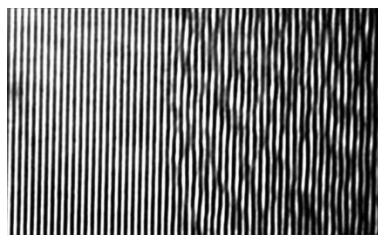


Рисунок 3 – Область с неустановленной структурой: слева – треки без записи, справа – структура

#### Литература

1. Darafsheh, A. Microsphere-assisted microscopy / A. Darafsheh // J. Appl. Phys. – 2022. – V. 131. – P. 1–26.
2. Optical virtual imaging at 50 nm lateral resolution with a white-light nanoscope / Z. Wang [et al.] // Nature Communications. – 2011. – V. 2, 218. – P. 1–6.
3. Nolvi, A. Wide field of view 3D label-free super-resolution imaging / A. Nolvi [et al.] // Proc. SPIE. – 2018. – V. 10539, 1053912. – P. 1–9.
4. Densmore, V. A high-NA solid immersion objective for imaging a Blue-ray disc and investigating subsurface damage / V. Densmore [et al.] // Proc. SPIE. – 2014. – V. 92010Q. – P. 1–6.
5. Агашков, А. В. Лазерный микроскоп с субмикронным разрешением / А. В. Агашков // Неразрушающий контроль и диагностика. – 2015. – № 1. – С. 17–24.
6. Chen, S.-H. Measurement of edge verticality of optical recording bits on blu-ray discs using scanning probe microscopy / S. -H. Chen, W. -S. Lin, W. -C. Wang // Microscopy research and technique. – 2010. – V. 73, №. 1.