

УДК 53.086

doi: 10.17586/2226-1494-2019-19-5-947-950

ВИЗУАЛИЗАЦИЯ СТРУКТУРЫ СЛОЕВ ПЕРЛАМУТРА МЕТОДОМ СПЕКТРАЛЬНОЙ ОПТИЧЕСКОЙ КОГЕРЕНТНОЙ МИКРОСКОПИИ

И.П. Гуров, Е.В. Жукова

Университет ИТМО, Санкт-Петербург, 197101, Российская Федерация
 Адрес для переписки: gurov@ifmo.mail.ru

Информация о статье

Поступила в редакцию 14.06.19, принята к печати 10.07.19
 Язык статьи — русский

Ссылка для цитирования: Гуров И.П., Жукова Е.В. Визуализация структуры слоев перламутра методом спектральной оптической когерентной микроскопии // Научно-технический вестник информационных технологий, механики и оптики. 2019. Т. 19. № 5. С. 947–950. doi: 10.17586/2226-1494-2019-19-5-947-950

Аннотация

Методом спектральной оптической когерентной микроскопии в диапазоне длин волн 1305 ± 75 нм с разрешением 10 мкм по глубине сканирования исследовано строение поверхностных слоев двух образцов перламутра, пластинки из которых служили элементами мозаики в предмете декоративного искусства. На *B*-скане слоя перламутра раковины *Haliotis* наблюдалась структура мезослоев перламутра с толщиной 230 мкм и 360 мкм. Томограмма второго образца перламутра характеризуется большей неравномерностью в распределении слоев по глубине сканирования, сильным рассеиванием зондирующего излучения, микроструктура перламутра визуализируется на глубине до 1,6 мм. Сравнение структуры слоев образцов перламутра с помощью метода оптической когерентной микроскопии позволило выявить их разное биологическое происхождение. Выполнен анализ области крепления элементов мозаики к основе изделия и определена толщина слоя клея в диапазоне от 67 мкм до 120 мкм.

Ключевые слова

оптическая когерентная микроскопия, микроструктура, перламутр, мезослой, моллюск, предмет декоративного искусства

doi: 10.17586/2226-1494-2019-19-5-947-950

VISUALIZATION OF NACRE STRUCTURE LAYERS BY SPECTRAL OPTICAL COHERENCE MICROSCOPY METHOD

I.P. Gurov, E.V. Zhukova

ITMO University, Saint Petersburg, 197101, Russian Federation
 Corresponding author: gurov@ifmo.mail.ru

Article info

Received 14.06.19, accepted 10.07.19
 Article in Russian

For citation: Gurov I.P., Zhukova E.V. Visualization of nacre structure layers by spectral optical coherence microscopy method. *Scientific and Technical Journal of Information Technologies, Mechanics and Optics*, 2019, vol. 19, no. 5, pp. 947–950 (in Russian). doi: 10.17586/2226-1494-2019-19-5-947-950

Abstract

The paper presents the study of surface layer structure of two nacre samples, plates of which served as mosaic elements in a subject of decorative art, by spectral optical coherent microscopy method at the wavelength range 1305 ± 75 nm with 10 μ m scanning depth resolution. The mesolayers structure with thicknesses of 230 and 360 μ m was observed within the *B*-scan of nacre layer for *Haliotis* shell. The tomogram of the second nacre sample is characterized by greater nonuniformity of layers' distribution through the scanning depth, strong scattering of probe radiation, and the microstructure of nacre is visualized in depth up to 1.6 mm. Comparison of the nacre sample layers structure by the optical coherence microscopy method provided for distinguishing their different biological origin. Analysis of the area for mosaic elements clamping to a base of the product is performed and the glue layer thickness is determined in the range from 67 microns to 120 microns.

Keywords

optical coherence microscopy, microstructure, nacre, mesolayer, mollusk, decorative art subject

Метод оптической когерентной микроскопии (ОКМ) успешно используется в изучении микроструктуры различных материалов. Учитывая опыт в изучении биотканей [1, 2], были выполнены исследования строения слоев перламутра. Природная структура перламутра, связанная с встраиванием неорганических кристаллов арагонита в биологическую матрицу ткани раковины моллюска, изучалась другими авторами методами электронной микроскопии, флуоресценции, оптической когерентной томографии [3–7]. Цель данного исследования — изучение структуры слоев образцов перламутра, использованных при изготовлении предмета декоративного искусства. Эксперименты проведены на оптическом когерентном микроскопе. Описание установки приведено в [8]. Регистрация *B*-сканов выполнялась с использованием лазерного источника с перестраиваемой длиной волны (1305 ± 75 нм), разрешение по глубине сканирования составляло 10 мкм.

Объектом исследования послужила ювелирная подвеска, декорированная перламутровой мозаикой. Элементы мозаики размером 5×5 мм изготовлены из двух видов перламутра: образец 1 — перламутр раковины моллюска *Haliotis* и образец 2 — перламутр белого цвета раковины морского происхождения. Регистрация *B*-сканов (томограмм) слоев перламутра для образцов была произведена в двух взаимно ортогональных направлениях h_1 и h_2 по диагонали квадратных элементов. Основа украшения изготовлена из пластинки белого перламутра, к поверхности которой прикреплены элементы мозаики.

На рисунке приведены *B*-сканы перламутрового слоя образцов, стрелками указаны области интереса. На томограмме слоя образца 1 для сечения h_1 (рисунок, *a*) видно, что на поверхности перламутра отсутствует чужеродное покрытие, и перламутр имеет слоистую структуру. Разрешение микроскопа позволяет визуализировать на *B*-сканах слои, которые образованы органическими веществами (темные прожилки). Эти слои могут располагаться вблизи поверхности и выходить на нее, как это видно на участке 1. На участке 2 наблюдается изгиб органического слоя, поэтому возрастает отражение зондирующего излучения на границе слоев и несколько ухудшаются условия для визуализации нижерасположенных областей. На участке 3 виден элемент структуры округлой формы, обусловленный строением раковины. Толщина слоя перламутра на участке 4 оценена в 360 мкм. Этот слой перламутра, ограниченный слоями из органических веществ, называют мезослоем [4], его толщина связана с сезонными изменениями в условиях роста перламутра.

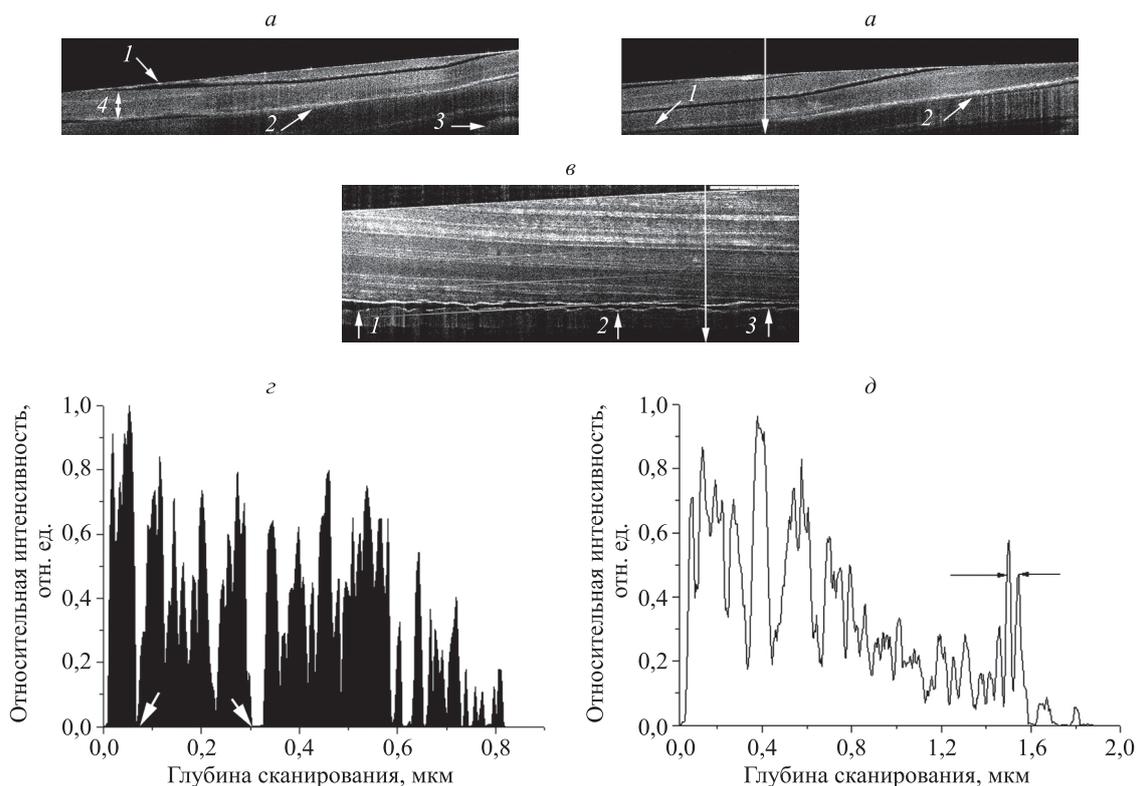


Рисунок. Результаты исследования образцов перламутра: *a*, *б* — томограммы слоя перламутра при сканировании в направлениях h_1 и h_2 соответственно; размеры томограмм $4,8 \text{ мм} \times 1,2 \text{ мм}$; *в* — томограмма слоя перламутра образца 2, размер томограммы $4,8 \text{ мм} \times 2,0 \text{ мм}$; *г* — распределение относительной интенсивности отраженного излучения от внутренних слоев образца 1, показанных на рисунке, *б*; *д* — распределение относительной интенсивности отраженного излучения от внутренних слоев образца 2, показанных на рисунке, *в*

На томограмме слоя образца 1 в направлении сканирования h_2 (рисунок, *б*) также видна слоистая структура перламутра. Сравнение участков 1 и 2 подтверждает влияние формы мезослоев на условия визуализации микроструктуры перламутра. Для сечения, отмеченного стрелкой на томограмме (рисунок, *б*), был

выделен A -скан. Распределение интенсивности отраженного излучения по глубине сканирования в A -скане отнормировано на максимальное значение и представлено в виде графика на рисунке, z . Затемнение площади под графиком позволяет визуализировать области, которые относятся к мезослоям. Органические вещества, образующие слои, прозрачны для зондирующего излучения. На графике стрелками указаны границы одного из слоев. Оценка толщины слоя составила 230 мкм.

Результаты исследования образца 2 представлены томограммой (рисунок, $в$), когда сканирование выполнялось в направлении h_1 . Изображения микроструктуры перламутра во взаимно ортогональных направлениях были сходными и незначительно отличались ориентацией слоев. Сравнение структуры слоев перламутра образцов 1 и 2 подтверждает их разное биологическое происхождение. Видно, что строение слоя перламутра образца 2 имеет значительную и неравномерную по глубине слоистость, слои сильнее рассеивают зондирующее излучение, микроструктура визуализируется почти по всей глубине сканирования.

График интенсивности отраженного излучения по глубине сканирования (рисунок, $д$) в направлении, указанном стрелкой на томограмме образца 2 (рисунок, $в$), представлен после выполнения нормирования и сглаживания функции. Исходный A -скан характеризовался значительным разбросом амплитуды сигнала на глубине до 1 мм, обработка сигнала позволила лучше визуализировать области границ слоев перламутра. Регистрация томограмм для образца 2 не позволила наблюдать отдельно мезослои, что не свидетельствует об их отсутствии. Наблюдаемые результаты связаны с особенностями строения конкретного элемента мозаики и иными условиями формирования раковины моллюска.

Стрелками выделен участок, относящийся к области технологического крепления (рисунок, $в$). На B -скане видны нижняя граница элемента мозаики и поверхность основы изделия. В области склейки поверхности элемента мозаики и основы имеют большую высоту микрорельефа. Толщина слоя клея на указанных стрелками участках 1, 2 и 3 оценена как 120, 72 и 67 мкм соответственно. Слой перламутровой основы под технологическим зазором не визуализируется из-за поглощения излучения в толще клея. Нужно иметь априорную информацию о поглощающих свойствах клея в спектральном диапазоне исследований, это позволит выполнять изучение методом ОКМ мелких вставок и слоистых наборных структур из перламутра, которые могут встречаться в декоративных объектах.

Результаты выполненных исследований могут быть полезны специалистам по изучению микроструктуры биологических тканей и реставраторам для выбора методики анализа состояния предметов декоративно-прикладного искусства.

Литература

1. Гуров И.П., Волинский М.А., Жукова Е.В., Маргарянц Н.Б. Исследование растительных тканей методом оптической когерентной микроскопии // Научно-технический вестник информационных технологий, механики и оптики. 2012. Т. 12. № 5. С. 42–47.
2. Волинский М.А., Гуров И.П., Жукова Е.В., Маргарянц Н.Б., Рысева Е.С. Исследование микроструктуры поверхностных слоев растительной ткани методом оптической когерентной микроскопии // Научно-технический вестник информационных технологий, механики и оптики. 2013. Т. 13. № 2. С. 54–59.
3. Sun J., Bhusha B. Hierarchical structure and mechanical properties of nacre: a review // RSC Advances. 2012. V. 2. N 20. P. 7617–7632. doi: 10.1039/C2RA20218B
4. Meyers M.A., McKittrick J., Chen P.Y. Structural biological materials: Critical mechanics-materials connections // Science. 2013. V. 339. N 6121. P. 773–779. doi: 10.1126/science.1220854
5. Ju M.J., Lee S.J., Min E.J., Kim Y., Kim H.Y., Lee B.H. Evaluating and identifying pearls and their nuclei by using optical coherence tomography // Optics Express. 2010. V. 18. N 13. P. 13468–13477. doi:10.1364/OE.18.013468
6. Ju M.J., Lee S.J., Kim Y., Shin J.G., Kim H.Y., Lim Y., Yasuno Y., Lee B.H. Multimodal analysis of pearls and pearl treatments by using optical coherence tomography and fluorescence spectroscopy // Optics Express. 2011. V. 19. N 7. P. 6420–6432. doi: 10.1364/OE.19.006420
7. Choi S.H., Byun K.M. Naturally occurring order-disorder duality in photonic structures of the *Haliotis fulgens* abalone shell // Optical Materials Express. 2019. V. 9. N 5. P. 2206–2215. doi: 10.1364/OME.9.002206
8. Гуров И.П., Жукова Е.В., Маргарянц Н.Б. Исследование внутренней микроструктуры материалов методом оптической когерентной микроскопии с перестраиваемой длиной волны // Научно-технический вестник информационных технологий, механики и оптики. 2012. Т. 12. № 3. С. 40–45.

References

1. Gurov I.P., Volynsky M.A., Zhukova E.V., Margaryants N.B. Plant tissue study by optical coherence microscopy. *Scientific and Technical Journal of Information Technologies, Mechanics and Optics*, 2012, vol. 12, no. 5, pp. 42–47. (in Russian)
2. Volynsky M.A., Gurov I.P., Zhukova E.V., Margaryants N.B., Ryseva E.S. Study of surface layers microstructure for plant tissue by optical coherence microscopy. *Scientific and Technical Journal of Information Technologies, Mechanics and Optics*, 2013, vol. 13, no. 2, pp. 54–59. (in Russian)
3. Sun J., Bhusha B. Hierarchical structure and mechanical properties of nacre: a review. *RSC Advances*, 2012, vol. 2, no. 20, pp. 7617–7632. doi: 10.1039/C2RA20218B
4. Meyers M.A., McKittrick J., Chen P.Y. Structural biological materials: Critical mechanics-materials connections. *Science*, 2013, vol. 339, no. 6121, pp. 773–779. doi: 10.1126/science.1220854
5. Ju M.J., Lee S.J., Min E.J., Kim Y., Kim H.Y., Lee B.H. Evaluating and identifying pearls and their nuclei by using optical coherence tomography. *Optics Express*, 2010, vol. 18, no. 13, pp. 13468–13477. doi:10.1364/OE.18.013468
6. Ju M.J., Lee S.J., Kim Y., Shin J.G., Kim H.Y., Lim Y., Yasuno Y., Lee B.H. Multimodal analysis of pearls and pearl treatments by using optical coherence tomography and fluorescence spectroscopy. *Optics Express*, 2011, vol. 19, no. 7, pp. 6420–6432. doi: 10.1364/OE.19.006420
7. Choi S.H., Byun K.M. Naturally occurring order-disorder duality in photonic structures of the *Haliotis fulgens* abalone shell. *Optical Materials Express*, 2019, vol. 9, no. 5, pp. 2206–2215. doi: 10.1364/OME.9.002206
8. Gurov I.P., Zhukova E.V., Margaryants N.B. Investigation of materials internal microstructure by optical coherence microscopy with a tunable wavelength. *Scientific and Technical Journal of Information Technologies, Mechanics and Optics*, 2012, vol. 12, no. 3, pp. 40–45. (in Russian)

Авторы

Гуров Игорь Петрович — доктор технических наук, профессор, профессор, Университет ИТМО, Санкт-Петербург, 197101, Российская Федерация, Scopus ID: 7003399725, ORCID ID: 0000-0003-4119-7922, gurov@ifmo.mail.ru

Жукова Екатерина Владимировна — кандидат технических наук, доцент, доцент, Университет ИТМО, Санкт-Петербург, 197101, Российская Федерация, Scopus ID: 7006100180, ORCID ID: 0000-0002-7741-5605, zhukova-ifmo@mail.ru

Authors

Igor P. Gurov — D.Sc., Full Professor, ITMO University, Saint Petersburg, 197101, Russian Federation, Scopus ID: 7003399725, ORCID ID: 0000-0003-4119-7922, gurov@ifmo.mail.ru

Ekaterina V. Zhukova — PhD, Associate Professor, Associate Professor, ITMO University, Saint Petersburg, 197101, Russian Federation, Scopus ID: 7006100180, ORCID ID: 0000-0002-7741-5605, zhukova-ifmo@mail.ru