

Концепция устройства для регистрации дефектов зубной эмали

А. А. Рыжевич^{1, 2)}, И. В. Балыкин¹⁾, Т. А. Железнякова²⁾, И. П. Коваленко³⁾

¹⁾ *Институт физики им. Б. И. Степанова НАН Беларуси, Минск, Беларусь,
e-mail: a.ryzhevich@dragon.bas-net.by*

²⁾ *Белорусский государственный университет, Минск, Беларусь,*

³⁾ *Институт повышения квалификации и переподготовки кадров здравоохранения учреждения образования "Белорусский государственный медицинский университет", Минск, Беларусь*

Предложена концепция полуавтоматического лазерного устройства для обнаружения и регистрации дефектов зубной эмали человека *in vivo*. Работа устройства основана на свойстве нерасходимости осевого максимума интенсивности бесселева светового пучка (БСП) и отсутствии зависимости пикового значения интенсивности от продольной координаты, которое обеспечивается специальным профилем пропускания фильтра перед аксиконом, формирующим БСП.

Ключевые слова: концепция; устройство; обнаружение дефектов; зубная эмаль; бесселев световой пучок; аксикон.

Conception of device for enamel defect registration

A. A. Ryzhevich^{1, 2)}, I. V. Balykin¹⁾, T. A. Zheleznyakova²⁾, I. P. Kovalenko³⁾

¹⁾ *B. I. Stepanov Institute of Physics of the NAS of Belarus, Minsk, Belarus,
e-mail: a.ryzhevich@dragon.bas-net.by*

²⁾ *Belarusian State University, Minsk, Belarus*

³⁾ *Institute of Advanced Training and Retraining of Healthcare Personnel
of Educational Institution «Belarusian State Medical University», Minsk, Belarus*

A conception of a semi-automatic laser device for detecting and recording human tooth enamel defects *in vivo* is proposed. The operation of the device is based on the property of non-divergence of the axial intensity maximum of the Bessel light beam (BLB) and the absence of dependence of the peak value of intensity on the longitudinal coordinate, which is provided by a special transmission profile of the mask in front of the axicon forming the BLB.

Keywords: conception, device, defect detecting, tooth enamel, Bessel light beam; axicon.

Введение

Дефекты зубной эмали имеют высокую распространённость среди взрослых пациентов на стоматологическом приеме. Неглубокие и непротяженные дефекты часто бывает затруднительно обнаружить невооруженным глазом. Такие дефекты могут не беспокоить пациентов, однако игнорировать их не следует, так как они запускают механизм разрушения зуба. Углубление таких дефектов эмали приводит к проникновению микроорганизмов в более глубокие ткани зуба, что может приводить к воспалению пульпы зуба.

В современной стоматологии важное место занимают профилактические мероприятия, направленные на сохранение здоровья естественных зубов. В связи с этим актуальной является задача визуализации дефектов зубной эмали в процессе стоматологического осмотра.

В [1] рассмотрены оптические устройства, включая цифровую камеру, дающие возможность получить изображение всей полости рта с нескольких немного отличающихся ракурсов и затем рассматривать на мониторе увеличенные изображения зубов с наружной стороны. Существует метод оптоволоконной трансиллюминации «холодным» светом, предназначенный для обнаружения глубоких трещин и кариеса [2], однако он не предусматривает регистрации наблюдаемой картины. В [3] предложено компактное устройство, обеспечивающее хорошую визуализацию малозаметных дефектов зубной эмали с помощью прямого освещения рассеянным светом и трансиллюминации прямым узкополосным по длине волны диодным излучением в зелёной области спектра, но это устройство предназначено для осмотра невооруженным глазом и не предоставляет возможности автоматической регистрации дефектов. В данной работе предлагается конструкция полуавтоматического устройства, позволяющего создать полный комплект изображений всех зубов человека с трёх сторон с подробной картой дефектов зубной эмали для каждого зуба.

1. Общая идея устройства для регистрации дефектов зубной эмали

Устройство состоит из четырёх отдельных частей: дугообразной направляющей накладке двух видов (внутренней либо внешней), измерительного блока трёх видов (для внутренней, внешней и верхней поверхности ряда зубов), портативного компьютера с монитором, лазера с оптоволоком. Схематическое изображение основных элементов направляющей накладки и измерительного блока для исследования внешней поверхности ряда зубов показано на рис. 1.

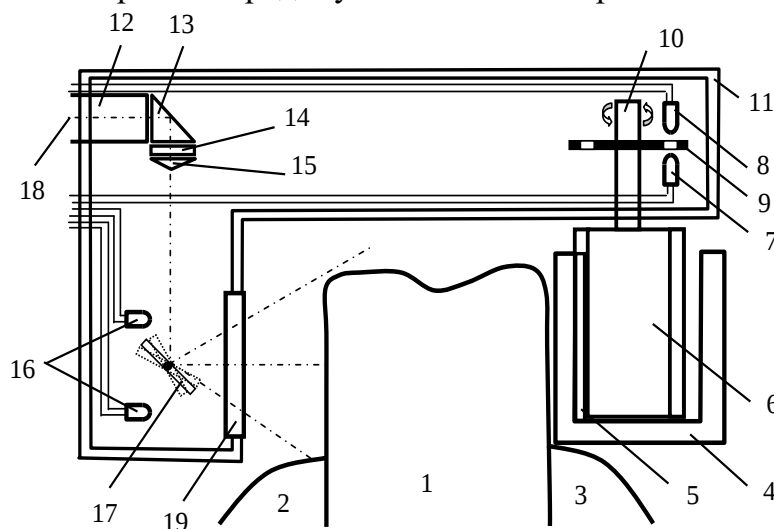


Рис. 1. Оптико-механическая схема основных элементов измерительного блока и направляющей накладки устройства:

- 1 – зуб; 2, 3 – десна; 4 – направляющая накладка; 5 – шестеренчатые зубья на вертикальной стенке направляющей, примыкающей к внутренней поверхности ряда зубов; 6 – опорная шестерёнка; 7 – светодиод оптопары; 8 – фотодиод оптопары; 9 – диск с отверстиями; 10 – вал опорной шестерёнки; 11 – корпус измерительного блока; 12 – оптоволоконно; 13 – поворотная призма; 14 – маска для обеспечения необходимого профиля интенсивности на аксиконе; 15 – аксикон; 16 – 4 фотодетектора (например, фотодиоды); 17 – сканирующее зеркало; 18 – оптическая ось лазерного пучка; 19 – стекло

Дугообразная направляющая 4 обеспечивает единообразное и повторяемое перемещение измерительного блока устройства вдоль внутренней, наружной либо верхней (нижней) поверхности ряда зубов. Одна из внутренних вертикальных поверхностей п-образного профиля направляющей имеет шестеренчатые зубчики, позволяющие точно отсчитывать горизонтальную координату вдоль ряда зубов при перемещении вдоль направляющей вращающейся шестеренки измерительного блока, сопряженной с энкодером (элементы 7–9 на рис. 1). Рукоять направляющей имеет два положения: для верхней и нижней челюсти. Устройство должно комплектоваться несколькими направляющими различных размеров. Направляющие могут быть изготовлены из некорродирующего гипоаллергенного металла (например, нержавеющей стали 12Х18Н10Т – многоразовый вариант) либо из пластика (например, ABS (акрилонитрил-бутадиен-стирол) – одноразовый вариант).

2. Принцип работы устройства

В процессе разработки установки для определения и анализа точечных дефектов на поверхности полупроводниковых пластин [4, 5] нами было замечено, что наилучшее разрешение строящейся карты дефектов обеспечивает схема на основе сфокусированного лазерного пучка, сканирующего исследуемую поверхность путем перемещения поверхности в плоскости фокусировки пучка, и 3–4 фотодетекторов, регистрирующих лазерное излучение, отраженное и рассеянное поверхностью исследуемого образца в месте дефекта. Чем больше частота считывания данных по результатам непрерывного во времени сканирования с фиксированной скоростью, тем большее разрешение изображения поверхности достигается. Уменьшение диаметра фокусного пятна позволяет уменьшить оптимальную частоту сканирования (частота, после превышения которой качество изображения уже не улучшается). В установке [4, 5] использовался гауссов пучок, который фокусировался положительной линзой на плоскую исследуемую поверхность в пятно диаметром несколько микрометров. Поверхность же зуба в общем случае не является плоской. При сканировании поверхности зуба сфокусированный на определенную плоскость световой пучок освещает зубную эмаль в разных местах световыми пятнами различных диаметров, что вносит ощутимую неточность в оценке неоднородности участков поверхности зуба и их размеров. Есть смысл освещать исследуемую поверхность особым образом модифицированным бесселевым световым пучком (БСП). Обычный БСП, сформированный аксиконом из гауссова светового пучка, имеет не изменяющийся в диаметре осевой максимум, значение которого в различных плоскостях зоны существования БСП сначала увеличивается, затем падает [6]. Если же перед голографическим аксиконом 15 (рис. 1) поместить амплитудную маску 14 с определённым профилем пропускания, который показан на рис. 2 [7]), можно сформировать модифицированный БСП, осевое значение интенсивности у которого слабо изменяется в некотором диапазоне значений продольной координаты z (рис. 3) [7]. На рис. 3 видно, что осевая интенсивность практически не изменяется в диапазоне продольной координаты от 120 до 170 мм. Диаметр осевого максимума интенсивности в модифицированном БСП, полученном с помощью аподизированного голографического аксикона также не зависит от z в этом диапазоне (рис. 4) и не превышает 20 мкм [7]. При вертикальном сканировании

зуба модифицированным БСП путем вращения зеркала 17 вертикальный диаметр светового пятна будет периодически и плавно изменяться, но это изменение рассчитывается по синусоидальному закону, поддается учёту и поэтому не мешает детектированию дефектов зубной эмали. Таким образом, принцип работы предлагаемого устройства похож на принцип работы установки [4, 5] с тем отличием, что световой пучок сканирует поверхность зубной эмали путем поворота в вертикальной плоскости сканирующего зеркала 17 и перемещения вручную измерительного блока устройства в горизонтальной плоскости по дугообразной направляющей 4 вдоль ряда зубов. Имеющийся на данный момент уровень техники в области лазеров, оптических элементов, фотометрических датчиков, карт для считывания и передачи данных компьютеров позволит получать изображение поверхности с разрешением порядка 200 нм [5].

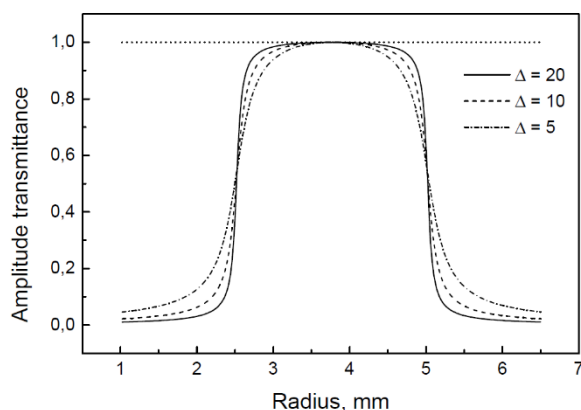


Рис. 2. Профили амплитудной аподизации аксикона с различными степенями крутизны Δ [7]

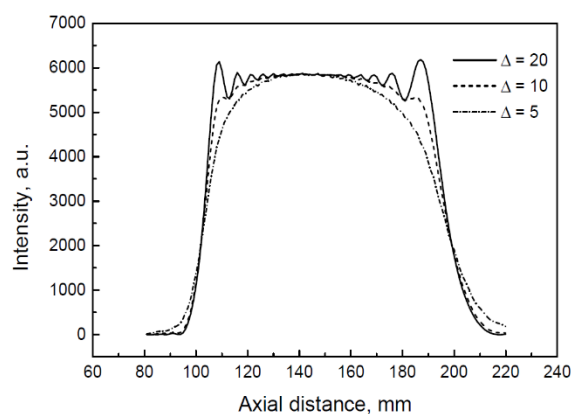


Рис. 3. Распределение интенсивности вдоль оси модифицированного БСП при различных степенях крутизны аподизации Δ [7]

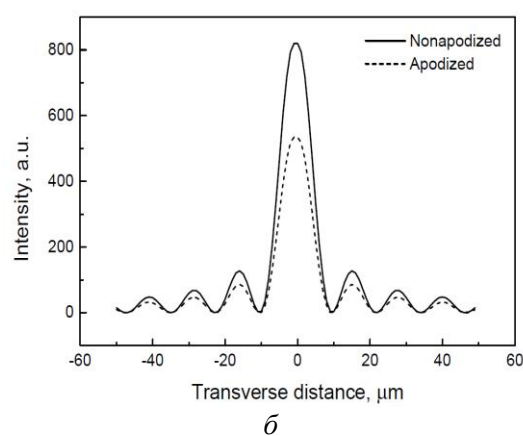
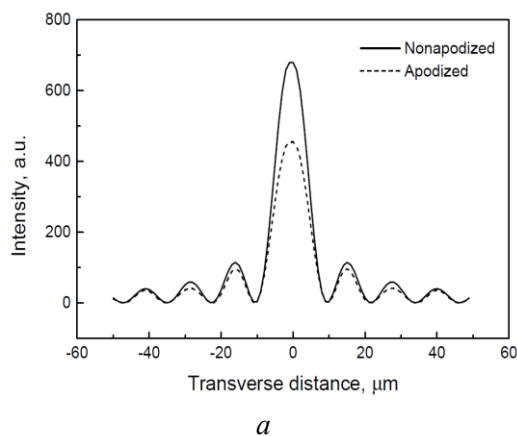


Рис. 4. Радиальное распределение интенсивности модифицированных БСП, полученных с помощью неаподизированного (сплошная линия) и аподизированного (штриховая линия) голографического аксикона:

a — в плоскости $z = 109$ мм; b — в плоскости $z = 186$ мм [7]

Заключение

Предложенное устройство предназначено для быстрого полуавтоматического поиска и регистрации крупных и мелких дефектов зубной эмали на наружной, внутренней и верхней поверхностях ряда зубов с выводом полученных карт дефектов на экран монитора компьютера с возможностью дальнейшей компьютерной обработки полученного изображения: увеличения, детализации, сортировки дефектов по различным параметрам (форме, размеру, глубине, контрастности), маркировки и выделения необходимых групп или классов повреждений. Применение диагностики с данным устройством позволит существенно ускорить профилактический осмотр стоматолога и выделить наиболее критические дефекты, подлежащие первоочередному лечению. Сохраненные записи предыдущих осмотров дадут возможность отслеживать индивидуальные тенденции в изменении состояния зубной эмали пациента.

Работа выполнена в рамках задания 1.1 «Разработка методов и устройств диагностики материалов, процессов и изделий в оптическом и терагерцовом диапазонах спектра и их применение для оптической связи, микроскопии и определения характеристик различных объектов» (№ гос. рег. 20210300) ГПНИ «Фотоника и электроника для инноваций» (2021-2025 гг.).

Библиографические ссылки

1. Луцкая, И. К. Использование оптических устройств в эстетической стоматологии: учебно-методическое пособие / И. К. Луцкая, О. А. Лопатин, Т. А. Запашник. – Минск: БелМАПО, 2012. 29 с.
2. Боровая, М. Л. Эффективность применения ФОТИ как метода дополнительной диагностики кариеса зубов у детей / М. Л. Боровая, Е. М. Гулько, Н. Л. Фролова // Стоматологический журнал. 2011. Т. 12, № 1, С. 45–47.
3. Контрастность трещин зубной эмали при трансиллюминации и прямом освещении излучением светодиодов / И. П. Коваленко [и др.] // Молодежь в науке 2014. Приложение к журналу Вес. Нац. акад. наук Беларусі. Сер. біялаг. і мед. навук. 2014. Ч. 4. С. 180–185.
4. Смирнов, А. Г. Действующий макет устройства для детектирования поверхностных и приповерхностных дефектов малых размеров / А. Г. Смирнов, А. А. Рыжевич, А. В. Агашков // Приборостроение – 2017: материалы 10-ой междунар. науч.-техн. конф., Минск, 1-3 ноября 2017 г. / БНТУ; редкол.: О. К. Гусев [и др.]. Минск, 2017. С. 253–254.
5. Оптимизация установки для определения и анализа точечных дефектов на поверхности полупроводниковых пластин / С. Я. Прислопский [и др.] // Приборостроение – 2019: материалы 12-й междунар. науч.-техн. конф., Минск, 13–15 ноября 2019 г. / БНТУ; редкол.: О. К. Гусев [и др.]. Минск, 2019. С. 463–464.
6. Балыкин, И. В. Продольное распределение максимального значения интенсивности в бесселевых световых пучках нулевого и высших порядков / И. В. Балыкин, А. А. Рыжевич, Н. С. Казак // Журнал прикладной спектроскопии. 2023. Том 90, №3. С. 462–474.
7. Popov, S. Yu, Friberg A. T. Apodization of generalized axicons to produce uniform axial line images // Pure Appl. Opt. 1998. Vol. 7. P. 537–548.