

Copyright © 2024 by Cherkas Global University



Published in the USA
European Journal of Medicine
Has been issued since 2013.
E-ISSN: 2310-3434
2024. 12(1): 37-61

DOI: 10.13187/ejm.2024.1.37
<https://ejm.cherkasgu.press>



Towards Lens-Less Qualimetry of Pulled Patch Pipettes for Molecular Cytology, Personalized and Molecular Medicine and Theranostics (Technical and Methodical Notes)

Evgenii Adamovich ^{a, *}, Oleg V. Gradov ^a

^a N.N. Semenov Federal Research Center for Chemical Physics Russian Academy of Sciences, CHEMBIO Dept., Moscow, Russian Federation

Abstract

This article is the second part of a series of practical articles on optical flaw detections in glass patch pipettes, begun by the publication of the review "*Towards Lens-Less Qualimetry of Pulled Patch Pipettes for Molecular Cytology, Personalized and Molecular Medicine and Theranostics (Review)*" (European Journal of Medicine. 2024. 12(1): 3-36).

Keywords: patch-clamp, glass pipettes, lensless imaging, holographic microscopy, biomedical engineering, cellular electrophysiology, ion channels, optical defectoscopy and flaw detection.

1. Введение

В предыдущей (обзорной) части данной статьи (Adamovich, 2024) уже упоминалось, что для визуализации в экспериментах с использованием патч-пипеток используются самые разнообразные методы, включая IR-DIC-микроскопию (Xia et al., 2008), методы зондовой и атомно-силовой микроскопии (Upadhye et al., 2011), флуоресцентно-микроскопические или/и микро(спектро)флуориметрические методики (Remillard, Yuan, 2004; Robinson et al., 2005; Alexandrov et al. 2015), микроинтерферометрические методы (Градов и др. 2017). В действительности, возможности приложений микроскопии в данных методиках шире, чем было показано первым автором. В одних случаях (например, методы конфокальной микроскопии (Hüser et al., 1996; Orr et al., 2001; Liu, 2012; Koffman et al., 2018; Mao et al., 2020)) возможно исследование в параллельном (синхронном) режиме. В других случаях (например, электронная микроскопия (Plattner et al., 1992; Trotier et al., 1998; Kawa, 2010a, 2010b), особенно высоковольтная (Jung et al., 1987)) речь, как правило, идёт только лишь о последовательных исследованиях: сначала *in vivo* или *in situ* анализируется динамика и физиология биомембран, а затем анализируется статика - цитофизиология, т.е. их анатомия /ультраструктура клетки.

Однако дефектоскопия патч-микропипеток не представляла до последнего времени специального предмета исследования (несколько косвенно задействующих её работ 40-летней давности и далее, выполненные на элементарном (обще)доступном тогда уровне техники, лишь подтверждают тезис). Поэтому к её рассмотрению мы подойдём не через подбор прямых аналогов и предшествующих работ, а от микроскопии стекла в целом.

* Corresponding author

E-mail addresses: neurobiophys@gmail.com (E.D. Adamovich), o.v.gradov@gmail.com (O.V. Gradov)

Общеизвестно, что дефекты стекол и стеклянных изделий исследуются различными методами микроскопии и имэджинга, такими, как (приводятся лишь некоторые наиболее релевантные ссылки по БД Google Scholar):

– Оптическая микроскопия, в том числе - *in situ* методы, например – с СВЧ-нагревом в процессе микроскопии ([Lee et al., 2019](#));

– В случае наличия люминесцирующих включений – люминесцентная микроскопия ([Wu et al., 2014](#));

– Терагерцовый имэджинг ([Oh et al., 2018](#));

– Рамановская микроскопия ([Bowden et al., 1990](#); [Swaenen et al., 2010](#); [Kitahara et al., 2011](#));

– Микроскопия дифференциального интерференционного контраста ([Reschke et al., 1993](#))

– Голографическая микроскопия, в том числе цифровые голографические методы, начиная с появления соответствующих детекторов (в частности, ПЗС или КМОП-матриц) и аналого-цифровых преобразователей ([Shan et al., 2024](#));

– Электронная микроскопия ([Fenn, 2002](#)), преимущественно – SEM/сканирующая электронная микроскопия ([Rouse & Kiyohara, 1985](#)), в особенности – SEM-EDX (с картированием элементного состава при использовании энергодисперсионной спектрометрии, то есть – полуколичественного анализа методами спектрометрии вторично-эмиссионного рентгеновского излучения) ([Valdrè, 1991](#); [Valdrè, 1991](#); [Gibim et al., 1997](#); [Jezikova et al., 2018](#)); мы специально не рассматриваем здесь методики, используемые для анализа стекол в физическом смысле слова, *sensu lato*, которые в ряде случаев на соответствующих масштабах структуры эффективно исследуют методами просвечивающей электронной микроскопии ([Li et al., 2002](#)), но данный подход, что вполне очевидно, никак не может быть использован для квалиметрии патч-пипеток;

– Что логично вытекает из ранее цитированной работы ([Jezikova et al., 2018](#)), масс-спектрометрический имэджинг ([Zanini et al., 2021](#); [Zanini et al., 2021](#)); в настоящее время этот тренд достиг своего апогея, однако следует отметить, что начало ему было дано в 1970–1980-е гг. пионерскими работами Марты Спитцер-Аронсон (в частности, её программной работой "Ion microanalysis: a new method for the study of glasses by mass spectrometry and ion imaging" (1977)), в действительности, с 1970-х по 1990-е гг. работавшей, преимущественно, со стеклами для археологических или музееведческих исследований ([Spitzer-Aronson, 1975](#); [Spitzer-Aronson, 1976](#); [Spitzer-Aronson, 1977a](#); [Spitzer-Aronson, 1977b](#); [Spitzer-Aronson, 1977c](#); [Spitzer-Aronson, 1977d](#); [Spitzer-Aronson, 1977e](#); [Spitzer-Aronson, 1977f](#); [Spitzer-Aronson, 1979](#); [Spitzer-Aronson, 1980a](#); [Spitzer-Aronson, 1980b](#); [Spitzer-Aronson, 1981](#); [Spitzer-Aronson, 1989](#); [Spitzer-Aronson, 1995](#); [Spitzer-Aronson, Peuches, 1975](#)), применяя, как можно видеть из цитированных работ, также методы физики элементарных частиц и атомного ядра, оптической и электронной микроскопии, а также рентгеновского картирования (так, программная работа "Ion microanalysis: a new method for the study of glasses by mass spectrometry and ion imaging" ([Spitzer-Aronson, 1977f](#)) доложена на 11-м Международном стекольном конгрессе в Праге в июле 1977 г. под патронажем Парижской Laboratoire de physique corpusculaire; она также доступна до настоящего времени в репозитории Laboratoire de Recherche des Monuments Historiques, 29 Rue de Paris, 77420 Champs-sur-Marne, France);

– Атомно-силовая микроскопия ([Tang et al., 1997](#));

– Ультразвуковой эхо-локационный (макро-)анализ и ультразвуковая микроскопия ([Masonkina, Kalnins, 2013](#)); и так далее (по подсчетам авторов, для анализа структуры и дефектов стекла (однократно или более) использовано несколько десятков методов – то есть более, чем 3/4 подходящих для этого, по физическим критериям, методов).

Весьма существенный аспект подобных прикладных исследований (часто в большей степени, чем детектирование свилей) представляет анализ различных форм включений в стекле. Для этого, кроме стандартной световой микроскопии (как правило, на отражение ([Virgoe, 1967](#))) и методов, основанных на поглощении или рассеянии излучения ([Lu et al., 2018](#)), применяются методы и технологии рамановской микроскопии ([Bowden et al., 1990](#); [Swaenen et al., 2010](#)), электронной микроскопии ([Zavelsky et al., 2000](#); [Krauss et al., 2018](#)), оптической и рентгеновской томографии ([Pamukcu et al., 2011](#)), получения изображения с использованием масс-спектрометрии вторичных ионов (ВИМС = SIMS imaging = TOF SIMS imaging ([Florentin et al., 2018](#))), терагерцового имэджинга ([Pantano et al., 1999](#); [Zhang et al.,](#)

2016). Как можно видеть из цитированной литературы, нередко образцы стекла, для исследования которых используются перечисленные методы микроскопии/имэджинга, представляют собой стекла естественного происхождения (тектиты, микрообразцы корки метеоритов и т.д.), а также археологические образцы. Однако, в действительности, исходя из физической фиксации условий получения и внешних воздействий в ходе изготовления стекла в виде дефектов, можно говорить о целесообразности использования специальным образом приготавливаемых стекол с микродефектами или возможностью их регистрации, как позиционно-чувствительных ("имэджинговых") детекторов в диапазоне физического воздействия, обеспечивающего образование соответствующих дефектов (Wu et al., 2012; Kurobori et al., 2015). Отметим, что подобные подходы используются в ультрафиолетовой области спектра, так как УФ используется для паттернинга (полимерных) материалов для создания инструментов для патч-кламп (Pfleger et al., 2008).

Аналогично только что аннотированному подходу, патч-пипетка, вытягиваемая при определенных условиях, запечатлевает в себе (микро-)структурные дефекты, говорящие об условиях её изготовления. Поэтому правильно подобранный метод визуализации этих дефектов, особо - применимый для *in situ* контроля в процессе её изготовления, позволит контролировать техпроцесс и подбирать наиболее эффективные режимы получения столь качественных пипеток, дефекты которых (или, корректнее, их отсутствие) не повлияют на результаты патч-кламп-экспериментов в электрофизическом/электрофизиологическом и в оптическом (как "имэджинговом", так и "световодном") аспекте. Последнее особенно важно для патч-кламп-экспериментов с лазерной абляцией, лазерной фотостимуляцией или лазерной микроургией в процессе регистрации (Taylor, Brownlee, 1992; Henriksen, Assmann, 1995; Henriksen, Assmann, 1997; Henriksen et al., 1996; Karu et al., 1996, 1997; Molnar, Nadler, 1997; Roberts et al., 1997; Helm et al., 2009; Yao et al., 2009; Lee et al., 2012; Stevanović et al., 2021; Pajić et al., 2023, 2024), в особенности – для версий, в которых пучок подаётся через патч-капилляр как световод/оптический волновод. Также специальные марки стекла в патч-пипетке, в частности – радиационно-чувствительные стекла (как трековые детекторы, так и радиолоуминесцентные и иные детекторы, общеизвестные с 1930-х - 1980-х гг. XX века (см.: Landsberg, Weyl, 1939; Khovanov et al., 1970; Mubarakmand et al., 1977; Farid, 1985a; Farid, 1985b; Singh, Virk, 1988; Singh, Virk, 1989; Singh, Virk, 1990a; Singh, Virk, 1990b; Garg et al., 1989; Hille et al., 1990; Ghosh et al., 1997; Caldas, Quezada, 2002; Singh, Kaur Sandhu, 2006; Singh et al., 2007; Maki et al., 2010; Świontek et al., 2021; De Gruttola, 2024), могут быть использованы для дозиметрии в фотодинамических и радиационно-медицинских экспериментах на клеточном уровне, а также для регистрации излучений в радиоавтографически детектирующей технике патч-кламп измерений ("радиоавтографически-детектирующий патч-кламп" в цитологических исследованиях (Градов, 2016)).

2. Материалы и техника эксперимента

В личном опыте авторов в период работы Группы биофизического приборостроения (работавшей по проектам РФФИ О.В. Градова и инициативным электрофизиологическим и микроскопическим темам) в ИНЭПХФ (по 2018 год) для дефектоскопического контроля электрофизиологических микроэлектродов, утоненных "гамильтоновых" микрошприцов, нанолитровых пипеток-дозаторов для (микро)осмометров и т.п. изначально мы пытались использовать самодельную установку на базе металлографического микроскопа с крайне низким разрешением (Рисунок 1).

Но при попытках её адаптации для анализа патч-пипеток и аналогичных продуктов работы с микрокузницей было получено крайне низкокачественное изображение (Рисунок 2). Поэтому возник вопрос о необходимости подбора или же создания специализированного устройства для исследования качества стеклянных микропипеток как непосредственно на пуллере или микрокузнице, так и непосредственно после вытягивания в зоне проведения электрофизиологического эксперимента. Разрабатывавшееся ранее "приспособление для микроинъекторных манипуляций и измерений" в диапазоне от 50 до 10000 ангстрем под разными углами на базе микроинтерферометра (Градов и др., 2017) оказалось неудобным для этой цели, в силу конструктивных особенностей микроинтерферометра (поэтому этот инструмент также более не использовался впоследствии в наших экспериментах).

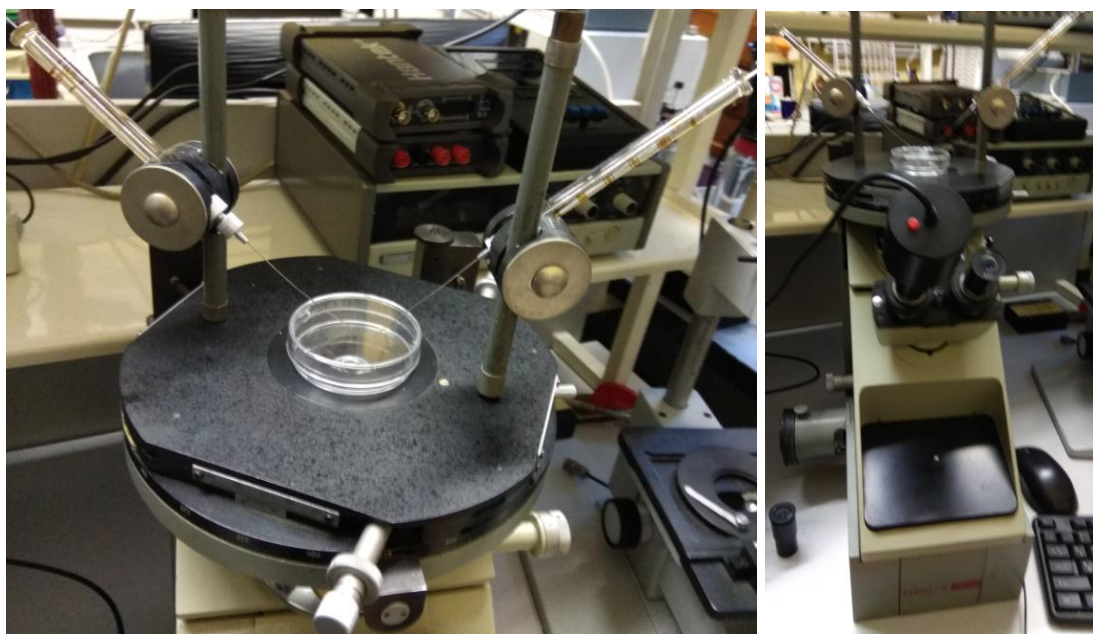


Рис. 1. Самодельная дефектоскопическая установка на базе металлографического микроскопа с измененной конфигурацией позиционера (ИНЭПХФ, 2017–2018)

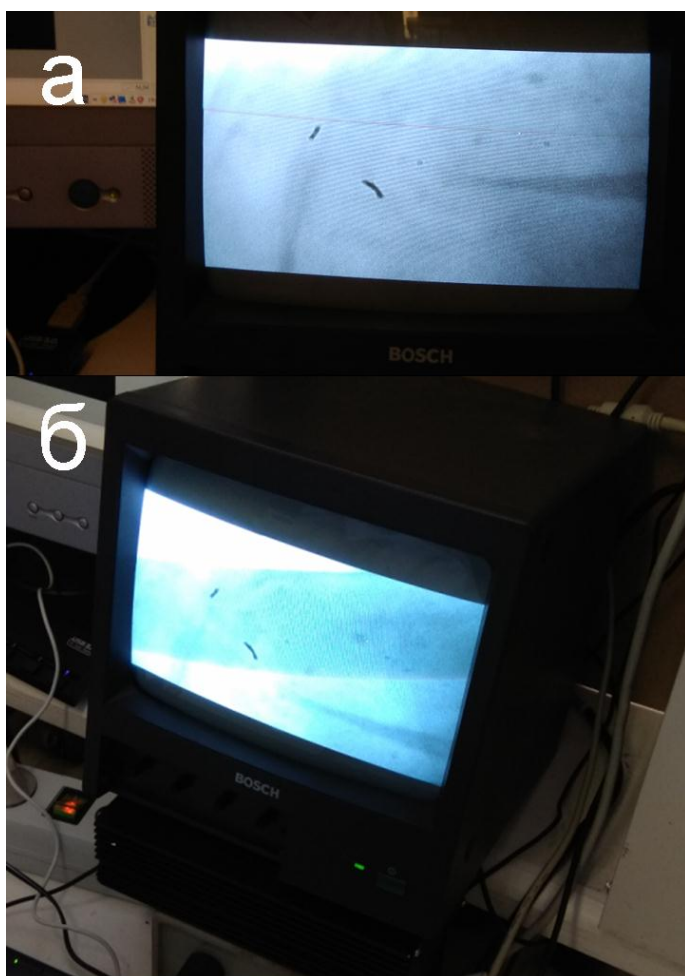


Рис. 2. Крайне низкое качество отображения на самодельной дефектоскопической установке на базе металлографического микроскопа с измененной конфигурацией позиционера, показанной на рис. 1 (ИНЭПХФ, 2017–2018)

Поэтому нами была предложена безлинзовая схема регистрации, заключающаяся в использовании прямо в пуллере или микрокузнице, а также в установках экспериментов в области электрофизиологии и микроинъекции, компактных безлинзовых микроскопов нашей конструкции. Предлагалось утилизировать для этого ранее разработанные схемы, основанные на монохромных ПЗС и видиконах, устаревшие к 2018 году, в силу появления КМОП-матриц высокого разрешения, обладавших способностью к регистрации не только мозаичного цветного RGB-изображения (как в случае фильтров Байера), но и прямой (не требующего постобработки) колокализованной регистрации R, G и B-каналов (например, как в матрицах типа FOVEON X3). В частности, для задач регистрации патч-пипеток нами были адаптированы матрицы, использовавшиеся ранее (2011-2012 гг.) в гемоцитрических/цитометрических исследованиях с контактной калибровкой матриц по сетке встроенных счетных камер Фукса-Розенталя и иных конструкций (Градов, Нотченко, 2012; Нотченко, Градов, 2012; Notchenko, Gradov, 2013). Потенциал прямого использования этих матриц в заданных целях не был исчерпан, но в 2017–2018 гг. мы работали с КМОП-матрицами от камерофонов, технико-алгоритмически обеспечивавшими субмикронное разрешение при многоугловой голографической регистрации, регистрируя RAW изображение при 8 Мп (и более – в следующих моделях) (Градов и др., 2018а; Насиров и др., 2018). Для ставящихся задач контроля мезоскопических образцов хорошо подошли безлинзовые микроскопы, с помощью которых производились исследования в области зоологии беспозвоночных (по определению индексировавшего их Реферативного журнала ВИНТИ – Сер. "Биология", раздел 04И. "Зоология" (Градов, Нотченко, 2016а; Градов, Нотченко, 2016b; Gradov, 2019)). В то же время, в случае низкоразрешающих мегапиксельных матриц, использовавшихся в трихоскопии и трихометрии (Градов и др., 2018b, Градов и др., 2018c), оказалось, что их разрешающая способность не позволяла качественно визуализировать свилли, шлиры, блюмы, дроссы, поверхностные и капиллярные пузыри, "мошки" (жарг. терм. стеклодувов), и другие дефекты стекла без использования множественных экспозиций и цифровой обработки. В итоге коллективно было решено использовать не КМОП-матрицы с дальнейшими алгоритмами обработки, а аналоговые ПЗС-матрицы для регистрации дефектов стекла патч-пипеток и капилляров, используемых для микроинъекций. Это соответствовало нашим серендипным находкам в данной области исследований, недоопубликованным в период попыток интеграции патч-кламп-экспериментов и безлинзового оптофлюидного детектирования в лабораториях на чипе (Александров, Градов, 2014; Alexandrov et al., 2015). Также подобные эффекты были обнаружены при попытке визуализации сигнала со стеклянных капиллярных педоскопов на ПЗС- и КМОП-матрицах, при закладке в естественную среду транслирующих сигнал по телеметрическому каналу. Данные инструменты применяются, наряду с разработанными нами до 2014 г. телеметрическими "лабораториями на чипе" с планарной поверхностью и аналогичными безлинзовыми контактными оптическими сенсорами, замещающими при трансляции сигнала в реальном времени использование оцифровывающих изображение окулярных камер на тринокулярном микроскопе при микроскопии почвенных камер или пластин обрастания Росси-Холодного для изучения почвенной микрофлоры, в том числе грибковой, после выемки из почвы (однако данный аспект классифицирован в ВИНТИ как относящийся к ботанике (Градов, 2014а; Градов, 2014b)). Было доказано высокое качество на резольвометрических тестах с ПЗС-матрицами и низкое качество при прогонах с КМОП-матрицами рубежа 2000–2010-х гг. (которые, в частности, как выяснилось, обеспечили худшую глубину резкости при проекции резольвометрических мирр и микросеток камер типа Фукса-Розенталя даже с частично когерентными диодными источниками). Данными физико-техническими аргументами была подготовлена база для отказа от КМОП-матриц безлинзовых приборов старого образца в пользу аналоговых ПЗС-матриц в визуализации варьируемо отстоящего от матрицы капилляра микропипетки, проецируемого на сенсор с использованием источника частично-когерентного (напр., LED) или когерентного (лазер, в том числе - лазерный диод или твердотельный лазер с диодной накачкой) излучения.

3. Предварительные результаты безлинзового детектирования

Результаты исследований представлены на [Рисунках 3-7](#) и комментируются далее в тексте.

Первым и наиболее важным пунктом для запуска любого метрологического стенда является калибровка. На изображении должен существовать скейлбар (шкала масштаба), основанный на некоем калибровочном эталоне (например, сетке счетной камеры Фукса-Розенталя или иного типа, как в работе (Градов, Нотченко, 2012; Нотченко, Градов, 2012; Notchenko, Gradov, 2013)) или генерируемый внешним источником поля с известными и воспроизводимыми метрическими характеристиками (интерференционные паттерны на плоскости сенсора в случае микроинтерферометрического контроля, осуществлявшегося с помощью DIY-системы FRINGES в работе (Градов и др., 2017) или аналогичные техники в зарубежных работах). На [Рисунке 3](#) приводятся два типа калибровки по паттерну проекции: на [Рисунке 3а](#) – в статическом режиме (расстояния между точек известны для плоскости, хотя и варьируются при проекции на плоскость сенсора сквозь препарат с шероховатостью или различиями в показателе преломления); на [Рисунке 3б](#) – в динамическом режиме (движение вышеуказанных точек приводит к формированию треков, расстояния между которыми, в силу сохранения расстояния между проецируемыми точками, сохраняются). Во-вторых, в случае использования источников, позиционируемых в разных точках пространства либо под разным углом, несмотря на "безлинзовость" (и следовательно, "безабберационность") детектора, нужно убедиться в том, что расстояния между равноотстоящими точками при движении источника сохраняются, а эффект перспективы не влияет на точность анализа размеров или может быть скомпенсирован. Для этого удобно использовать подачу пучка с боковых/малоугловых позиций. В первой версии мы использовали для этого пружину, у которой шаг спирали был измерен. Во второй версии мы использовали для этого "ножки" (выводы) самого чипа, расположенные с одинаковыми интервалами. Выяснилось, что, по существу, контроль при подаче пучка с латеральной позиции – расположенной ниже, чем планарная поверхность детектора – является метрологически неконструктивным, так как в расходящемся пучке (особо – от источника с собственной кривизной или микролинзой) регистрируемые расстояния между проекциями выводов чипа визуально не сохраняются (см. [Рисунок 4](#)).

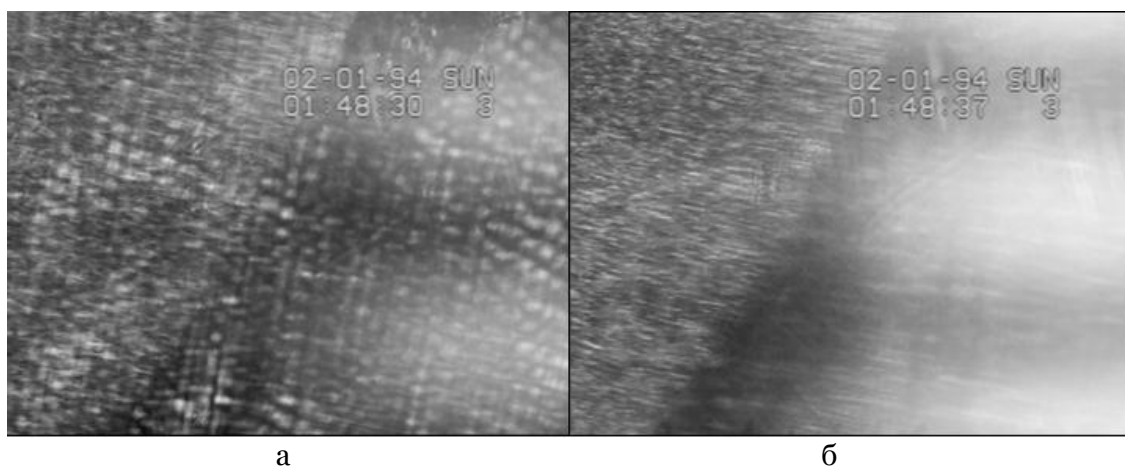


Рис. 3. Два типа калибровки по паттерну проекции: на [Рисунке 3а](#) – в статическом режиме (расстояния между точек известны для плоскости, хотя и варьируются при проекции на плоскость сенсора сквозь препарат с шероховатостью или различиями в показателе преломления); на [Рисунке 3б](#) – в динамическом режиме (движение вышеуказанных точек приводит к формированию треков, расстояния между которыми, в силу сохранения расстояния между проецируемыми точками, сохраняются)

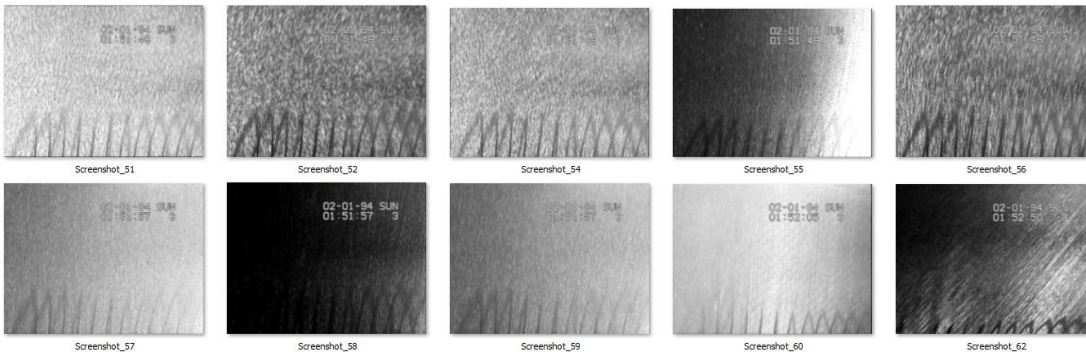


Рис. 4. Контроль при подаче пучка с латеральной позиции, расположенной ниже, чем планарная поверхность детектора, является метрологически неконструктивным, так как регистрируемые расстояния между проекциями выводов чипа визуально не сохраняются

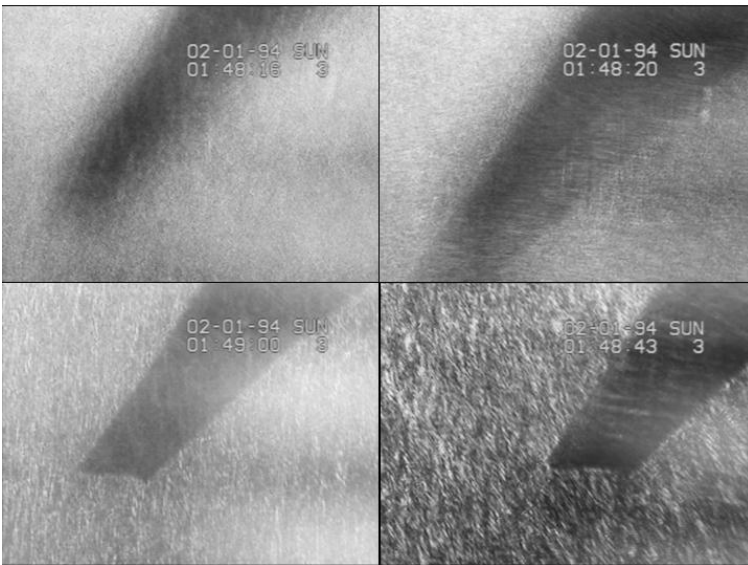


Рис. 5. Анализ глубины резкости и поиск оптимальной высоты теневой проекции

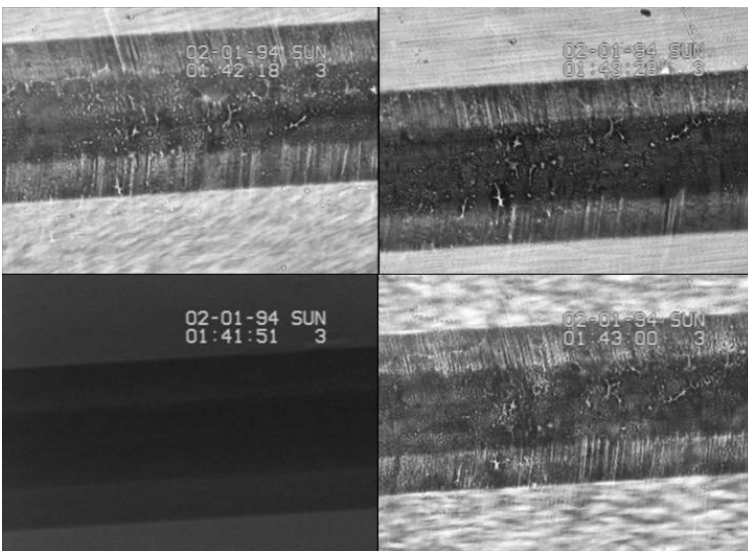


Рис. 6. Изображение параллельного участка пипетки при различных (статических и динамических) методах спекл-проекции и некогерентной проекции. Верхний правый результат некогерентной проекции кажется наиболее приемлемым

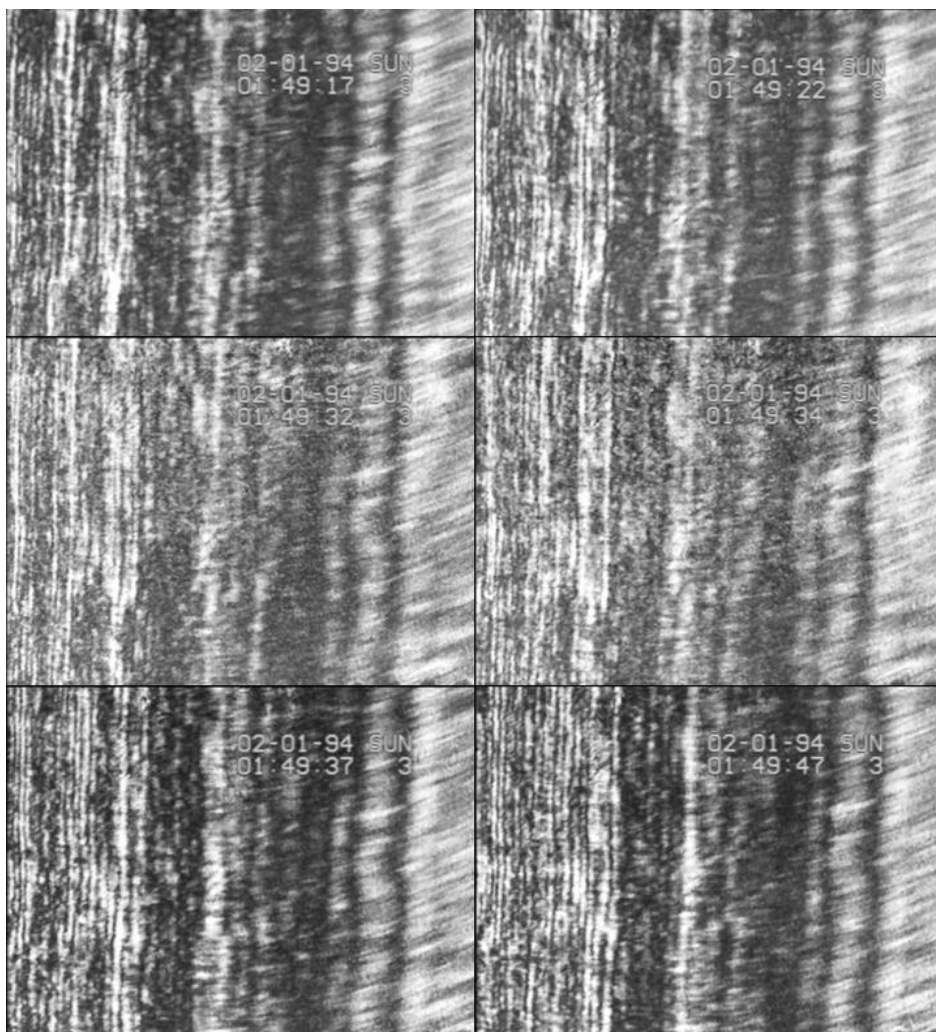


Рис. 7. Интерференционные безлинзовые микрофотографии границы патч-пипетки

Следующим этапом являлось определение глубины резкости через приближение к детектору кончика микропипетки, в том числе - при разных источниках как когерентного, так и не когерентного излучения. Переход от регистрации далеко отстоящей увеличенной тени кончика микропипетки к визуализации её контура и далее микроструктуры стекла, в сущности, является пререквизитом конструктивной оптической дефектоскопии изделия с детектированием (ручным или опосредованным искусственным интеллектом) различных дефектов (свилли, шпирсы, блюмы, дроссы, пузыри - в т.ч. поверхностные и капиллярные, "мошки" и т.п. позиции, которые могут быть определены на ПК методами распознавания образов с безлинзовых микрофотографий по предварительно сформированной эталонно-обучающей нейросеть выборке). Анализ глубины резкости и процесс поиска оптимальной высоты теневой проекции для выделения контура (для сегментации изображения) дан на [Рисунке 5](#).

Наконец, проведя предварительные метрологические калибровочные манипуляции, можно начинать в оптимальном режиме имэджинг различных областей патч-пипетки на безлинзовом микроскопе. Изображение параллельного участка пипетки при различных – как статических, так и динамических - техниках когерентной и некогерентной проекции, обеспечивающей различную глубину резкости и частотно-контрастную характеристику у одной и той же пипетки, приведено на [Рисунке 6](#). Верхний правый результат некогерентной проекции кажется наиболее приемлемым. Однако для высокоразрешающего контроля с претензией на метрологическое значение данный вариант не подходит. Для обеспечения высшего метрологического качества, по аналогии с работой ([Градов и др., 2017](#)) (хотя и не с тем же метрологическим качеством, которое обеспечивается микроинтерферометрами с

пределами измерения от 1 мкм до 0,005 мкм), можно применить интерферометрический, в том числе – лазерный интерферометрический метод. Общеизвестны: голографические и птихографические методы микроскопии, базирующейся на микроинтерферометрических (не по Линнику) или, шире, интерференционных принципах (Micó, García, 2012; van der Voort, 2016; Hyyti et al., 2017; Hou et al., 2018; Boonzajer Flaes, Witte 2018); существование большого количества вариантов безлинзовых интерферометров (как "ретроспективных", созданных в эпоху использования аналоговых сенсоров (Smirnov, 1987a; Smirnov, 1987b; Tepichin, Ibarra, 1995), так и современных, в том числе – полностью цифровых (Sheoran et al., 2009; Zhu et al., 2016; Zhu et al., 2017; Yang et al., 2018; Varghese et al., 2018; Howell et al., 2019, 2020; Li et al., 2021a; Li et al., 2021b)); существование множества методов безлинзового имэджинга, основанного на интерференции (Marks et al., 1999), включая сверхразрешающие методы (Granero et al., 2013; Granero et al., 2016), основанные на использовании лазерной интерференции и спекл-имэджинга, акусто-оптических и иных модуляторов и дефлекторов (Kong et al., 2016; Sauer et al., 2017; Leblanc et al., 2024); методики безлинзовой однопиксельной регистрации интерференции, лазерных интерференционных паттернов в плоскости детектора (Jackson, Durfee, 2018). Исходя из изложенного, использование интерференции и интерферометрии в протоколах безлинзовой микроскопии или же безлинзовой оптической дефектоскопии патч-пипеток принципиальных физических или же существенных технико-методических затруднений не представляет. На Рисунке 7 показаны интерференционные безлинзовые микрофотографии границы патч-пипетки. Можно видеть, что граница, объём, а также микрошероховатости поверхности стекла капилляра визуализируются хорошо. Это говорит о принципиальном подтверждении теоретических предпосылок, означенных выше. Впрочем, если говорить о калибровке (см. предыдущий абзац данной работы), то проще перечислить экзотические, не встречающиеся в практике методы безлинзового контроля, в которых не производится интерферометрическая калибровка (например, неинтерферометрическая калибровка, по очевидным причинам, используется в безлинзовой фазовой эндоскопии (Sivankutty et al., 2019)), чем далее развивать идею о необходимости использования интерферометрии при безлинзовой оптической дефектоскопии, в т.ч. в безлинзовой оптической дефектоскопии патч-пипеток и капиллярных топологий оптофлюидных чипов на безлинзовом сенсоре.

4. Приложение к методическому сообщению

В завершение данного методического сообщения следует отметить, что все данные в период работы YouTube на территории РФ были вывешены в открытом доступе, начиная с 2019 года (см. Рисунок 8). В силу этого, все протоколы были воспроизводимы коллегами. При необходимости, данная технология может быть воспроизведена и имплементирована уже на более современном техническом уровне по просьбе любых нуждающихся в ней коллег.



Рис. 8. Пример поиска Supplement-а статьи по запросу: Gradov O.V. Lensless-microscopes in different multiparametric patch-clamp spectrometry setups. 2019. ICP. В данном случае, в силу вывешивания материала до слияния ИНЭПХФ РАН и ИХФ РАН (в марте 2019 года, когда была закрыта группа), сохранена аббревиатура ICP – Institute of Chemical Physics.

Литература

Александров, Градов, 2014 – Александров П.Л., Градов О.В. Конвенционные патч-кламп-автоматы с обратной связью для многофакторных лабораторий на чипе с использованием интерфейсов вычислительных машин реального времени // *Биотехносфера*. 2014. 3(33): 13-17.

Градов и др., 2017 – Градов О.В., Насиров Ф.А., Скрынник А.А., Яблоков А.Г. Простое методическое приспособление для микроинъекторных манипуляций и измерений на электроморфологическом чипе при микроинтерферометрическом контроле интерфейсных и мембранных процессов на диапазоне толщин от 50 до 10000 ангстрем под разными углами // *Морфология*. 2017. 11(4): 7-17.

Градов и др., 2018a – Градов О.В., Насиров Ф.А., Яблоков А.Г. Безлинзовая гемоцитометрия на чипе со вторичным преобразованием сигналов / изображений клеток в рамках неканонической фотометрической модели // *Фотоника*. 2018. (7(75)): 716-729.

Градов и др., 2018b – Градов О.В., Насиров Ф.А., Гончарова А.А., Фищенко В.К., Яблоков А.Г. Технологии безлинзовой голографической трихоскопии и трихометрии на чипе: микроинтерференционные, 2D-Фурье-спектральные (интегральные частотные и пространственные) и коррелографические техники в клинической трихологии // *Морфология*. 2018. 12(2): 7-21.

Градов и др., 2018c – Градов О.В., Насиров Ф.А., Гончарова А.А., Фищенко В.К., Яблоков А.Г. Безлинзовая голографическая трихоскопия и трихометрия [Репринтное издание] // *Вестник трихологии (Интернет-журнал Союза Трихологов)*. 2018. [Электронный ресурс]. URL: http://www.trichology.pro/articles/vracham-spetsialistam/bezlin_zovaya-golograficheskaya-trikhoskopiya-i-trikhometriya.php

Градов, 2014a – Градов О.В. Телеметрические лаборатории на чипе как современные альтернативы почвенных камер и пластин обрастания Росси-Холодного для изучения почвенной микрофлоры // *Реферативный журнал ВИНТИ сер. Биология*. (1(Сводный том, раздел 04В. Ботаника)): 2014. 14.01–04В8.262.

Градов, 2014b – Градов О.В. Многофакторное физико-биохимическое картирование микробиома почвы методом мониторинга экспозиций лабораторий на чипе в микротоннельных устройствах // *Реферативный журнал ВИНТИ сер. Биология*. 2014. (1(Сводный том, раздел 04В. Ботаника)): 14.01–04В8.263.

Градов, 2016 – Градов О.В. Радиоавтографически-детектирующий локальный патч-кламп как метод онкоцитологического анализа // *Евразийский онкологический журнал*. 2016. 4(2): 637.

Градов, Нотченко, 2012 – Градов О.В., Нотченко А.В. Загальнодоступні морфогістохімічні лабораторії на чипі на базі сіток рахункових камер різних типів: мікрофлюїдні морфодинамічні робочі станці // *Морфология*. 2012. 6(1): 5-19.

Градов, Нотченко, 2016a – Градов О.В., Нотченко А.В. Принципы создания и эксплуатации diu-лабораторий на чипе для автоматического мониторинга этологии лесных муравьёв в сравнении с математической моделью // *Реферативный журнал ВИНТИ сер. Биология*. 2016. (8(Сводный том, раздел 04И. Зоология)): 116–Реф. № 16.08–04И9.5.

Градов, Нотченко, 2016b – Градов О.В., Нотченко А.В. О возможности создания телеметрических установок для автоматического мониторинга этологии лесных муравьёв в сопоставлении с математической моделью // *Реферативный журнал ВИНТИ сер. Биология*. 2016. (8(Сводный том, раздел 04И. Зоология)):131–Реф. № 16.08–04И9.175.

Насиров и др., 2018 – Насиров Ф.А., Яблоков А.Г., Градов О.В. Регистрация препарата семенных канальцев методами безлинзовой лазерной проекционной (голографической) микроскопии на чипе и ближнепольной микроскопии со спектрально-разложением каналов изображений // *Гены и клетки*. 2018. (1 (Приложение)): 85-86.

Нотченко, Градов, 2012 – Нотченко А.В., Градов О.В. Элементарные морфометрические лаборатории на чипе на основе гемоцитометрических камер с радиочастотной идентификацией культур и трансляцией спектрально-гистохимического мониторинга // *Журнал радиоэлектроники*. 2012. (2). [Электронный ресурс]. URL: jre.cplire.ru/jre/feb12/5/

[Adamovich, 2024](#) – *Adamovich E.D.* Towards Lens-Less Qualimetry of Pulled Patch Pipettes for Molecular Cytology, Personalized and Molecular Medicine and Theranostics (Review) // *European Journal of Medicine*. 2024. 12(1): 3-36.

[Alexandrov et al., 2015](#) – *Alexandrov P., Notchenko A., Gradova M., Gradov O.* Simultaneous *in situ* detection of the optical fluorescence, fluorescence recovery kinetics after photobleaching & membrane ion flux on the electrophysiological lab-on-a-chip // *American Journal of Optics and Photonics*. 2015. 3(5): 118-122.

[Alexandrov et al., 2015](#) – *Alexandrov P., Notchenko A., Gradova M., Gradov O.* Simultaneous *in situ* detection of the optical fluorescence, fluorescence recovery kinetics after photobleaching & membrane ion flux on the electrophysiological lab-on-a-chip. *American Journal of Optics and Photonics*. 2015. 3(5): 118-22.

[Boonzajer Flaes, Witte, 2018](#) – *Boonzajer Flaes D.E., Witte S.* Interference probe ptychography for computational amplitude and phase microscopy // *Optics Express*. 2018. 26(24): 31372-31390.

[Bowden et al., 1990](#) – *Bowden M., Dixon N.M., Gardiner D.J., Carter S.F.* Raman microscope analysis of gaseous and solid inclusions in fluoride glass optical fibres // *Journal of Materials Science: Materials in Electronics*. 1990. (1): 34-38.

[Caldas, Quezada, 2002](#) – *Caldas L.V.E., Quezada V.A.C.* Influence of thermal treatments on the response decay of glass radiation detectors // *Radiation protection dosimetry*. 2002. 100(1-4): 433-436.

[De Gruttola, 2024](#) – *De Gruttola D.* Particle detectors based on glass: toward the Multigap Resistive Plate Chambers // *The European Physical Journal Plus*. 2024. 139(4): 1-14.

[Farid, 1985a](#) – *Farid S.M.* Track recording properties of soda glass detector for accelerated heavy ions // *Pramana*. 1985. 25: 29-41.

[Farid, 1985b](#) – *Farid S.M.* Annealing of ^{132}Xe -ion tracks in a soda glass track detector // *The International journal of applied radiation and isotopes*. 1985. 36(6): 455-462.

[Fenn, 2002](#) – *Fenn P.M.* Applications of Electron Microscopy for Defect Understanding in the Glass Industry. In: *Industrial Applications Of Electron Microscopy* (pp. 147-166). CRC Press, 2002.

[Florentin et al., 2018](#) – *Florentin L., Deloule E., Faure F., Mangin D.* Chemical 3D-imaging of glass inclusions from Allende (CV3) olivine via SIMS: A new insight on chondrule formation conditions // *Geochimica et Cosmochimica Acta*. 2018. 230: 83-93.

[Garg et al., 1989](#) – *Garg A.K., Sharma S.K., Chander S., Kumar S., Sharma A.P.* Study of thermal annealing characteristics of ^{50}Ti ion tracks in a soda glass track detector // *International Journal of Radiation Applications and Instrumentation. Part D. Nuclear Tracks and Radiation Measurements*. 1989. 16(4): 275-277.

[Ghosh et al., 1997](#) – *Ghosh S., Sinha D., Mawar A.K., Singh S., Srivastava A., Dwivedi K.K., Brandt R.* Mean ranges of ^{161}Dy in Hostaphan and Kapton and maximum etchable track lengths in ZnP-glass detector // *Radiation measurements*. 1997. 28(1-6): 41-44.

[Gibim et al., 1997](#) – *Gibim M.H., Gabas S.G., Kahn H.* Study of glass defects by SEM-EDS // *Acta Microscopica*. 1997. 6: 108-109.

[Gradov, 2019](#) – *Gradov O.V.* Analog non-coherent spectrozonal lens-less microscopy of Hydra sp. (phylum Cnidaria, class Hydrozoa) with combined raster scan and cross-band shifting // *Central European Journal of Zoology*. 2019. 5(1): 24-45.

[Granero et al., 2013](#) – *Granero L., Ferreira C., García J., Micó V.* Lensless single-exposure super-resolved interferometric microscopy / *Proc. SPIE*. 2013. 8788: 55-62.

[Granero et al., 2016](#) – *Granero L., Ferreira C., Zalevsky Z., García J., Micó V.* Single-exposure super-resolved interferometric microscopy by RGB multiplexing in lensless configuration // *Optics and Lasers in Engineering*. 2016. 82: 104-112.

[Helm et al., 2009](#) – *Helm P.J., Reppen T., Heggelund P.* A setup for combined multiphoton laser scanning microscopic and multi-electrode patch clamp experiments on brain slices // *Proc. SPIE*. 2009. 7183: 506-513.

[Henriksen, Assmann, 1995](#) – *Henriksen G., Assmann S.* Laser microsurgery of the cell-wall facilitates patch-clamp access to the guard-cell plasma-membrane // *Journal of Cellular Biochemistry*. 1995. (S): 151.

Henriksen, Assmann, 1997 – Henriksen G.H., Assmann S.M. Laser-assisted patch clamping: a methodology // *Pflügers Archiv*. 1997. 433: 832-841.

Henriksen et al., 1996 – Henriksen G.H., Taylor A.R., Brownlee C., Assmann S.M. Laser microsurgery of higher plant cell walls permits patch-clamp access // *Plant physiology*. 1996. 110(4): 1063-1068.

Hille et al., 1990 – Hille R., Bueker H., Haesing F.W. Glass fibers as radiation detectors // *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section A: Accelerators, Spectrometers, Detectors and Associated Equipment*. 1990. 299(1-3): 217-221.

Hou et al., 2018 – Hou L., Wang H., Sticker M., Stoppe L., Wang J., Xu M. Adaptive background interference removal for Fourier ptychographic microscopy // *Applied optics*. 2018. 57(7): 1575-1580.

Howell et al., 2019 – Hovell T., Matharu R.S., Justham L., Petzing J., Kinnell P. The Performance of a Lensless Fibre-Deployed Low Coherence Interferometer for In-Situ Measurements / In: *13th International Conference and Exhibition on Laser Metrology, Machine Tool, CMM and Robotic Performance*, 2019: 22-30.

Howell et al., 2020 – Hovell T., Matharu R.S., Petzing J., Justham L., Kinnell P. Lensless fiber-deployed low-coherence interferometer for in-situ measurements in nonideal environments // *Optical Engineering*. 2020. 59(1): 014113-014113.

Hüser et al., 1996 – Hüser J., Lipp P., Niggli E. Confocal microscopic detection of potential-sensitive dyes used to reveal loss of voltage control during patch-clamp experiments // *Pflügers Archiv*. 1996. 433: 194-199.

Hyyti et al., 2017 – Hyyti J., Escoto E., Steinmeyer G., Witting T. Interferometric time-domain ptychography for ultrafast pulse characterization // *Optics Letters*. 2017. 42(11): 2185-2188.

Jackson, Durfee, 2018 – Jackson J., Durfee D. Lensless Single Pixel Imaging with Laser Interference Patterns // *Microscopy and Microanalysis*. 2018. 24(S1): 1366-1367.

Jezikova et al., 2018 – Jezikova M., Janos F., Ullrich J., Muijsenberg E. Glass Defects Identification Using a Mass Spectrometer, SEM-EDX Microanalysis and HTO Analysis // *Ceramic Engineering and Science Proceedings*. 2018. 39(1): 13-27.

Jung et al., 1987 – Jung F., Song M.J., Sachs F. Patch clamp anatomy-high-voltage electron-microscopy of invivo patches // *Biophysical Journal*. 1987. 51(2): A517.

Karu et al., 1996 – Karu T., Kurchikov A., Letokhov V., Mokh V. He-Ne laser radiation influences single channel ionic currents through cell membranes: A patch-clamp study // *Lasers in the Life Sciences*. 1996. 7(1): 35-48.

Karu et al., 1997 – Karu T.I., Kurchikov A., Letokhov V.S., Mokh V. He-Ne laser radiation influence on single-channel ionic currents through cell membranes: a patch-clamp study / *Proc. SPIE*. 1997. 3198: 57-66.

Kawa, 2010a – Kawa K. Monitoring-mode responses to nicotine in the pinealocytes of the rodents: A patch-clamp study combined with electron-microscopy // *Neuroscience Research*. 2010. (68): e351.

Kawa, 2010b – Kawa K. Excitatory effects of nicotine on the pinealocytes of the rodents studied by using patch-clamp techniques and electron-microscopy // *Journal of Physiological Sciences*. 2010. 60(S): S132.

Khovanov et al., 1970 – Khovanov A.I., Pikalov G., Kryvokry I.F. Using a photoelectric colorimeter for counting charged particle tracks on surface of glass detectors // *Soviet Atomic Energy*. 1970. 29(5): 1113.

Kitahara et al., 2011 – Kitahara K., Ishii T., Suzuki J., Bessyo T., Watanabe N. Characterization of defects and stress in polycrystalline silicon thin films on glass substrates by Raman microscopy // *International Journal of Spectroscopy*. 2011(1): 632139.

Koffman et al., 2018 – Koffman E.E., Du J. Combinations of Patch-Clamp and Confocal Calcium Imaging in Acutely Isolated Adult Mouse Amygdala Brain Slices // *Bio-protocol*. 2018. e2963-e2963.

Kong et al., 2016 – Kong D., Cao L., Zhang H., He Q., Jin G. Holographic lensless interference encryption based on single spatial light modulator / In *2016 IEEE 14th International Conference on Industrial Informatics (INDIN)* (pp. 562-566). IEEE, 2016.

Krauss et al., 2018 – Krauss A., Whymark A., Lange J.M. Scanning Electron Microscopy of Guangdong Tektites Exhibiting Silica-Rich Glass Inclusions and Protrusions / In *49th Annual*

Lunar and Planetary Science Conference, 2018 (LPI Contrib. No. 2083, File ID: 1848.pdf. [Electronic resource]. URL: <https://www.hou.usra.edu/meetings/lpsc2018/pdf/1848.pdf>

[Kurobori et al., 2014](#) – Kurobori T., Miyamoto Y., Maruyama Y., Yamamoto T., Sasaki T. A comparative study of optical and radiative characteristics of X-ray-induced luminescent defects in Ag-doped glass and LiF thin films and their applications in 2-D imaging / *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section B: Beam Interactions with Materials and Atoms*. 326: 76-80.

[Kurobori et al., 2015](#) – Kurobori T., Yanagida Y., Chen Y.Q. A three-dimensional imaging detector based on nano-scale silver-related defects in X-and gamma-ray-irradiated glasses. *Japanese Journal of Applied Physics*. 2015. 55(2S): 02BC01.

[Landsberg, Weyl, 1939](#) – Landsberg H., Weyl W. (1939). Measurements of Ultra-Violet Radiation Sums With Photo-Sensitive Glass // *Bulletin of the American Meteorological Society*. 1939. 20(6): 254-256.

[Leblanc et al., 2024](#) – Leblanc O., Hofer M., Sivankutty S., Rigneault H., Jacques L. Interferometric lensless imaging: rank-one projections of image frequencies with speckle illuminations // *IEEE Transactions on Computational Imaging*. 2024. 10: 208-222.

[Lee et al., 2012](#) – Lee S., Chen M., Zhou Z.J. Functional Characterization of Micro-connectomes in the Direction-Selective Circuit by Focal Laser Photolysis and Dual Patch Clamp // *Investigative Ophthalmology & Visual Science*. 2012. 53(14): 6325-6325.

[Lee et al., 2019](#) – Lee H., Baghdasaryan Z., Friedman B., Lee K. Electrical defect imaging of ITO coated glass by optical microscope with microwave heating // *IEEE Access*. 2019. 7: 42201-42209.

[Li et al., 2021a](#) – Li J., Zhang X., Zheng Y., Li F., Shan X., Han Z., Zhu R. Fast fiber mode decomposition with a lensless fiber-point-diffraction interferometer // *Optics Letters*. 2021. 46(10): 2501-2504.

[Li et al., 2021b](#) – Li J., Zhang X., Zheng Y., Li F., Shan X., Han Z., Zhu R. Fast fiber mode decomposition with a lensless fiber-point-diffraction interferometer: publisher's note // *Optics Letters*. 2021. 46(12): 2823-2823.

[Li et al., 2002](#) – Li J., Wang Z.L., Hufnagel T.C. Characterization of nanometer-scale defects in metallic glasses by quantitative high-resolution transmission electron microscopy // *Physical Review B*. 2002. 65(14): 144201.

[Liu, 2012](#) – Liu H. Establishment of patch clamp and laser scanning confocal microscope synchronous real-time control system and its application in study of membranaceous calcium channel // *Academic Journal of Second Military Medical University*. 2012: 123-129.

[Lu et al., 2018](#) – Lu M., le Wang, Z., Wang H., Zhao F., Liu J., Qian S., Zhu Y. Defects scattering imaging system of 20 inch PMTs' glass shell suitable for digital image processing / *Proc. SPIE*. 2018. 10847: 92-101.

[Maki et al., 2010](#) – Maki D., Kobayashi H., Sato F., Murata I., Kato Y., Yamamoto T., Iida T. New radiophotoluminescence glass dosimeter with specialized radiation-sensitive surface layer // *Japanese journal of applied physics*. 2010. 49(11R): 116401.

[Mao et al., 2020](#) – Mao M., Nair A., Augustine G.J. An automated data extraction and classification pipeline to identify a novel type of neuron within the dorsal striatum based on single-cell patch clamp and confocal imaging data // *Data in Brief*. 2020. 32: 106148.

[Marks et al., 1999](#) – Marks D.L., Stack R.A., Brady D.J., Munson Jr, D.C., Brady, R.B. Visible cone-beam tomography with a lensless interferometric camera // *Science*. 1999. 284(5423): 2164-2166.

[Masonkina, Kalnins, 2013](#) – Masonkina M., Kalnins K. Application of ultrasonic imaging technique as structural health monitoring tool for assessment of defects in glass fiber composite structures / *Proc. Civil Eng*. 2013. 13: 180.

[Micó, García, 2012](#) – Micó V., García J. Phase-shifting digital lensless Fourier holography for high numerical aperture in-line interferometric microscopy / In: *Frontiers in Optics*. 2012: FW3A-29. Optica Publishing Group.

[Molnar, Nadler, 1997](#) – Molnar P., Nadler J.V. Mossy fiber-granule cell synapses studied with whole cell patch clamp recording and laser photostimulation // *Soc. Neurosci. Abstr*. 1997. 23: 2155.

[Mubarakmand et al., 1977](#) – Mubarakmand S., Rashid K., Chaudhry P., Khan H.A. Application of glass solid state nuclear track detectors in the measurement of the charged particle fission cross-section of uranium // *Nuclear Instruments and Methods*. 1977. 147(1): 279-281.

Notchenko, Gradov, 2013 – Notchenko A.V., Gradov O.V. Elementary morphometric lab-on-a-chip based on hemocytometric chambers with radiofrequency culture identification and relay of spectrozonal histochemical monitoring // *Visualization, Image Processing and Computation in Biomedicine*. 2013. 2(1): 2013005968.

Oh et al., 2018 – Oh G.H., Kim D.J., Park D.W., Kim H.S., Ji Y.B., Oh S.J. Non-destructive evaluation of defects of glass fiber composite using imaging system based on photo-mixer terahertz technique // *Journal of the Korean Society for Nondestructive Testing*. 2018. 38(1): 1-6.

Orr et al., 2001 – Orr G., Montal M., Thrall B., Colson S., Lu H.P. Single channel patch-clamp recording coupled with linear and nonlinear confocal scanning fluorescence spectroscopy: Towards the simultaneous probing of single-ion channel conformational changes and channel kinetics // *Biophysical Journal*. 2001. 80(1): 151A.

Pajić et al., 2023 – Pajić T., Stevanović K., Todorović N., Lević S., Savić Šević S., Pantelić D., Živić M., Rabasović M.D. Krmpot A.J. Laser nano-surgery of fungal cell wall to enable patch clamping / In: *European Molecular Imaging Meeting: 18th Annual Meeting of the European Society for Molecular Imaging: EMIM 2023; 2023 Mar 14-17; Saltzburg, Austria* (p. 1095). European Society for Molecular Imaging, 2023.

Pajić et al., 2024 – Pajić T., Stevanović K., Todorović N.V., Krmpot A.J., Živić M., Savić Šević S., Lević S.M., Stanić M., Pantelić D., Jelenković B., Rabasović M.D. In vivo femtosecond laser nanosurgery of the cell wall enabling patch-clamp measurements on filamentous fungi // *Microsystems & nanoengineering*. 2024. 10(1): 47.

Pamukcu et al., 2011 – Pamukcu A.S., Gualda G.A., Rivers M.L., Anderson A.T. 3D imaging of glass inclusions in quartz using propagation phase-contrast X-ray tomography: Application to the Bishop Tuff (California, USA). In *AGU Fall Meeting Abstracts*, 2011 (pp. V11A-2490). BIBC CODE: 2011AGUFM.V11A2490P [Electronic resource]. URL: <https://ui.adsabs.harvard.edu/abs/2011AGUFM.V11A2490P/abstract>

Pantano et al., 1999 – Pantano C.G., Berry J., Winograd N. Chemical imaging of glass surfaces by mass spectrometry // *Glass Researcher*. 1999. 9(1): 22-23.

Pfleging et al., 2008 – Pfleging W., Bruns M., Przybylski M., Welle A., Wilson S. Patterning of polystyrene by UV-laser radiation for the fabrication of devices for patch clamping / *Proc. SPIE*. 2008. 6880: 114-124.

Plattner et al., 1992 – Plattner H., Knoll G., Erxleben C. The mechanics of biological membrane fusion merger of aspects from electron microscopy and patch-clamp analysis // *Journal of Cell Science*. 1992. 103(3): 613-618.

Remillard, Yuan, 2004 – Remillard C.V., Yuan J.X.J. Measurement of Ionic Currents and Intracellular Ca²⁺ Using Patch Clamp and Fluorescence Microscopy Techniques. In: *Hypoxic Pulmonary Vasoconstriction: Cellular and Molecular Mechanisms* (pp. 569-582). Boston, MA: Springer US, 2004.

Reschke et al., 1993 – Reschke T.J., Baeumer S.M., Kross J. Detection and Characterization of Local Defects on Polished Glass Surfaces Using Differential Interference Contrast Microscopy / *Proc. SPIE*. 1993: 922-923.

Roberts et al., 1997 – Roberts S.K., Dixon G.K., Dunbar S.J., Sanders D. Laser ablation of the cell wall and localized patch clamping of the plasma membrane in the filamentous fungus *Aspergillus*: characterization of an anion-selective efflux channel // *The New Phytologist*. 1997. 137(4): 579-585.

Robinson et al., 2005 – Robinson T., Cross D., Blakstvedt A., Chan C., Soykan O. In vitro action potential measurement using voltage sensitive dyes: an alternative to patch clamp analysis // *Journal of Molecular and Cellular Cardiology*. 2005. 38(5): 863.

Rouse, Kiyohara, 1985 – Rouse C.G., Kiyohara P.K. Characterization of glasses and glass defects by scanning electron microscopy / In: *Proceedings of the Latin American Technical Symposium on Glass Manufacturing*, 1985: 5005.

Sauer et al., 2017 – Sauer D., Jackson J., Durfee D. Progress on developing an MRI analog lensless imaging technique using laser interference patterns // *Bulletin of the American Physical Society*. 2017. 62(17): Abstract ID BAPS.2017.4CF.G1.14.

Shan et al., 2024 – Shan M., Guo J., Zhong Z., Liu B., Yu L., Liu L. Measurement of internal defects in Quartz glass using in-line digital holographic microscopy / In *Digital Holography and Three-Dimensional Imaging*, 2024: W4A-16. Optica Publishing Group.

[Sheoran et al., 2009](#) – Sheoran G., Anand A., Shakher C. Lensless Fourier transform digital holographic interferometer for diffusivity measurement of miscible transparent liquids // *Review of scientific instruments*. 2009. 80(5): 053106.

[Singh, Kaur Sandhu, 2006](#) – Singh S., Kaur Sandhu A. Gamma-ray-induced modifications in microscopic glass slide used as a track detector // *Radiation Effects & Defects in Solids*. 2006. 161(4): 235-239.

[Singh, Virk, 1988](#) – Singh G., Virk H.S. Annealing of heavy ion radiation damage in soda glass detector // *International Journal of Radiation Applications and Instrumentation. Part D. Nuclear Tracks and Radiation Measurements*. 1988. 15(1-4): 253-256.

[Singh, Virk, 1989](#) – Singh G., Virk H.S. Activation energy for the annealing of heavy ion radiation damage in a soda glass detector // *International Journal of Radiation Applications and Instrumentation. Part D. Nuclear Tracks and Radiation Measurements*. 1989. 16(4): 279-281.

[Singh, Virk, 1990a](#) – Singh G., Virk H.S. Thermal effects of heavy ion radiation damage in glass track detectors // *Radiation effects and defects in solids*. 1990. 114(3): 219-224.

[Singh, Virk, 1990b](#) – Singh G., Virk H.S. Radiation damage annealing models in glass detectors // *Radiation effects and defects in solids*. 1990. 114(1-2): 51-62.

[Singh et al, 2007](#) – Singh S., Sandhu A.K., Prasher S., Pandey O.P. Effect of neutron irradiation on etching, optical and structural properties of microscopic glass slide used as a solid state nuclear track detector // *Radiation measurements*. 2007. 42(8): 1328-1331.

[Sivankutty et al., 2019](#) – Sivankutty S., Kogan D., Tsvirkun V., Bouwmans G., Andresen E., Guillon M., Alonso M., Oron D., Rigneault H. Non-interferometric calibration of the phase transmission matrix in lensless endoscopy (conference presentation) / *Proc. SPIE*. 2019. 10886: 108860H.

[Smirnov, 1987a](#) – Smirnov A.P. Lensless optical Fourier transformation by means of a hole mask and the method of interferogram analysis in a modified Talbot interferometer // *Optics and Spectroscopy*. 1987. 62(3): 380-384.

[Smirnov, 1987b](#) – Smirnov A.P. Optical Fourier transformation by lensless method with perforated mask and with modified Talbot interferometer for analysis of interferograms // *JPRS Report Science Technology USSR Space*. 1987. 3: 23.

[Spitzer-Aronson, Peyches, 1975](#) – Spitzer-Aronson M., Peyches M.I. Selective diffusion of copper and arsenic in medieval red stained glass. *Comptes Rendus Hebdomadaires Des Seances De L Academie Des Sciences Serie C*. 1975. 280(22): 1343-1346.

[Spitzer-Aronson, 1975](#) – Spitzer-Aronson M. Etude de vitraux rouge médiévaux à l'aide de microscope optique, microscope à balayage avec image par electrons rétrodiffusés et microsonde électronique à rayons X // *Verres et Réfractaires*. 1975. 29: 145-153.

[Spitzer-Aronson, 1976](#) – Spitzer-Aronson M. Contribution à la connaissance des vitraux du Moyen Age // *Verres Refractaires*. 1976. 30(1): 56-61.

[Spitzer-Aronson, 1977a](#) – Spitzer-Aronson M. Vers une meilleure connaissance d'un métier d'art médiéval: étude de plusieurs procédés modernes pour reproduire des verres rouges feuilletés des vitraux du Moyen Age // *Verres réfract.* 1977. 31(1): 25-31.

[Spitzer-Aronson, 1977b](#) – Spitzer-Aronson M. Contribution à la connaissance des vitraux du Moyen-Age: la présence du plomb et du cuivre et leur diffusion sélective dans les vitraux rouges des cathédrales françaises // *Comptes-rendus de l'Académie des sciences de Paris*. 1977. 281: 207-209.

[Spitzer-Aronson, 1977c](#) – Spitzer-Aronson M. Diffusion sélective du cuivre et de l'arsenic dans les vitraux rouges médiévaux: étude quantitative de la concentration du cuivre pour des "plaqués" de techniques différentes // *Comptes-rendus de l'Académie des sciences de Paris*. 1977. 280: 1343-1346.

[Spitzer-Aronson, 1977d](#) – Spitzer-Aronson M. La répartition " initiale" du cuivre, retrouvée et calculée, dans certains vitraux rouges médiévaux // *Comptes-rendus de l'Académie des sciences de Paris*. 1977. 285: 269-272.

[Spitzer-Aronson, 1977e](#) – Spitzer-Aronson M. Calculs sur images X de corrosion des vitraux, des taux d'élimination par élément, entre la surface corrodée et le verre intact sous-jacent // *Comptes-rendus de l'Académie des sciences de Paris*. 1977. 285: 41-43.

[Spitzer-Aronson, 1977f](#) – Spitzer-Aronson M. Ion microanalysis: a new method for the study of glasses by mass spectrometry and ion imaging [Communication présentée lors du XIe congrès international sur le verre, Prague, juillet 1977. Description physique 11 p. : ill. en noir et blanc].

Laboratoire de de Recherche des Monuments Historiques, Champs-sur-Marne. [Electronic resource]. URL: <https://www.lrmh.fr/Default/doc/SYRACUSE/64760/ion-microanalysis-a-new-method-for-the-study-of-glasses-by-mass-spectrometry-and-ion-imaging-prague>

[Spitzer-Aronson, 1978](#) – *Spitzer-Aronson M.* Nouvelles méthodes non destructives destinées à la recherche fondamentale sur les vitraux médiévaux // *Silicates industriels*. 1978. (10): 213-218.

[Spitzer-Aronson, 1979](#) – *Spitzer-Aronson M.* Précisions sur les techniques medievaux des vitraux par des recherches en physique // *Verres et Refract.* 1979. 33(1): 26-34.

[Spitzer-Aronson, 1980a](#) – *Spitzer-Aronson M.* Techniques d'étude des vitraux médiévaux par coordination de plusieurs appareils de physique // *Les Dossiers de l'archéologie*. 1980. (40-46): 40.

[Spitzer-Aronson, 1980b](#) – *Spitzer-Aronson M.* A new method for the study of flat glasses accurate microstructure implications of trace elements variation on the structure of glasses // *Journal of Non-Crystalline Solids*. 1980. 42(1-3): 601-606.

[Spitzer-Aronson, 1981](#) – *Spitzer-Aronson M.* Cristallisation dans des verres de vitraux medievaux // *C.R. Seances Acad. Sci., Ser. 2*. 1981. 292(8): 649-652.

[Spitzer-Aronson, 1989](#) – *Spitzer-Aronson M.* Analytical and historical research on medieval multi-layered copper-red glass / In: *Archaeometry: proceedings of the 25th International Symposium*, 1989: 671-676.

[Spitzer-Aronson, 1995](#) – *Spitzer-Aronson M.* A New Parallel Research on Glass with Ion Imaging and Electron Microprobe / In: *International Congress on Glass 17*. Chinese Ceramic Society, 1995: 544-547.

[Stevanović et al., 2021](#) – *Stevanović K., Pajić T., Todorović N., Krmpot A.J., Živić M., Rabasović M.D.* Laser microsurgery of filamentous fungi: The latest protocol enabling patch-clamp amenable protoplasts / In *VIII International School and Conference on Photonics PHOTONICA2021 & HEMMAGINERO workshop* (p. 104). Belgrade: Institute of Physics, 2021.

[Swaenen et al., 2010](#) – *Swaenen M., Stefaniak E.A., Frost R., Worobiec A., Van Grieken R.* Investigation of inclusions trapped inside Libyan desert glass by Raman microscopy // *Analytical and bioanalytical chemistry*. 2010. 397: 2659-2665.

[Świontek et al., 2021](#) – *Świontek S., Środa M., Gieszczyk W.* Ceramics, glass and glass-ceramics for personal radiation detectors // *Materials*. 2021. 14(20): 5987.

[Tang et al., 1997](#) – *Tang S.K., Vassiliev V.Y., Mridha S., Chan L.* Investigation of Borophosphosilicate Glass Defects with the Atomic Force Microscope / In: *Papers, XLIV Int. Symp. Am. Vac. Soc.* 1997: 189.

[Taylor, Brownlee, 1992](#) – *Taylor A.R., Brownlee C.* Localized patch clamping of plasma membrane of a polarized plant cell: Laser Microsurgery of the *Fucus spiralis* rhizoid cell wall // *Plant Physiology*. 1992. 99(4): 1686.

[Tepichin, Ibarra, 1995](#) – *Tepichin E., Ibarra J.* Polarization sensitive lensless Lau interferometer // *Optics communications*. 1995. 119(5): 471-478.

[Trotier et al., 1998](#) – *Trotier D., Døving K.B., Ore K., Shalchian-Tabrizi C.* Scanning electron microscopy and gramicidin patch clamp recordings of microvillous receptor neurons dissociated from the rat vomeronasal organ // *Chemical senses*. 1998. 23(1): 49-57.

[Upadhye et al., 2011](#) – *Upadhye K.V., Candiello J.E., Davidson L.A., Lin H.* Whole-cell electrical activity under direct mechanical stimulus by AFM cantilever using planar patch clamp chip approach // *Cellular and molecular bioengineering*. 2011. 4: 270-280.

[Valdrè, 1991](#) – *Valdrè G.* Scanning electron microscopy and X-ray energy dispersive spectroscopy studies of defects in lead glasses // *Microscopy Microanalysis Microstructures*. 1991. 2(1): 97-106.

[Valdrè, 1992](#) – *Valdrè G.* Defects in glasses examined by backscattered electron imaging and by X-ray wavelength and energy dispersive spectroscopy // *X-Ray Spectrometry*. 1992. 21(3): 105-109.

[van der Voort, 2016](#) – *van der Voort N.T.M.* Interferometric illumination ptychography (Master's thesis, Utrecht University).

[Varghese et al., 2018](#) – *Varghese A., Das B., Singh R.K.* Highly stable lens-less digital holography using cyclic lateral shearing interferometer and residual decollimated beam // *Optics Communications*. 2018. 422: 3-7.

[Virgoe, 1967](#) – *Virgoe J.* Examination of crystalline inclusions in glass by reflected light microscopy // *Mineralogical Magazine - Journal of the Mineralogical Society*. 1967. 36(277): R16.

Wu et al., 2012 – Wu L., Li Z., Wang X., Shen X., Song B., Dai S., Xu T. Internal macroscopic defects perspective imaging detection system for infrared chalcogenide glasses // *Zhongguo Jiguang (Chinese Journal of Lasers)*. 2012. 39(1): 0108001-5.

Wu et al., 2014 – Wei W., Lei Z., Suya F. Using fluorescent microscopy method to study subsurface defects in Nd-doped phosphate laser glasses // *Chinese J Lasers*. 2014. 41(9): 0906001.

Xia et al., 2008 – Xia J., Kong W., Zhu Y., Zhou Y., Zhang Y., Guo C. Spontaneous firing properties of rat medial vestibular nucleus neurons in brain slices by infrared visual patch clamp technique // *Frontiers of Medicine in China*. 2008. 2: 264-268.

Yang et al., 2018 – Yang Z., Dou J., Yuan Q., Gao Z. Lensless phase-shifting point diffraction interferometer for spherical mirror measurement // *Optics and Lasers in Engineering*. 2018. 107: 119-126.

Yao et al., 2009 – Yao J., Liu B., Qin F. Rapid temperature jump by infrared diode laser irradiation for patch-clamp studies // *Biophysical Journal*. 2009. 96(9): 3611-3619.

Zanini et al., 2023 – Zanini R., Franceschin G., Roman A.A.M., Moretto L.M., Cattaruzza E., Traviglia A. Laser Ablation ICP-MS elemental imaging to investigate corroded surfaces of ancient glass / In: *ATTI del XXVII Congresso Nazionale della Società Chimica Italiana* (Vol. 1). Società Chimica Italiana, 2023.

Zanini et al., 2023 – Zanini R., Roman M., Cattaruzza E., Traviglia A.. High-speed and high-resolution 2D and 3D elemental imaging of corroded ancient glass by laser ablation-ICP-MS // *Journal of Analytical Atomic Spectrometry*. 2023. 38(4): 917-926.

Zavelsky et al., 2000 – Zavelsky V.O., Salova T.P., Epelbaum M.B., Bezmen N.I., Zavelskaya L.N. State of nondissociated molecules of water inclusions in aluminosilicate glasses (1H NMR and electron microscopy study) // *Physics and chemistry of glasses*. 2000. 41(4): 182-187.

Zhang et al., 2016 – Zhang J., Wang J., Han X., Cui H.L., Shi C., Zhang J., Shen Y. Noncontact detection of Teflon inclusions in glass-fiber-reinforced polymer composites using terahertz imaging // *Applied Optics*. 2016. 55(36), 10215-10222.

Zhu et al., 2016 – Zhu W., Chen L., Zheng D., Yang Y., Han Z., Li J. Lensless reflective point diffraction interferometer // *Applied Optics*. 2016. 55(19): 5158-5163.

Zhu et al., 2017 – Zhu W., Chen L., Liu Y., Ma Y., Zheng D., Han Z., Li J. (2017). Defect detection based on a lensless reflective point diffraction interferometer // *Applied Optics*. 2017. 56(26): 7435-7441.

References

Adamovich, 2024 – Adamovich, E.D. (2024). Towards Lens-Less Qualimetry of Pulled Patch Pipettes for Molecular Cytology, Personalized and Molecular Medicine and Theranostics (Review). *European Journal of Medicine*. 12(1): 3-36.

Aleksandrov, Gradov, 2014 – Aleksandrov, P.L., Gradov, O.V. (2014). Konventsionnye patch-klamp-avtomaty s obratnoi svyaz'yu dlya mnogofaktornykh laboratorii na chipe s ispol'zovaniem interfeisov vychisitel'nykh mashin real'nogo vremeni [Conventional patch-clamp automata with feedback for multifactorial labs-on-a-chip using real-time computing interfaces.]. *Biotekhnosfera*. 3(33): 13-17. [in Russian]

Alexandrov et al. 2015 – Alexandrov, P., Notchenko, A., Gradova, M., Gradov, O. (2015). Simultaneous *in situ* detection of the optical fluorescence, fluorescence recovery kinetics after photobleaching & membrane ion flux on the electrophysiological lab-on-a-chip. *American Journal of Optics and Photonics* 3(5): 118–122.

Alexandrov et al., 2015 – Alexandrov, P., Notchenko, A., Gradova, M., Gradov, O. (2015). Simultaneous *in situ* detection of the optical fluorescence, fluorescence recovery kinetics after photobleaching & membrane ion flux on the electrophysiological lab-on-a-chip. *American Journal of Optics and Photonics*. 3(5): 118–122.

Boonzajer Flaes, Witte, 2018 – Boonzajer Flaes, D. E., Witte, S. (2018). Interference probe ptychography for computational amplitude and phase microscopy. *Optics Express*. 26(24): 31372-31390.

Bowden et al., 1990 – Bowden, M., Dixon, N. M., Gardiner, D. J., Carter, S.F. (1990). Raman microscope analysis of gaseous and solid inclusions in fluoride glass optical fibres. *Journal of Materials Science: Materials in Electronics*. (1): 34-38.

Caldas, Quezada, 2002 – Caldas, L.V.E., Quezada, V.A.C. (2002). Influence of thermal treatments on the response decay of glass radiation detectors. *Radiation protection dosimetry*. 100 (1-4): 433-436.

De Gruttola, 2024 – De Gruttola, D. (2024). Particle detectors based on glass: toward the Multigap Resistive Plate Chambers. *The European Physical Journal Plus*. 139(4): 1-14.

Farid, 1985a – Farid, S.M. (1985). Track recording properties of soda glass detector for accelerated heavy ions. *Pramana*. 25: 29-41.

Farid, 1985b – Farid, S.M. (1985). Annealing of $^{13254}\text{Xe}$ -ion tracks in a soda glass track detector. *The International journal of applied radiation and isotopes*. 36(6): 455-462.

Fenn, 2002 – Fenn, P.M. (2002). Applications of Electron Microscopy for Defect Understanding in the Glass Industry. In: *Industrial Applications Of Electron Microscopy* (pp. 147-166). CRC Press.

Florentin et al., 2018 – Florentin, L., Deloule, E., Faure, F., Mangin, D. (2018). Chemical 3D-imaging of glass inclusions from Allende (CV3) olivine via SIMS: A new insight on chondrule formation conditions. *Geochimica et Cosmochimica Acta*. 230: 83-93.

Garg et al., 1989 – Garg, A.K., Sharma, S.K., Chander, S., Kumar, S., Sharma, A.P. (1989). Study of thermal annealing characteristics of ^{5022}Ti ion tracks in a soda glass track detector. *International Journal of Radiation Applications and Instrumentation. Part D. Nuclear Tracks and Radiation Measurements*. 16(4): 275-277.

Ghosh et al., 1997 – Ghosh, S., Sinha, D., Mawar, A. K., Singh, S., Srivastava, A., Dwivedi, K.K., Brandt, R. (1997). Mean ranges of ^{161}Dy in Hostaphan and Kapton and maximum etchable track lengths in ZnP-glass detector. *Radiation measurements*. 28(1-6): 41-44.

Gibim et al., 1997 – Gibim, M. H., Gabas, S. G., Kahn, H. (1997). Study of glass defects by SEM-EDS. *Acta Microscopica*. 6: 108-109.

Gradov i dr., 2017 – Gradov, O.V., Nasirov, F.A., Skrynnik, A.A., Yablokov, A.G. (2017). Prostoe metodicheskoe prisposoblenie dlya mikroin"ektornykh manipulyatsii i izmerenii na elektromorfologicheskom chipe pri mikrointerferometricheskom kontrole interfeisnykh i membrannykh protsessov na diapazone tolshchin ot 50 do 10000 angstrom pod raznymi uglami [A simple methodical device for microinjection manipulations and measurements on an electromorphological chip during microinterferometric control of interface and membrane processes in the thickness range from 50 to 10,000 angstroms at different angles]. *Morfologiya*. 11(4): 7-17. [in Russian]

Gradov i dr., 2018a – Gradov, O.V., Nasirov, F.A., Yablokov, A.G. (2018). Bezlinzovaya gemotsitometriya na chipe so vtorychnym preobrazovaniem signalov [Lensless hemocytometry on a chip with secondary signal/image conversion of cells within a non-canonical photometric model]. *Izobrazhenii kletok v ramkakh nekanonicheskoi fotometricheskoi modeli. Fotonika*. (7(75)): 716-729. [in Russian]

Gradov i dr., 2018b – Gradov, O.V., Nasirov, F.A., Goncharova, A.A., Fishchenko, V.K., Yablokov, A.G. (2018). Tekhnologii bezlinzovoi golograficheskoi trikhoskopii i trikhometrii na chipe: mikrointerferentsionnye, 2D-Fur'e-spektral'nye (integral'nye chastotnye i prostranstvennye) i korrelograficheskie tekhniki v klinicheskoi trikhologii [Technologies of lensless holographic trichoscopy and trichometry on a chip: microinterference, 2D-Fourier-spectral (integral frequency and spatial) and correlographic techniques in clinical trichology]. *Morfologiya*. 12(2): 7-21. [in Russian]

Gradov i dr., 2018c – Gradov, O.V., Nasirov, F.A., Goncharova, A.A., Fishchenko, V.K., Yablokov, A.G. (2018). Bezlinzovaya golograficheskaya trikhoskopiya i trikhometriya [Reprintnoe izdanie] [Lens-free holographic trichoscopy and trichometry [Reprint edition]]. *Vestnik trikhologii (Internet-zhurnal Soyuzha Trikhologov)*. [Electronic resource]. <http://www.trichology.pro/articles/vra-cham-spetsialistam/bezlinzovaya-golograficheskaya-trikhoskopiya-i-trikhometriya.php> [in Russian]

Gradov, 2014a – Gradov, O.V. (2014). Telemetricheskie laboratorii na chipe kak sovremennye al'ternativy pochvennykh kamer i plastin obrastaniya Rossi-Kholodnogo dlya izucheniya pochvennoi mikroflory [Telemetry laboratories on a chip as modern alternatives to soil chambers and Rossi-Kholodny fouling plates for studying soil microflora]. *Referativnyi zhurnal VINITI ser. Biologiya. (1(Svodnyi tom, razdel 04V. Botanika))*: 14.01–04V8.262. [in Russian]

Gradov, 2014b – Gradov, O.V. (2014). Mnogofaktornoe fiziko-biokhimicheskoe kartirovanie mikrobioma pochvy metodom monitoringa ekspozitsii laboratorii na chipe v mikrotonnel'nykh

ustroistvakh [Multifactorial physical and biochemical mapping of soil microbiome by monitoring exposures of laboratories on a chip in microtunnel devices]. *Referativnyi zhurnal VINITI ser. Biologiya*. (1(Svodnyi tom, razdel 04V. Botanika)): 14.01–04V8.263. [in Russian]

[Gradov, 2016](#) – *Gradov, O.V.* (2016). Radioavtograficheski-detektiruyushchii lokal'nyi patch-klamp kak metod onkotsitologicheskogo analiza [Radioautographic-detecting local patch-clamp as a method of oncocytopathological analysis]. *Evrasiiskii onkologicheskii zhurnal*. 4(2): 637. [in Russian]

[Gradov, 2019](#) – *Gradov, O.V.* (2019). Analog non-coherent spectrozonal lens-less microscopy of Hydra sp. (phylum Cnidaria, class Hydrozoa) with combined raster scan and cross-band shifting. *Central European Journal of Zoology*. 5(1): 24-45.

[Gradov, Notchenko, 2012](#) – *Gradov, O.V., Notchenko, A.V.* (2012). Zagal'nodostupni morfologiskokhimichni laboratorii na chipi na bazi sitok rakhunkovikh kamer riznikh tipiv: mikroflyuidni morfodinamichni robochi stantsi [Freely accessible morphohistochemical laboratories on a chip based on grids of different types of chamber chambers: microfluidic morphodynamic working stations]. *Morfologiya*. 6(1): 5-19. [in Ukrainian]

[Gradov, Notchenko, 2016a](#) – *Gradov, O.V., Notchenko, A.V.* (2016). Printsipy sozdaniya i ekspluatatsii diy-laboratorii na chipe dlya avtomaticheskogo monitoringa etologii lesnykh murav'ev v sravnenii s matematicheskoi model'yu [Principles of creating and operating DIY laboratories on a chip for automatic monitoring of the ethology of forest ants in comparison with a mathematical model]. *Referativnyi zhurnal VINITI ser. Biologiya*. (8(Svodnyi tom, razdel 04I. Zoologiya)): 116–Ref. № 16.08–04I9.5. [in Russian]

[Gradov, Notchenko, 2016b](#) – *Gradov, O.V., Notchenko, A.V.* (2016). O vozmozhnosti sozdaniya telemetricheskikh ustanovok dlya avtomaticheskogo monitoringa etologii lesnykh murav'ev v sopostavlenii s matematicheskoi model'yu [On the possibility of creating telemetry installations for automatic monitoring of forest ant ethology in comparison with a mathematical model]. *Referativnyi zhurnal VINITI ser. Biologiya*, (8(Svodnyi tom, razdel 04I. Zoologiya)): 131-Ref. № 16.08–04I9.175. [in Russian]

[Granero et al., 2013](#) – *Granero, L., Ferreira, C., García, J., Micó, V.* (2013). Lensless single-exposure super-resolved interferometric microscopy. *Proc. SPIE*. 8788: 55-62.

[Granero et al., 2016](#) – *Granero, L., Ferreira, C., Zalevsky, Z., García, J., Micó, V.* (2016). Single-exposure super-resolved interferometric microscopy by RGB multiplexing in lensless configuration. *Optics and Lasers in Engineering*. 82: 104-112.

[Helm et al., 2009](#) – *Helm, P.J., Reppen, T., Heggelund, P.* (2009). A setup for combined multiphoton laser scanning microscopic and multi-electrode patch clamp experiments on brain slices. *Proc. SPIE*. 7183: 506-513.

[Henriksen et al., 1996](#) – *Henriksen, G.H., Taylor, A.R., Brownlee, C., Assmann, S.M.* (1996). Laser microsurgery of higher plant cell walls permits patch-clamp access. *Plant physiology*. 110(4): 1063-1068.

[Henriksen, Assmann, 1995](#) – *Henriksen, G., Assmann, S.* (1995). Laser microsurgery of the cell-wall facilitates patch-clamp access to the guard-cell plasma-membrane. *Journal of Cellular Biochemistry*. (S): 151.

[Henriksen, Assmann, 1997](#) – *Henriksen, G.H., Assmann, S.M.* (1997). Laser-assisted patch clamping: a methodology. *Pflügers Archiv*. 433: 832-841.

[Hille et al., 1990](#) – *Hille, R., Bueker, H., Haesing, F.W.* (1990). Glass fibers as radiation detectors. *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section A: Accelerators, Spectrometers, Detectors and Associated Equipment*. 299(1-3): 217-221.

[Hou et al., 2018](#) – *Hou, L., Wang, H., Sticker, M., Stoppe, L., Wang, J., Xu, M.* (2018). Adaptive background interference removal for Fourier ptychographic microscopy. *Applied optics*. 57(7): 1575-1580.

[Howell et al., 2019](#) – *Hovell, T., Matharu, R. S., Justham, L., Petzing, J., Kinnell, P.* (2019, January). The Performance of a Lensless Fibre-Deployed Low Coherence Interferometer for In-Situ Measurements. In: *13th International Conference and Exhibition on Laser Metrology, Machine Tool, CMM and Robotic Performance* (pp. 22-30).

[Howell et al., 2020](#) – *Hovell, T., Matharu, R. S., Petzing, J., Justham, L., Kinnell, P.* (2020). Lensless fiber-deployed low-coherence interferometer for in-situ measurements in nonideal environments. *Optical Engineering*. 59(1): 014113-014113.

Hüser et al., 1996 – Hüser, J., Lipp, P., Niggli, E. (1996). Confocal microscopic detection of potential-sensitive dyes used to reveal loss of voltage control during patch-clamp experiments. *Pflügers Archiv*. 433: 194-199.

Hyyti et al., 2017 – Hyyti, J., Escoto, E., Steinmeyer, G., Witting, T. (2017). Interferometric time-domain ptychography for ultrafast pulse characterization. *Optics Letters*. 42(11): 2185-2188.

Jackson, Durfee, 2018 – Jackson, J., Durfee, D. (2018). Lensless Single Pixel Imaging with Laser Interference Patterns. *Microscopy and Microanalysis*. 24(S1): 1366-1367.

Jezikova et al., 2018 – Jezikova, M., Janos, F., Ullrich, J., Muijsenberg, E. (2018). Glass Defects Identification Using a Mass Spectrometer, SEM-EDX Microanalysis and HTO Analysis. *Ceramic Engineering and Science Proceedings*. 39(1): 13-27.

Jung et al., 1987 – Jung, F., Song, M. J., Sachs, F. (1987). Patch clamp anatomy-high-voltage electron-microscopy of invivo patches. *Biophysical Journal*. 51(2): A517.

Karu et al., 1996 – Karu, T., Kurchikov, A., Letokhov, V., Mokh, V. (1996). He-Ne laser radiation influences single channel ionic currents through cell membranes: A patch-clamp study. *Lasers in the Life Sciences*. 7(1): 35-48.

Karu et al., 1997 – Karu, T.I., Kurchikov, A., Letokhov, V. S., Mokh, V. (1997). He-Ne laser radiation influence on single-channel ionic currents through cell membranes: a patch-clamp study. *Proc. SPIE*. 3198: 57-66.

Kawa, 2010a – Kawa, K. (2010). Monitoring-mode responses to nicotine in the pinealocytes of the rodents: A patch-clamp study combined with electron-microscopy. *Neuroscience Research*. (68): e351.

Kawa, 2010b – Kawa, K. (2010). Excitatory effects of nicotine on the pinealocytes of the rodents studied by using patch-clamp techniques and electron-microscopy. *Journal of Physiological Sciences*. 60(S): S132.

Khovanov et al., 1970 – Khovanov, AI, Pikalov, G., Kryvokry, IF. (1970). Using a photoelectric colorimeter for counting charged particle tracks on surface of glass detectors. *Soviet Atomic Energy*. 29(5): 1113.

Kitahara et al., 2011 – Kitahara, K., Ishii, T., Suzuki, J., Bessyo, T., Watanabe, N. (2011). Characterization of defects and stress in polycrystalline silicon thin films on glass substrates by Raman microscopy. *International Journal of Spectroscopy*. 2011(1): 632139.

Koffman et al., 2018 – Koffman, E. E., Du, J. (2018). Combinations of Patch-Clamp and Confocal Calcium Imaging in Acutely Isolated Adult Mouse Amygdala Brain Slices. *Bio-protocol*. e2963-e2963.

Kong et al., 2016 – Kong, D., Cao, L., Zhang, H., He, Q., Jin, G. (2016, July). Holographic lensless interference encryption based on single spatial light modulator. In: *2016 IEEE 14th International Conference on Industrial Informatics (INDIN)* (pp. 562-566). IEEE.

Krauss et al., 2018 – Krauss, A., Whymark, A., Lange, J.M. (2018, March). Scanning Electron Microscopy of Guangdong Tektites Exhibiting Silica-Rich Glass Inclusions and Protrusions. In: *49th Annual Lunar and Planetary Science Conference (LPI Contrib. No. 2083, File ID: 1848.pdf*. [Electronic resource]. URL: <https://www.hou.usra.edu/meetings/lpsc2018/pdf/1848.pdf>

Kurobori et al., 2014 – Kurobori, T., Miyamoto, Y., Maruyama, Y., Yamamoto, T., Sasaki, T. (2014). A comparative study of optical and radiative characteristics of X-ray-induced luminescent defects in Ag-doped glass and LiF thin films and their applications in 2-D imaging. *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section B: Beam Interactions with Materials and Atoms*. 326: 76-80.

Kurobori et al., 2015 – Kurobori, T., Yanagida, Y., Chen, Y.Q. (2015). A three-dimensional imaging detector based on nano-scale silver-related defects in X-and gamma-ray-irradiated glasses. *Japanese Journal of Applied Physics*. 55(2S): 02BC01.

Landsberg & Weyl, 1939 – Landsberg, H., Weyl, W. (1939). Measurements of Ultra-Violet Radiation Sums With Photo-Sensitive Glass. *Bulletin of the American Meteorological Society*. 20(6): 254-256.

Leblanc et al. 2024 – Leblanc, O., Hofer, M., Sivankutty, S., Rigneault, H., Jacques, L. (2024). Interferometric lensless imaging: rank-one projections of image frequencies with speckle illuminations. *IEEE Transactions on Computational Imaging*. 10: 208-222.

Lee et al., 2012 – Lee, S., Chen, M., Zhou, Z.J. (2012). Functional Characterization of Microconnectomes in the Direction-Selective Circuit by Focal Laser Photolysis and Dual Patch Clamp. *Investigative Ophthalmology & Visual Science*. 53(14): 6325-6325.

Lee et al., 2019 – Lee, H., Baghdasaryan, Z., Friedman, B., Lee, K. (2019). Electrical defect imaging of ITO coated glass by optical microscope with microwave heating. *IEEE Access*. 7: 42201-42209.

Li et al., 2021a – Li, J., Zhang, X., Zheng, Y., Li, F., Shan, X., Han, Z., Zhu, R. (2021). Fast fiber mode decomposition with a lensless fiber-point-diffraction interferometer. *Optics Letters*. 46(10): 2501-2504.

Li et al., 2021b – Li, J., Zhang, X., Zheng, Y., Li, F., Shan, X., Han, Z., Zhu, R. (2021). Fast fiber mode decomposition with a lensless fiber-point-diffraction interferometer: publisher's note. *Optics Letters*. 46(12): 2823-2823.

Li et al., 2022 – Li, J., Wang, Z. L., Hufnagel, T.C. (2002). Characterization of nanometer-scale defects in metallic glasses by quantitative high-resolution transmission electron microscopy. *Physical Review B*. 65(14): 144201.

Liu, 2012 – Liu, H. (2012). Establishment of patch clamp and laser scanning confocal microscope synchronous real-time control system and its application in study of membranaceous calcium channel. *Academic Journal of Second Military Medical University*. 123-129.

Lu et al., 2018 – Lu, M., le Wang, Z., Wang, H., Zhao, F., Liu, J., Qian, S., Zhu, Y. (2018). Defects scattering imaging system of 20 inch PMTs' glass shell suitable for digital image processing. *Proc. SPIE*. 10847: 92-101.

Maki et al., 2010 – Maki, D., Kobayashi, H., Sato, F., Murata, I., Kato, Y., Yamamoto, T., Iida, T. (2010). New radiophotoluminescence glass dosimeter with specialized radiation-sensitive surface layer. *Japanese journal of applied physics*. 49(11R): 116401.

Mao et al., 2020 – Mao, M., Nair, A., Augustine, G.J. (2020). An automated data extraction and classification pipeline to identify a novel type of neuron within the dorsal striatum based on single-cell patch clamp and confocal imaging data. *Data in Brief*. 32: 106148.

Marks et al., 1999 – Marks, D.L., Stack, R.A., Brady, D.J., Munson Jr, D.C., Brady, R.B. (1999). Visible cone-beam tomography with a lensless interferometric camera. *Science*. 284(5423): 2164-2166.

Masonkina, Kalnins, 2013 – Masonkina, M., Kalnins, K. (2013). Application of ultrasonic imaging technique as structural health monitoring tool for assessment of defects in glass fiber composite structures. *Proc. Civil Eng*. 13: 180.

Micó, García, 2012 – Micó, V., García, J. (2012, October). Phase-shifting digital lensless Fourier holography for high numerical aperture in-line interferometric microscopy. In: *Frontiers in Optics* (pp. FW3A-29). Optica Publishing Group.

Molnar, Nadler, 1997 – Molnar, P., Nadler, J.V. (1997). Mossy fiber-granule cell synapses studied with whole cell patch clamp recording and laser photostimulation. *Soc. Neurosci. Abstr*. 23: 2155.

Mubarakmand et al., 1977 – Mubarakmand, S., Rashid, K., Chaudhry, P., Khan, H.A. (1977). Application of glass solid state nuclear track detectors in the measurement of the charged particle fission cross-section of uranium. *Nuclear Instruments and Methods*. 147(1): 279-281.

Nasirov i dr., 2018 – Nasirov, F.A., Yablokov, A.G., Gradov, O.V. (2018). Registratsiya preparata semennykh kanal'tsev metodami bezlinzovoi lazernoi proektionnoi (golograficheskoi) mikroskopii na chipe i blizhnepol'noi mikroskopii so spektrozonal'nym razlozheniem kanalov izobrazhenii [Registration of a seminiferous tubule preparation by lensless laser projection (holographic) microscopy on a chip and near-field microscopy with spectrozonal decomposition of image channels.]. *Geny i kletki*. (1 (Prilozhenie)): 85-86. [in Russian]

Notchenko, Gradov, 2012 – Notchenko, A.V., Gradov, O.V. (2012). Elementarnye morfometricheskie laboratorii na chipe na osnove gemotsitometricheskikh kamer s radiochastotnoi identifikatsiei kul'tur i translyatsiei spektrozonal'no-gistokhimicheskogo monitoring [Elementary morphometric laboratories on a chip based on hemocytometric chambers with radiofrequency identification of cultures and broadcast of spectrozonal-histochemical monitoring]. *Zhurnal radioelektroniki*. (2). [Electronic resource]. URL: jre.cplire.ru/jre/feb12/5/ [in Russian]

Notchenko, Gradov, 2013 – Notchenko, A.V., Gradov, O.V. (2013). Elementary morphometric labs-on-a-chip based on hemocytometric chambers with radiofrequency culture

identification and relay of spectrozonal histochemical monitoring. *Visualization, Image Processing and Computation in Biomedicine*. 2(1): 2013005968.

Oh et al., 2018 – Oh, G.H., Kim, D.J., Park, D.W., Kim, H.S., Ji, Y.B., Oh, S.J. (2018). Non-destructive evaluation of defects of glass fiber composite using imaging system based on photo-mixer terahertz technique. *Journal of the Korean Society for Nondestructive Testing*. 38(1): 1-6.

Orr et al., 2001 – Orr, G., Montal, M., Thrall, B., Colson, S., Lu, H.P. (2001). Single channel patch-clamp recording coupled with linear and nonlinear confocal scanning fluorescence spectroscopy: Towards the simultaneous probing of single-ion channel conformational changes and channel kinetics. *Biophysical Journal*. 80(1): 151A.

Pajić et al., 2023 – Pajić, T., Stevanović, K., Todorović, N., Lević, S., Savić Šević, S., Pantelić, D., Živić, M., Rabasović, M.D. Krmpot, A.J. (2023). Laser nano-surgery of fungal cell wall to enable patch clamping. In *European Molecular Imaging Meeting: 18th Annual Meeting of the European Society for Molecular Imaging: EMIM 2023; 2023 Mar 14-17; Salzburg, Austria* (p. 1095). European Society for Molecular Imaging.

Pajić et al., 2024 – Pajić, T., Stevanović, K., Todorović, N.V., Krmpot, A.J., Živić, M., Savić-Šević, S., Lević, S.M., Stanić, M., Pantelić, D., Jelenković, B., Rabasović, M.D. (2024). In vivo femtosecond laser nanosurgery of the cell wall enabling patch-clamp measurements on filamentous fungi. *Microsystems & nanoengineering*. 10(1): 47.

Pamukcu et al., 2011 – Pamukcu, A.S., Gualda, G.A., Rivers, M.L., Anderson, A.T. (2011, December). 3D imaging of glass inclusions in quartz using propagation phase-contrast X-ray tomography: Application to the Bishop Tuff (California, USA). In: *AGU Fall Meeting Abstracts* (pp. V11A-2490). BIBC0DE: 2011AGUFM.V11A2490P [Electronic resource]. URL: <https://ui.adsabs.harvard.edu/abs/2011AGUFM.V11A2490P>

Pantano et al., 1999 – Pantano, C. G., Berry, J., Winograd, N. (1999). Chemical imaging of glass surfaces by mass spectrometry. *Glass Researcher*. 9(1): 22-23.

Pfleging et al., 2008 – Pfleging, W., Bruns, M., Przybylski, M., Welle, A., Wilson, S. (2008). Patterning of polystyrene by UV-laser radiation for the fabrication of devices for patch clamping. *Proc. SPIE*. 6880: 114-124.

Plattner et al., 1992 – Plattner, H., Knoll, G., Erxleben, C. (1992). The mechanics of biological membrane fusion merger of aspects from electron microscopy and patch-clamp analysis. *Journal of Cell Science*. 103(3): 613-618.

Remillard, Yuan, 2004 – Remillard, C.V., Yuan, J.X.J. (2004). Measurement of Ionic Currents and Intracellular Ca²⁺ Using Patch Clamp and Fluorescence Microscopy Techniques. In *Hypoxic Pulmonary Vasoconstriction: Cellular and Molecular Mechanisms* (pp. 569-582). Boston, MA: Springer US.

Reschke et al., 1993 – Reschke, T.J., Baeumer, S.M., Kross, J. (1993). Detection and Characterization of Local Defects on Polished Glass Surfaces Using Differential Interference Contrast Microscopy. *Proc. SPIE*. 1983: 922-923.

Roberts et al., 1997 – Roberts, S.K., Dixon, G.K., Dunbar, S.J., Sanders, D. (1997). Laser ablation of the cell wall and localized patch clamping of the plasma membrane in the filamentous fungus *Aspergillus*: characterization of an anion-selective efflux channel. *The New Phytologist*. 137(4): 579-585.

Robinson et al., 2005 – Robinson, T., Cross, D., Blakstvedt, A., Chan, C., Soykan, O. (2005). In vitro action potential measurement using voltage sensitive dyes: an alternative to patch clamp analysis. *Journal of Molecular and Cellular Cardiology*. 38(5): 863.

Rouse, Kiyohara, 1985 – Rouse, C.G., Kiyohara, P.K. (1985). Characterization of glasses and glass defects by scanning electron microscopy. In: *Proceedings of the Latin American Technical Symposium on Glass Manufacturing*, 5005.

Sauer et al., 2017 – Sauer, D., Jackson, J., Durfee, D. (2017). Progress on developing an MRI analog lensless imaging technique using laser interference patterns. *Bulletin of the American Physical Society*. 62(17): Abstract ID BAPS.2017.4CF.G1.14.

Shan et al., 2024 – Shan, M., Guo, J., Zhong, Z., Liu, B., Yu, L., Liu, L. (2024, June). Measurement of internal defects in Quartz glass using in-line digital holographic microscopy. In *Digital Holography and Three-Dimensional Imaging* (pp. W4A-16). Optica Publishing Group.

Sheoran et al., 2009 – Sheoran, G., Anand, A., Shakher, C. (2009). Lensless Fourier transform digital holographic interferometer for diffusivity measurement of miscible transparent liquids. *Review of scientific instruments*. 80(5): 053106

Singh et al, 2007 – Singh, S., Sandhu, A.K., Prasher, S., Pandey, O.P. (2007). Effect of neutron irradiation on etching, optical and structural properties of microscopic glass slide used as a solid state nuclear track detector. *Radiation measurements*. 42(8): 1328-1331.

Singh, Kaur Sandhu, 2006 – Singh, S., Kaur Sandhu, A. (2006). Gamma-ray-induced modifications in microscopic glass slide used as a track detector. *Radiation Effects & Defects in Solids*. 161(4): 235-239.

Singh, Virk, 1988 – Singh, G., Virk, H.S. (1988). Annealing of heavy ion radiation damage in soda glass detector. *International Journal of Radiation Applications and Instrumentation. Part D. Nuclear Tracks and Radiation Measurements*. 15(1-4): 253-256.

Singh, Virk, 1989 – Singh, G., Virk, H.S. (1989). Activation energy for the annealing of heavy ion radiation damage in a soda glass detector. *International Journal of Radiation Applications and Instrumentation. Part D. Nuclear Tracks and Radiation Measurements*. 16(4): 279-281.

Singh, Virk, 1990a – Singh, G., Virk, H.S. (1990). Thermal effects of heavy ion radiation damage in glass track detectors. *Radiation effects and defects in solids*. 114(3): 219-224.

Singh, Virk, 1990b – Singh, G., Virk, H.S. (1990). Radiation damage annealing models in glass detectors. *Radiation effects and defects in solids*. 114(1-2): 51-62.

Sivankutty et al., 2019 – Sivankutty, S., Kogan, D., Tsvirkun, V., Bouwmans, G., Andresen, E., Guillon, M., Alonso, M., Oron, D., Rigneault, H. (2019). Non-interferometric calibration of the phase transmission matrix in lensless endoscopy (conference presentation). *Proc. SPIE*. 10886: 108860H.

Smirnov, 1987a – Smirnov, A.P. (1987). Lensless optical Fourier transformation by means of a hole mask and the method of interferogram analysis in a modified Talbot interferometer. *Optics and Spectroscopy*. 62(3): 380-384.

Smirnov, 1987b – Smirnov, A.P. (1987). Optical Fourier transformation by lensless method with perforated mask and with modified Talbot interferometer for analysis of interferograms. *JPRS Report Science Technology USSR Space*. 3: 23.

Spitzer-Aronson, 1975 – Spitzer-Aronson, M. (1975). Etude de vitraux rouge médiévaux à l'aide de microscope optique, microscope à balayage avec image par électrons rétrodiffusés et microsonde électronique à rayons X. *Verres et Réfractaires*. 29: 145-153.

Spitzer-Aronson, 1976 – Spitzer-Aronson, M. (1976). Contribution à la connaissance des vitraux du Moyen Age. *Verres Refractaires*. 30(1): 56-61.

Spitzer-Aronson, 1977a – Spitzer-Aronson, M. (1977). Vers une meilleure connaissance d'un métier d'art médiéval: étude de plusieurs procédés modernes pour reproduire des verres rouges feuilletés des vitraux du Moyen Age. *Verres réfract.* 31(1): 25-31.

Spitzer-Aronson, 1977b – Spitzer-Aronson, M. (1977). Contribution à la connaissance des vitraux du Moyen-Age: la présence du plomb et du cuivre et leur diffusion sélective dans les vitraux rouges des cathédrales françaises. *Comptes-rendus de l'Académie des sciences de Paris*. 281: 207-209.

Spitzer-Aronson, 1977c – Spitzer-Aronson, M. (1977). Diffusion sélective du cuivre et de l'arsenic dans les vitraux rouges médiévaux: étude quantitative de la concentration du cuivre pour des "plaqués" de techniques différentes. *Comptes-rendus de l'Académie des sciences de Paris*. 280: 1343-1346.

Spitzer-Aronson, 1977d – Spitzer-Aronson, M. (1977). La répartition "initiale" du cuivre, retrouvée et calculée, dans certains vitraux rouges médiévaux. *Comptes-rendus de l'Académie des sciences de Paris*. 285: 269-272.

Spitzer-Aronson, 1977e – Spitzer-Aronson, M. (1977). Calculs sur images X de corrosion des vitraux, des taux d'élimination par élément, entre la surface corrodée et le verre intact sous-jacent. *Comptes-rendus de l'Académie des sciences de Paris*. 285: 41-43.

Spitzer-Aronson, 1977f – Spitzer-Aronson, M. (1977). Ion microanalysis: a new method for the study of glasses by mass spectrometry and ion imaging [Communication présentée lors du XI^e congrès international sur le verre, Prague, juillet 1977. Description physique 11 p.: ill. en noir et blanc]. Laboratoire de de Recherche des Monuments Historiques, Champs-sur-Marne. [Electronic resource]. URL: <https://www.lrmh.fr/Default/doc/SYRACUSE/64760/ion-microanalysis-a-new-method-for-the-study-of-glasses-by-mass-spectrometry-and-ion-imaging-prague>

Spitzer-Aronson, 1978 – Spitzer-Aronson M. (1978). Nouvelles méthodes non destructives destinées à la recherche fondamentale sur les vitraux médiévaux. *Silicates industriels*. (10): 213-218.

[Spitzer-Aronson, 1979](#) – *Spitzer, A.* (1979). Precisions sur les techniques medievals des vitraux par des recherches en physique. *Verres et Refract.* 33(1): 26-34.

[Spitzer-Aronson, 1980a](#) – *Spitzer-Aronson, M.* (1980). Techniques d'étude des vitraux médiévaux par coordination de plusieurs appareils de physique. *Les Dossiers de l'archéologie.* 40-46: 40.

[Spitzer-Aronson, 1980b](#) – *Spitzer-Aronson, M.* (1980). A new method for the study of flat glasses accurate microstructure implications of trace elements variation on the structure of glasses. *Journal of Non-Crystalline Solids.* 42(1-3): 601-606.

[Spitzer-Aronson, 1981](#) – *Spitzer, A.* (1981). Cristallisation dans des verres de vitraux medievaux. *C.R. Seances Acad. Sci., Ser. 2.* 292(8): 649-652.

[Spitzer-Aronson, 1989](#) – *Spitzer-Aronson, M.* (1989). Analytical and historical research on medieval multi-layered copper-red glass. In: *Archaeometry: proceedings of the 25th International Symposium* (pp. 671-676).

[Spitzer-Aronson, 1995](#) – *Spitzer-Aronson, M.* (1995, November). A New Parallel Research on Glass with Ion Imaging and Electron Microprobe. In: *International Congress on Glass 17* (pp. 544-547). Chinese Ceramic Society.

[Spitzer-Aronson, Peyches, 1975](#) – *Spitzer-Aronson, M., Peyches, M.I.* (1975). Selective diffusion of copper and arsenic in medieval red stained glass. *Comptes Rendus Hebdomadaires Des Seances De L Academie Des Sciences Serie C.* 280(22): 1343-1346.

[Stevanović et al., 2021](#) – *Stevanović, K., Pajić, T., Todorović, N., Krmpot, A. J., Živić, M., Rabasović, M.D.* (2021). Laser microsurgery of filamentous fungi: The latest protocol enabling patch-clamp amenable protoplasts. In *VIII International School and Conference on Photonics PHOTONICA2021 & HEMMAGINERO workshop* (p. 104). Belgrade: Institute of Physics.

[Swaenen et al., 2010](#) – *Swaenen, M., Stefaniak, E. A., Frost, R., Worobiec, A., Van Grieken, R.* (2010). Investigation of inclusions trapped inside Libyan desert glass by Raman microscopy. *Analytical and bioanalytical chemistry.* 397: 2659-2665.

[Świontek et al., 2021](#) – *Świontek, S., Środa, M., Gieszczyk, W.* (2021). Ceramics, glass and glass-ceramics for personal radiation detectors. *Materials.* 14(20): 5987.

[Tang et al., 1997](#) – *Tang, S.K., Vassiliev, V.Y., Mridha, S., Chan, L.* (1997). Investigation of Borophosphosilicate Glass Defects with the Atomic Force Microscope. In *Papers, XLIV Int. Symp. Am. Vac. Soc* (p. 189).

[Taylor, Brownlee, 1992](#) – *Taylor, A.R., Brownlee, C.* (1992). Localized patch clamping of plasma membrane of a polarized plant cell: Laser Microsurgery of the *Fucus spiralis* rhizoid cell wall. *Plant Physiology.* 99(4): 1686.

[Tepichin, Ibarra, 1995](#) – *Tepichin, E., Ibarra, J.* (1995). Polarization sensitive lensless Lau interferometer. *Optics communications.* 119(5): 471-478.

[Trotier et al., 1998](#) – *Trotier, D., Døving, K.B., Ore, K., Shalchian-Tabrizi, C.* (1998). Scanning electron microscopy and gramicidin patch clamp recordings of microvillous receptor neurons dissociated from the rat vomeronasal organ. *Chemical senses.* 23(1): 49-57.

[Upadhye et al., 2011](#) – *Upadhye, K.V., Candiello, J.E., Davidson, L.A., Lin, H.* (2011). Whole-cell electrical activity under direct mechanical stimulus by AFM cantilever using planar patch clamp chip approach. *Cellular and molecular bioengineering.* 4: 270-280.

[Valdrè, 1991](#) – *Valdrè, G.* (1991). Scanning electron microscopy and X-ray energy dispersive spectroscopy studies of defects in lead glasses. *Microscopy Microanalysis Microstructures.* 2(1): 97-106.

[Valdrè, 1992](#) – *Valdrè, G.* (1992). Defects in glasses examined by backscattered electron imaging and by X-ray wavelength and energy dispersive spectroscopy. *X-Ray Spectrometry.* 21(3): 105-109.

[van der Voort, 2016](#) – *van der Voort, N.T.M.* (2016). Interferometric illumination ptychography (Master's thesis, Utrecht University).

[Varghese et al., 2018](#) – *Varghese, A., Das, B., Singh, R.K.* (2018). Highly stable lens-less digital holography using cyclic lateral shearing interferometer and residual decollimated beam. *Optics Communications.* 422: 3-7.

[Virgoe, 1967](#) – *Virgoe, J.* (1967). Examination of crystalline inclusions in glass by reflected light microscopy. *Mineralogical Magazine - Journal of the Mineralogical Society.* 36(277): R16.

Wu et al., 2012 – Wu, L., Li, Z., Wang, X., Shen, X., Song, B., Dai, S., Xu, T. (2012). Internal macroscopic defects perspective imaging detection system for infrared chalcogenide glasses. *Zhongguo Jiguang (Chinese Journal of Lasers)*. 39(1): 0108001-5.

Wu et al., 2014 – Wei, W., Lei, Z., Suyu, F. (2014). Using fluorescent microscopy method to study subsurface defects in Nd-doped phosphate laser glasses. *Chinese J Lasers*. 41(9): 0906001.

Xia et al., 2008 – Xia, J., Kong, W., Zhu, Y., Zhou, Y., Zhang, Y., Guo, C. (2008). Spontaneous firing properties of rat medial vestibular nucleus neurons in brain slices by infrared visual patch clamp technique. *Frontiers of Medicine in China*. 2: 264-268.

Yang et al., 2018 – Yang, Z., Dou, J., Yuan, Q., Gao, Z. (2018). Lensless phase-shifting point diffraction interferometer for spherical mirror measurement. *Optics and Lasers in Engineering*. 107: 119-126.

Yao et al., 2009 – Yao, J., Liu, B., Qin, F. (2009). Rapid temperature jump by infrared diode laser irradiation for patch-clamp studies. *Biophysical journal*. 96(9): 3611-3619.

Zanini et al., 2023 – Zanini, R., Franceschin, G., Roman, A.A.M., Moretto, L.M., Cattaruzza, E., Traviglia, A. (2021). Laser Ablation ICP-MS elemental imaging to investigate corroded surfaces of ancient glass. In *ATTI del XXVII Congresso Nazionale della Società Chimica Italiana* (Vol. 1). Società Chimica Italiana.

Zanini et al., 2023 – Zanini, R., Roman, M., Cattaruzza, E., Traviglia, A. (2023). High-speed and high-resolution 2D and 3D elemental imaging of corroded ancient glass by laser ablation-ICP-MS. *Journal of Analytical Atomic Spectrometry*. 38(4): 917-926.

Zavelsky et al., 2000 – Zavelsky, V.O., Salova, T.P., Epelbaum, M.B., Bezmen, N., Zavelskaya, L.N. (2000). State of nondissociated molecules of water inclusions in aluminosilicate glasses (1H NMR and electron microscopy study). *Physics and chemistry of glasses*. 41(4): 182-187.

Zhang et al., 2016 – Zhang, J., Wang, J., Han, X., Cui, H. L., Shi, C., Zhang, J., Shen, Y. (2016). Noncontact detection of Teflon inclusions in glass-fiber-reinforced polymer composites using terahertz imaging. *Applied optics*. 55(36), 10215-10222.

Zhu et al., 2016 – Zhu, W., Chen, L., Zheng, D., Yang, Y., Han, Z., Li, J. (2016). Lensless reflective point diffraction interferometer. *Applied Optics*. 55(19): 5158-5163.

Zhu et al., 2017 – Zhu, W., Chen, L., Liu, Y., Ma, Y., Zheng, D., Han, Z., Li, J. (2017). Defect detection based on a lensless reflective point diffraction interferometer. *Applied Optics*. 56(26): 7435-7441.

На пути к безлинзовой дефектоскопии стеклянных микропипеток для задач молекулярной цитологии, персонализированной и молекулярной медицины и тераностики (Техника и методика)

Евгений Денисович Адамович^{a,*}, Олег Валерьевич Градов^a

^a ФГБУН Федеральный исследовательский центр химической физики им. Н.Н. Семёнова РАН, Отдел динамики химических и биологических процессов, Москва, Российская Федерация

Аннотация. Данная статья является второй (практической) частью цикла статей по контролю качества стеклянных патч-пипеток, начатого публикацией "На пути к безлинзовой дефектоскопии стеклянных микропипеток для задач молекулярной цитологии, персонализированной и молекулярной медицины и тераностики (Обзор)", опубликованного в этом же номере (*European Journal of Medicine*. 2024. 12(1): 3-36).

Ключевые слова: патч-кламп, стеклянные микропипетки, безлинзовая микроскопия, голографическая микроскопия, биомедицинская техника, клеточная электрофизиология, ионные каналы, оптическая дефектоскопия.

* Корреспондирующий автор

Адреса электронной почты: neurobiophys@gmail.com (Е.Д. Адамович), o.v.gradov@gmail.com (О.В. Градов)