ВЫСШАЯ ШКОЛА ЭКОНОМИКИ
САНКТ-ПЕТЕРБУРГ

SaintPetersburg OPEN 2026

26-29 мая 2026

OPEN CONFERENCE

СБОРНИК ТЕЗИСОВ

13-й Школы-конференции с международным участием по Оптоэлектронике, Фотонике и Наноструктурам SPbOPEN 2026

26-29 мая 2026

Санкт-Петербург

Авторские права © 2026 Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики» — Санкт-Петербург и отдельные авторы. Все права защищены. Никакие части данной электронной публикации не могут быть многократно скопированы, сохранены в поисковой системе или переданы в любой форме или любыми средствами, электронными, механическими, фотокопированием, записью или иным образом, без письменного разрешения издателя. Разрешается изготовление фотокопий отдельных статей для личного использования или исследований.

13-я Школа-конференция с международным участием по оптоэлектронике, фотонике и наноструктурам Saint Petersburg OPEN продолжает традицию ежегодных научных семинаров для молодежи по актуальным проблемам физики и техники, основанную по инициативе лауреата Нобелевской премии по физике академика Жореса Ивановича Алфёрова.

Место проведения конференции:

НИУ ВШЭ – Санкт-Петербург, Санкт-Петербург, 25-я линия Васильевского острова, дом 6, корпус 1, Российская Федерация.

Более подробная информация о Школе и конференции представлена на https://spb.hse.ru/spbopen/.

В сборник включены тезисы работ, отобранных для участия в Школе-конференции, оформленные в соответствии с требованиями к оформлению тезисов. Данный том был составлен НИУ ВШЭ – Санкт-Петербург на основе электронных файлов, предоставленных авторами. При составлении сборника были внесли лишь незначительные технические исправления.

Председатель Программного и Организационного комитетов

чл.-корр. РАН А.Е. Жуков (НИУ ВШЭ - Санкт-Петербург)

Программный Комитет

А.А. Липовский (СПбПУ Петра Великого)

П.Н. Брунков (ФТИ им. Иоффе РАН)

Г.Э. Цырлин (СПбАУ РАН им. Ж.И. Алфёрова)

Н.В. Крыжановская (НИУ ВШЭ – Санкт-Петербург)

В.В. Журихина (НИУ ВШЭ – Санкт-Петербург)

В.Г. Дубровский (СПбГУ)

С.В. Макаров (ИТМО)

Организационный Комитет

Н.В. Крыжановская (НИУ ВШЭ – Санкт-Петербург)

А.С. Драгунова (НИУ ВШЭ – Санкт-Петербург)

Э.И. Моисеев (НИУ ВШЭ – Санкт-Петербург)

А.А. Образцова (НИУ ВШЭ – Санкт-Петербург)

Е.А. Русаловская (НИУ ВШЭ – Санкт-Петербург)

Программа конференции

26 мая 2026 (вторник)

Весь день **Прибытие, свободное время**

27 мая 2026 (среда)

09:00 - 10:00 **Регистрация участников (НИУ ВШЭ – Санкт-Петербург, 25-я линия Васильевского острова, дом 6, корпус 1)**

10:00 - 10:10 **Открытие Алексей Жуков** *(ВШЭ – Санкт-Петербург)*

10:10 - 10:40 **Многоуровневая настройка однослойных углеродных нанотрубок для их применений в оптоэлектронике Альберт Насибулин** *(Сколтех)*

10:40 - 11:10 **Фотоэлектрические преобразователи лазерного излучения Максим Шварц** *(ФТИ им. А.Ф. Иоффе)*

11:10 - 11:40 **Anisotropic semiconductor nanocrystals and their light-emitting devices Fangze Liu** *(Beijing Institute of Technology, P.R. China)*

11:40 - 12:00 **Кофе-брейк**

12:00 - 12:30 **Перовскитный поляритонный лазерный диод Анатолий Пушкарев** *(Сколтех)*

12:30 - 13:00 **Оптические микролазеры на основе III-N гетероструктур: эпитаксия, изготовление и исследование Наталья Крыжановская** *(НИУ ВШЭ – СПб)*

13:00 - 13:30 **Сессия «Презентации в лифте» I**

(Молодые ученые представляют основную идею своих постеров в 1-минутной презентации, используя 1-2 слайда)

13:30 - 15:00 **Обед**

По желанию: 14:00 - 15:00 **Круглый стол " МШГ микролазеры для ультрафиолетового и видимого диапазонов спектра на подложках кремния и сапфира "** *по материалам совместного исследования в рамках проекта НИУ ВШЭ «Международное академическое сотрудничество» (Academic Cooperation) Международной лаборатории квантовой оптоэлектроники НИУ ВШЭ Санкт-Петербург и научного коллектива Центра «Широкозонная нано- и микроэлектроника» Института физики имени Б.И. Степанова НАН Беларуси.*

15:00 - 16:30 **Постерная сессия I**

1. Полупроводниковые лазеры, солнечные элементы, другие оптоэлектронные приборы

3. Синтез и структурные свойства полупроводниковых материалов и наноструктур

6. Другие аспекты нанотехнологий

16:30 - 17:00 **Кофе-брейк**

17:00 - 18:00 **Постерная сессия I** (продолжение)

28 мая 2026 (четверг)

09:00 - 10:00 **Регистрация участников (НИУ ВШЭ – Санкт-Петербург, 25-я линия Васильевского острова, дом 6, корпус 1)**

10:00 - 10:30 **Фотонные интегральные схемы: состояние и перспективы** **Алексей Устинов** *(СПбГЭТУ «ЛЭТИ»)*

10:30 - 11:00 **Сверхпроводниковый однофотонный детектор - ключевой элемент квантовых фотонных интегральных схем** **Григорий Гольцман** *(МПГУ / НИУ ВШЭ)*

11:00 - 11:30 **Терагерцовое излучение: физика и возможности применения** **Дмитрий Хохлов** *(МГУ / ФИАН)*

11:30 - 12:00 **Кофе-брейк**

12:00 - 12:30 **Когерентные волоконно-оптические системы: от глобальных телекоммуникаций до медицинской диагностики** **Николай Ушаков** *(СПбПУ Петра Великого)*

12:30 - 13:00 **Полупроводниковые нанопровода в фотонике** **Алексей Большаков** *(МФТИ)*

13:00 - 13:30 **Сессия «Презентации в лифте» II**

(Молодые ученые представляют основную идею своих постеров в 1-минутной презентации, используя 1-2 слайда)

13:30 - 15:00 **Обед**

15:00 - 16.30 **Постерная сессия II**

2. Электрические, магнитные и СВЧ приборы и свойства полупроводниковых материалов и структур
4. Нанофотоника, спектроскопия, микрорезонаторы, оптические свойства, плазмоника
5. Биомедицинские применения полупроводниковых материалов и приборов, биофизика, нанобиотехнологии, биофотоника

16:30 - 17:00 **Кофе-брейк**

17:00 - 18:00 **Постерная сессия II** (продолжение)

18:00 - 18:30 **Закрытие конференции и церемония награждения**

Алексей Жуков *(ВШЭ – Санкт-Петербург)*

29 мая 2026 (пятница)

Весь день **Отъезд, свободное время**

По желанию: Экскурсия с сопровождающим в Международную лабораторию квантовой оптоэлектроники НИУ ВШЭ – Санкт-Петербург (12.00-14.00)

Содержание сборника

1. Полупроводниковые лазеры, солнечные элементы, другие оптоэлектронные приборы			
1-00	Крыжановская Наталья Владимировна	НИУ ВШЭ	Оптические микролазеры на основе III-N гетероструктур: эпитаксия, изготовление и исследование (Приглашенный)
1-01	Козлов Илья Александрович	АО «КОНЦЕРН «ЦНИИ «ЭЛЕКТРОПРИБОР»	Методика оценки сдвига мгновенной оптической частоты импульсного излучения, формируемого полупроводниковым оптическим усилителем
1-02	Реутов Алексей Алексеевич	ООО Курэйт	Анализ безопасности квантового распределения ключей с декойными состояниями при backflash и лазерной инжекции/сидинг источника
1-03	Комаров Сергей Дмитриевич	НИУ ВШЭ – Санкт-Петербург	Низкопороговая генерация на модах шепчущей галереи в микродисковых лазерах InGaN/GaN
1-04	Зеленский Глеб Викторович	Московский педагогический государственный университет Институт физики, технологии и информационных систем	Исследование характеристик детекторов терагерцового диапазона излучения на основе пленок углеродных нанотрубок.
1-05	Михайлов Олег Павлович	СПбАУ РАН имени Ж. И. Алфёрова	Исследование радиационной стойкости GaP/Si гетероструктурных солнечных элементов методами емкостной спектроскопии
1-06	Харченко Антон Александрович	Алферовский университет, ФТИ им. А.Ф. Иоффе	Полупроводниковый оптический усилитель спектрального диапазона 1020-1075 нм с активной областью на основе квантовых яма-точек InGaAs/GaAs
1-07	Образцова Анна Александровна	НИУ ВШЭ - Санкт-Петербург	Анализ параметров усиления квантовых точек в коротких лазерных полосках
1-09	Кунков Роман Эдуардович	ФТИ им. А. Ф. Иоффе	Поверхностно облучаемые фотодиоды для спектральной области λ = 2 – 5 мкм на основе ДГС N-InAsSbP/InAsSb/P-InAsSbP
1-10	Баранцев Олег Вячеславович	СПбАУ РАН им. Ж.И. Алферова	Влияние конструкции InAlAs метаморфных буферных слоев на электрофизические характеристики кристаллов InGaAs фотодиодов ближнего ИК-диапазона
1-11	Васильев Андрей Андреевич	АО "ОКБ-Планета"	Особенности технологии изготовления вертикально-излучающего лазера с длиной волны 850 нм
1-13	Мазун Екатерина Дмитриевна	Новгородский государственный университет им. Ярослава Мудрого/Акционерное общество «ОКБ-Планета»	Применение полиимида в оптоэлектронике
1-14	Данилова Виктория Владиславовна	Санкт-Петербургский государственный университет	Использование метода лазерной очистки при реставрации объектов культурного наследия с каменным декором из песчаника
1-15	Би Цзячэнь	Университет науки и технологий МИСИС	Использование кремниевых квантовых точек для предотвращения нагрева солнечных элементов
1-16	Пан Хайхун	Лаборатория перспективной солнечной энергетики НИТУ МИСИС	Низкотемпературное Ионно-Лучевое Напыление (IBS) Nio Для Лёгких И Гибких Перовскитных Солнечных Элементов

1-17	Бермас Вячеслав Романович	Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет «ЛЭТИ» им. В.И. Ульянова (Ленина)	Исследование возможности использования лазерного 3D-сканирования для мониторинга деревянной скульптуры
1-18	Каримова Алина Ильшатовна	НИУ ВШЭ, направление физика	Исследование влияния обработки фокусированным ионным пучком на темновые характеристики волноводных фотодетекторов
1-19	Самарцев Илья Владимирович	ННГУ им. Н.И. Лобачевского	Metamorphic InGaAs photodiode with low dark current on a GaAs substrate for the 1.17 - 1.29 µm range
1-20	Беляева Екатерина Алексеевна	Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики»	Исследование связанных микродисковых лазеров с квантовыми точками InGaAs/GaAs.
1-22	Радаев Олег Александрович	УФИРЭ им. В.А. Котельникова РАН	Зависимость потоков излучения видимого и ближнего инфракрасного участков спектра светодиодных матриц от тока и температуры
1-23	Новиков Андрей Александрович	Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого	Активация вторичных эмиттеров из бериллиевой бронзы
1-24	Башнин Никита Викторович	Санкт-Петербургский институт истории РАН	3D-оцифровка восковых печатей с использованием лазерного 3D-сканирования
1-25	Иванов Владимир Сергеевич	Университет ИТМО	Ионная миграция в перовските MAPbBr2I: эффекты Хоука и Шоттки
1-26	Федосов Игорь Сергеевич	НИУ ВШЭ СПб	Оптоэлектронный логический элемент И/И-НЕ на основе термооптического эффекта в А3В5 микродисковом лазере
1-27	Низаметдинов Азат Маратович	УФИРЭ им. В.А. Котельникова РАН	Распределенный контроль температуры обмоток трансформатора с помощью перестраиваемого полупроводникового лазера
1-28	Степанов Юлиан Стефанович	Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций имени профессора М. А. Бонч-Бруевича	Исследование когерентных свойств полупроводниковых лазерных источников
1-29	Копытов Павел Евгеньевич	Университет ИТМО	Максимальный КПД одночастотных вертикально-излучающих лазеров спектрального диапазона 1300 нм
1-30	Поздеев Вячеслав Алексеевич	СПбАУ РАН им. Ж.И. Алферова; Академический университет им. Ж.И. Алферова	Исследование влияния поверхностного натяжения суспензии PEDOT:PSS и параметров нанесения на однородность покрытий
1-31	Мысь Дмитрий Александрович	Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого (СПбПУ)	Лазерный локатор для подводного обнаружения объектов
1-32	Сун Цинхао	Университет ИТМО	Simulation based on optical properties of Halide Perovskite Solar Cells

2. Электрические, магнитные и СВЧ приборы и свойства полупроводниковых материалов и структур

2-19	Фудин Дмитрий Геннадьевич	МПГУ	Терагерцевый монолитный интерферометр Маха-Цендера на основе кремниевых волноводов без подложки
2-20	Драгомерецкий Иван Олегович	Московский физико-технический институт	Моделирование отражающего мета-атома на базе жидких кристаллов
2-22	Розенблит Алина Дмитриевна	Университет ИТМО	Топологические краевые состояния высокого порядка в квадратной решётке из разомкнутых кольцевых резонаторов с дипольным и квадрупольным откликом
2-23	Белозеров Игорь Александрович	НИЦ «Курчатовский институт»	Контактное сопротивление и ресурс МЭМС-переключателя при разных токах коммутации
2-24	Богуш Инна Юрьевна	ФГАОУВО "Южный федеральный университет"	Импедансометрия электродных материалов на основе сульфидов переходных металлов: количественный анализ кинетики электрохимических реакций
2-25	Ружевич Максим Станиславович	СПбГЭТУ «ЛЭТИ»	Фотолюминесценция и фотоотражение гетероструктур HgTe/CdHgTe с «узкими» квантовыми ямами
2-26	Чижиков Сергей Владимирович	Севастопольский государственный университет	Исследование возможности применения новой конструкции полевых транзисторов для повышения энергоэффективности монолитных интегральных схем приемного тракта радиометра
2-27	Кропотов Арсений Андреевич	Университет ИТМО	Оптическое детектирование радиальной динамики частиц, локализованных в квадрупольных электродинамических ловушках
2-28	Фролов Илья Владимирович	Ульяновский филиал Института радиотехники и электроники им. В.А. Котельникова Российской академии наук	Электрофизические характеристики полимерных нанокомпозитов на основе эпоксидной смолы с углеродными наноструктурами и магнитными частицами
2-29	Шлепаков Павел Сергеевич	НИЦ "Курчатовский институт"	Влияние диаметра рабочей камеры на перемещение и развиваемую силу взрывного актюатора
2-30	Морозов Матвей Олегович	Ярославский государственный университет им. П.Г. Демидова / Обособленное подразделение «Отдел микротехнологий» – Ярославль ОФТИ им. К.А. Валиева НИЦ «Курчатовский институт»	Расчет рабочих характеристик МЭМС-переключателя последовательно-шунтирующего типа для диапазона частот 0.4-10 ГГц
2-31	Кожуховский Алексей Константинович	Московский Педагогический Государственный Университет, Лаборатория Квантовых Детекторов	Субтерагерцовый волноводный монолитный аттенюатор без подложки на основе материала с фазовой памятью GST
2-32	Чиглинцев Эмиль Олегович	МФТИ, РКЦ	Внеплоскостная терагерцевая эмиссия, обусловленная анизотропией в композиционно упорядоченном двумерном сплаве ДПМ
2-33	Хрошин Даниил Алексеевич	Санкт-Петербургский Государственный Электротехнический Университет им. В.И. Ульянова (Ленина)	Разработка модели интегрально-оптического волновода трапецеидального поперечного сечения

3. Синтез и структурные свойства полупроводниковых материалов и наноструктур

Контактное сопротивление и ресурс МЭМС-переключателя при разных токах коммутации

И. А. Белозеров[1,2]✉, А. Н. Куприянов[1,2], И. В. Уваров[1,2]
[1]Обособленное подразделение «Отдел микротехнологий» – Ярославль
ОФТИ им. К.А. Валиева НИЦ «Курчатовский институт», Ярославль, Россия,
[2]Ярославский государственный университет им. П.Г. Демидова, Ярославль, Россия;
✉belozerov.ftian@bk.ru

Аннотация. МЭМС-переключатели представляют значительный интерес для систем связи и радиолокации, однако они до сих пор не находят широкого применения по причине ненадежной работы контактов. В работе рассмотрен метод снижения контактного сопротивления за счет увеличения числа подвижных электродов. Изготовлен резистивный МЭМС-переключатель с пятью кантилеверами. Измерено его контактное сопротивление и ресурс в зависимости от коммутируемого тока. Продемонстрировано снижение сопротивления по сравнению с изделием на основе одного кантилевера. Ресурс переключателя составлял десятки тысяч циклов коммутации при токе от 1 до 400 мА. Увеличение числа кантилеверов не оказало существенного влияния на ресурс. Наблюдался перенос материала с одной контактной поверхности на другую.

Ключевые слова: МЭМС-переключатель, кантилевер, контактное сопротивление, коммутируемый ток, сила прижима.

Введение

Переключатели, изготовленные по технологии микроэлектромеханических систем (МЭМС), имеют широкие перспективы применения в СВЧ электронике [1]. Малые вносимые потери, высокая изоляция, компактные размеры и низкое энергопотребление делают их идеальными устройствами для систем беспроводной связи и радиолокации. Однако МЭМС-переключатели до сих пор не нашли широкого применения по причине недостаточной надежности. В частности, резистивные ключи выходят из строя вследствие быстрого роста контактного сопротивления или залипания. Для решения этих проблем подвижная часть должна обеспечивать надежный прижим и размыкание контактов. Недавно был разработан ключ на основе миниатюрного кантилевера, демонстрирующий стабильную работу на протяжении нескольких десятков тысяч коммутаций без корпусирования [2]. Однако контактное сопротивление составляло 4-7 Ом и требовало снижения с целью сокращения вносимых потерь. Для решения этой задачи было предложено увеличить число кантилеверов и тем самым расширить площадь контакта. Такой подход не требует изменения технологии изготовления ключа. В настоящей работе представлен МЭМС-переключатель с пятью кантилеверами, включенными в цепь параллельно. Исследовано его сопротивление и ресурс в зависимости от коммутируемого тока.

Материалы и методы

МЭМС-переключатель показан на рисунке 1. Он содержал пять идентичных кантилеверов длиной 50 мкм и шириной 60 мкм. Кантилеверы приводились в движение одновременно путем подачи напряжения на общий управляющий электрод и приходили в контакт с общим коммутируемым электродом. Форма кантилеверов и электродов была подобрана по специальной методике и обеспечивала наибольшую силу прижима при заданной длине и ширине подвижной части [3]. Переключатель изготавливали на термически окисленной кремниевой пластине по технологии поверхностной микрообработки. Материалом контактов служил рутений.

Переключатели были испытаны в холодном режиме без корпусирования. Управляющее напряжение составляло 90 В, ключ срабатывал с частотой 40 Гц. Коммутируемый сигнал представлял собой постоянное напряжение величиной 5 В, а ток I варьировали от 1 до 400 мА путем изменения нагрузочного сопротивления R_{Load}. Контактное сопротивление R_C измеряли с помощью резистивного делителя.

Результаты и обсуждение

Зависимость контактного сопротивления от числа циклов коммутации показана на рисунке 2. При токе 1 и 10 мА сопротивление в среднем составляло около 10 Ом, однако для I = 10 мА оно имело более стабильную величину. Это объяснялось зависимостью точности измерений от отношения R_{Load} к R_C. При токе 90 мА сопротивление составляло 3-5 Ом. Ключ с одним кантилевером обеспечивал 4-7 Ом в аналогичных условиях [2]. Уменьшение сопротивления было обусловлено увеличенной суммарной площадью контактов изделия с пятью кантилеверами. Для I = 400 мА наблюдали R_C = 1 Ом, что являлось минимально необходимой величиной для достижения приемлемых вносимых потерь. Спад сопротивления с ростом тока объяснялся повышением температуры контактов и размягчением материала, приводящим к увеличению площади контакта.

Ресурсные испытания проводили на 10-ти переключателях для каждого значения тока. В среднем ключи выдерживали 120, 68, 160 и 56 тысяч циклов коммутации для I = 1, 10, 90 и 400 мА соответственно. Переключатели выходили из строя вследствие роста сопротивления или залипания. Доминирующим механизмом деградации контактов был перенос материала с поверхности контактного выступа на площадку коммутируемого электрода. Для I = 400 мА контактные площадки полностью разрушались в результате плавления, что объясняло относительно невысокий ресурс ключа в этом режиме. Переключатель на основе одного кантилевера выходил из строя спустя 100 тысяч циклов при токах 1 и 100 мА. Таким образом, увеличение числа кантилеверов не оказало существенного влияния на ресурс. Вероятно, он был ограничен другими факторами, которые предстоит выяснить в ходе дальнейшей работы.

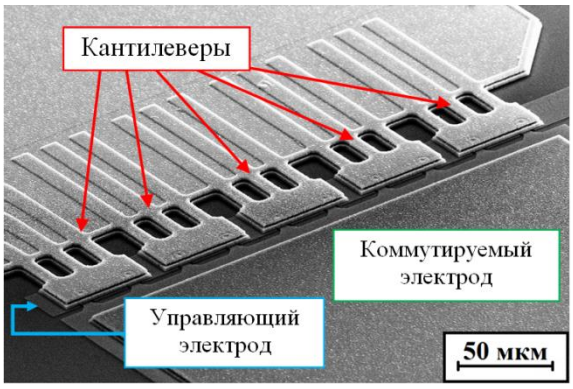

Рис. 1. Изображение МЭМС-переключателя, полученное с помощью растрового электронного микроскопа.

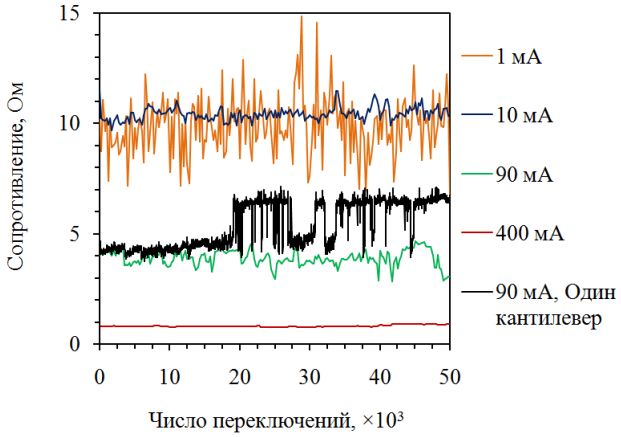

Рис. 2. Зависимость контактного сопротивления от числа циклов при разных токах коммутации.

Финансирование

Работа выполнена при финансовой поддержке РНФ, проект № 25-19-20107, а также в рамках государственного задания НИЦ «Курчатовский институт».

Список литературы

[1] Kurmendra, R. Kumar. Microsyst. Technol., **27**, 2525 (2021).
[2] I.V. Uvarov, I.A. Belozerov, M.O. Morozov. Russian Microelectronics, **54** (8), 1108 (2025).
[3] I.V. Uvarov, I.A. Belozerov. Micro, **4** (1), 1 (2023).