

ПРИОРИТЕТНОЕ НАПРАВЛЕНИЕ 2.1.

АКТУАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ ФИЗИКИ КОНДЕНСИРОВАННЫХ СРЕД

Программа 2.1.1. Физика полупроводников и диэлектриков, твердотельные системы пониженной размерности (координатор академик А. Л. Асеев)

Учеными Института физики полупроводников им. А. В. Ржанова на основе полупроводниковой мембраны-гетероструктуры GaAs/AlGaAs, оторванной от подложки методом селективного травления, создан подвешенный одноэлектронный транзистор — квантовая точка, соединенная с областями истока и стока через туннельные барьеры (рис. 1).

Подвешенный одноэлектронный транзистор с механическими степенями свободы перспективен в качестве чувствительного масс-спектрометра, применяемого для определения массы частиц вещества (например, молекул ДНК), осажденных на нанопроволоку, по сдвигу резонансных частот ее колебаний (на рисунке показаны стрелками).

Учеными этого же Института методом молекулярной динамики и Монте-Карло исследован механизм зарождения трехмерных островков Ge на Si, обусловленный локальными механическими напряжениями, действующими в окрестности точечных дефектов, которые вводятся низкоэнергетичными ионами. Обнаружено, что элементарные процессы, связанные с ударом иона, заканчиваются в течение 1 пс. Типичные изменения структуры в этом интервале времени представлены на рис. 2 (слева). Объяснены экспериментально наблюдаемые эффекты увеличения плотности наноструктур, уменьшения их размеров и немонотонная зависимость плотности островков от степени ионизации молекулярного пучка.

В этом же Институте разработана технология создания наноканальных мембран, конструкция которых отличается монолитным соединением наноканальной части с несущей микроканальной основой и имеет упорядоченно расположенные профильные каналы (рис. 3). Конструкция заключена в монолитное обрамление из кремниевой пластины.

Учеными Института физики полупроводников им. А. В. Ржанова в кооперации с учеными Института физики твердого тела (г. Берлин) выращены микрорезонаторные структуры с InAs-квантовыми точками малой плотности ($\sim 10^8$ — 10^9 см⁻²) для излучателей одиночных фотонов (ИОФ) с токовой накачкой, изготовлены лабораторные образцы ИОФ и исследованы их оптические характеристики (рис. 4). Спектр электролюминесценции ИОФ содержит единственную узкую линию, отвечающую рекомбинации экситона одиночной InAs-кван-

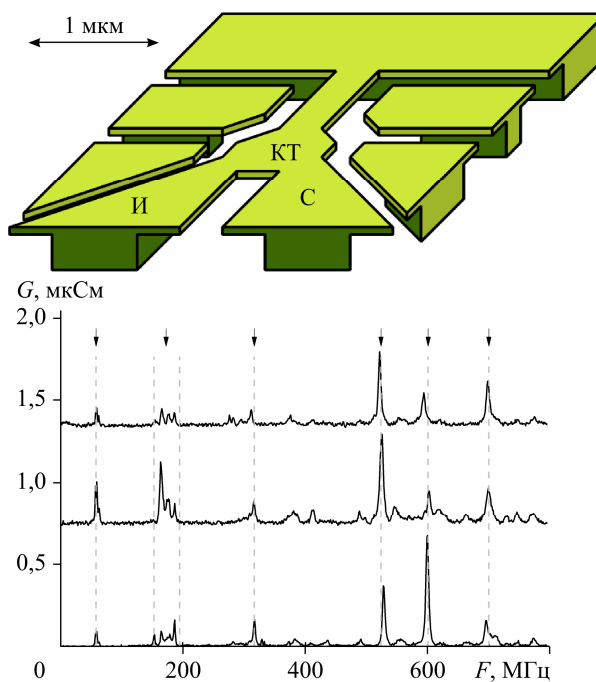


Рис. 1. Схема структуры с подвешенным одноэлектронным транзистором (КТ — квантовая точка; И, С — исток, сток) (вверху) и зависимости дифференциального кондактанса G от частоты возбуждающего ВЧ-напряжения F в различных циклах охлаждения (внизу).

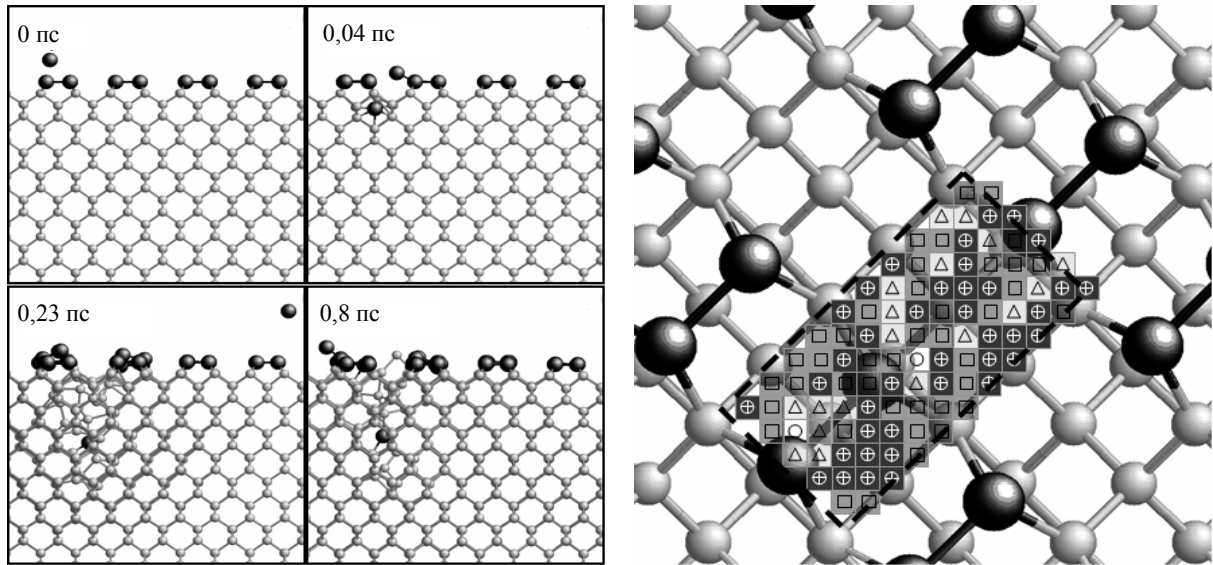


Рис. 2. Результаты моделирования методом молекулярной динамики.

Слева: серия мгновенных снимков структуры спустя различные времена после удара иона. Атомы Ge показаны темным, Si — светлым цветом. Междоузлия заметны как атомы, расположенные внутри шестиугольных ячеек. Справа: распределение сечений генерации междоузлий по элементарной ячейке. Число междоузлий на один ион: \square 4—6, \triangle 7—9, \blacksquare 10—11, \oplus 12—14.

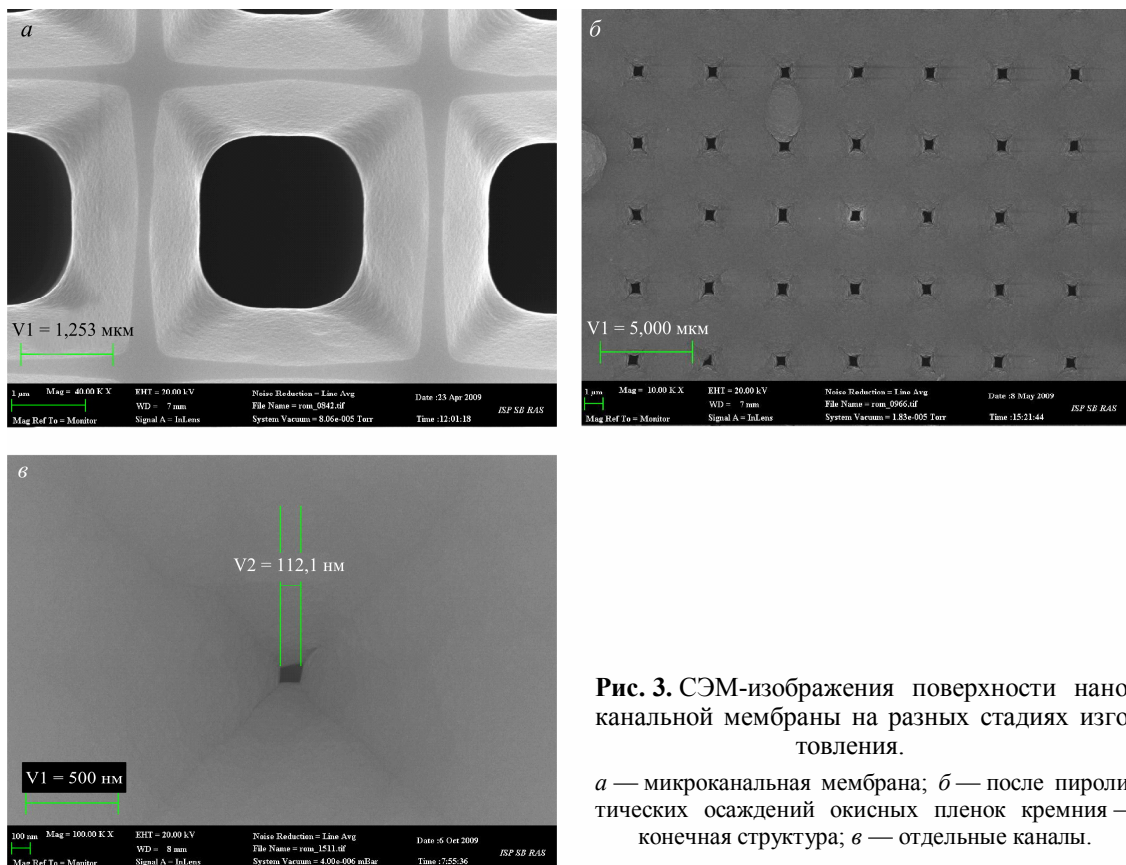


Рис. 3. СЭМ-изображения поверхности наноканальной мембраны на разных стадиях изготовления.

a — микроканальная мембрана; *б* — после пиролизических осадений окисных пленок кремния — конечная структура; *в* — отдельные каналы.

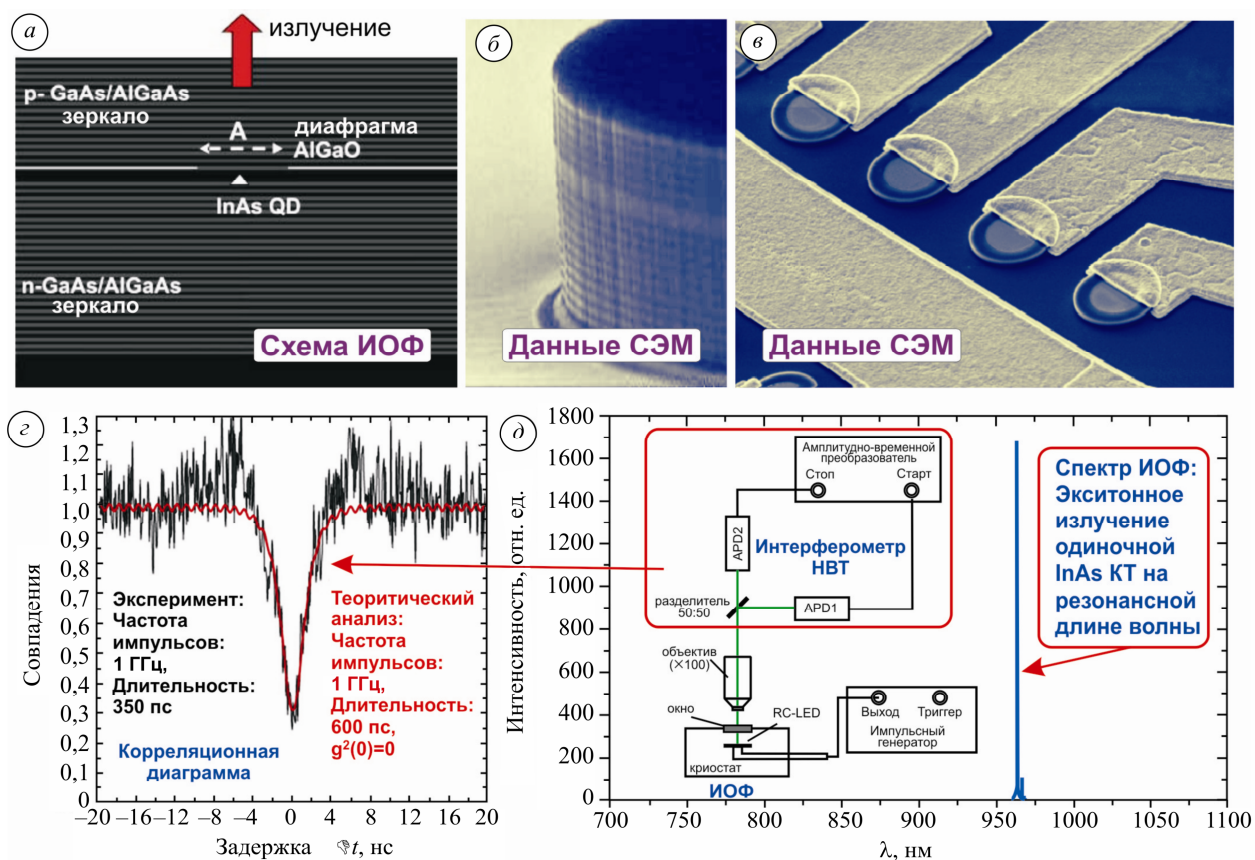


Рис. 4. Схема ИОФ (а), изображения ИОФ, полученные методом сканирующей электронной микроскопии (б, в), корреляционная диаграмма излучения ИОФ (з), спектр электролюминесценции ИОФ и схема интерферометра НВТ (д).

товой точки (см. рис. 4, д). Корреляционные диаграммы, полученные с использованием интерферометра Hanbury-Brown and Twiss (HBT), демонстрируют однофотонный характер излучения (см. рис. 4, з).

Уменьшение времени спонтанной эмиссии экситона квантовой точки за счет эффекта Пурселла с ~ 1 нс до $\sim 0,4$ нс позволило поднять быстродействие ИОФ до рекордно высокого уровня 1 ГГц.

Учеными Института физики полупроводников им. А. В. Ржанова разработана технология изготовления матричных фотоприемных модулей на основе ГЭС МЛЭ КРТ, выращенных на «альтернативной» подложке из кремния (рис. 5). Такие фотоприемники обладают повышенной стойкостью к термоциклированию, поскольку коэффициенты термического расширения кремниевой схемы считывания и фотоприемной матрицы на кремниевой подложке одинаковы.

Основные параметры матричного фотоприемника форматом 320×256 элементов на

основе ГЭС МЛЭ КРТ-Si для спектрального окна прозрачности атмосферы 3—5 мкм:

Характеристика	Полученное значение
Длина волны максимума спектральной чувствительности, мкм	4,0
Длинноволновая граница спектральной чувствительности на уровне 0,1 от максимального значения, мкм	4,4
Средняя величина разности температур, эквивалентной шуму, мК	13,3
Динамический диапазон выходных сигналов по недефектным элементам, дБ	≥ 70
Кадровая частота, Гц	50
Количество дефектных элементов, %	1,26
Рабочая температура, К	78

Учеными того же Института впервые показано, что естественный оксид на поверхнос-

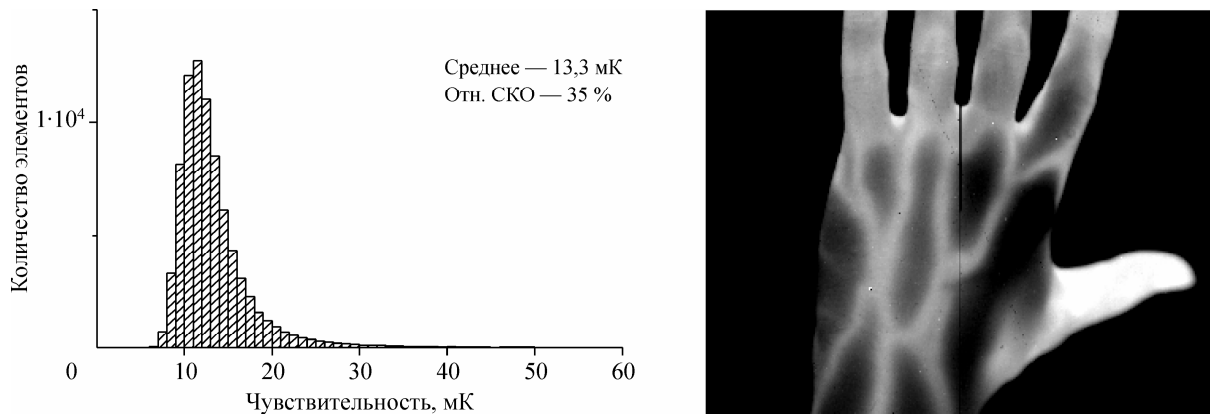


Рис. 5. Гистограмма разности температур (NEDT), эквивалентной шуму фотоприемника 320×256 элементов (слева), и пример теплового изображения, полученного с его помощью в составе макета тепловизионного канала.

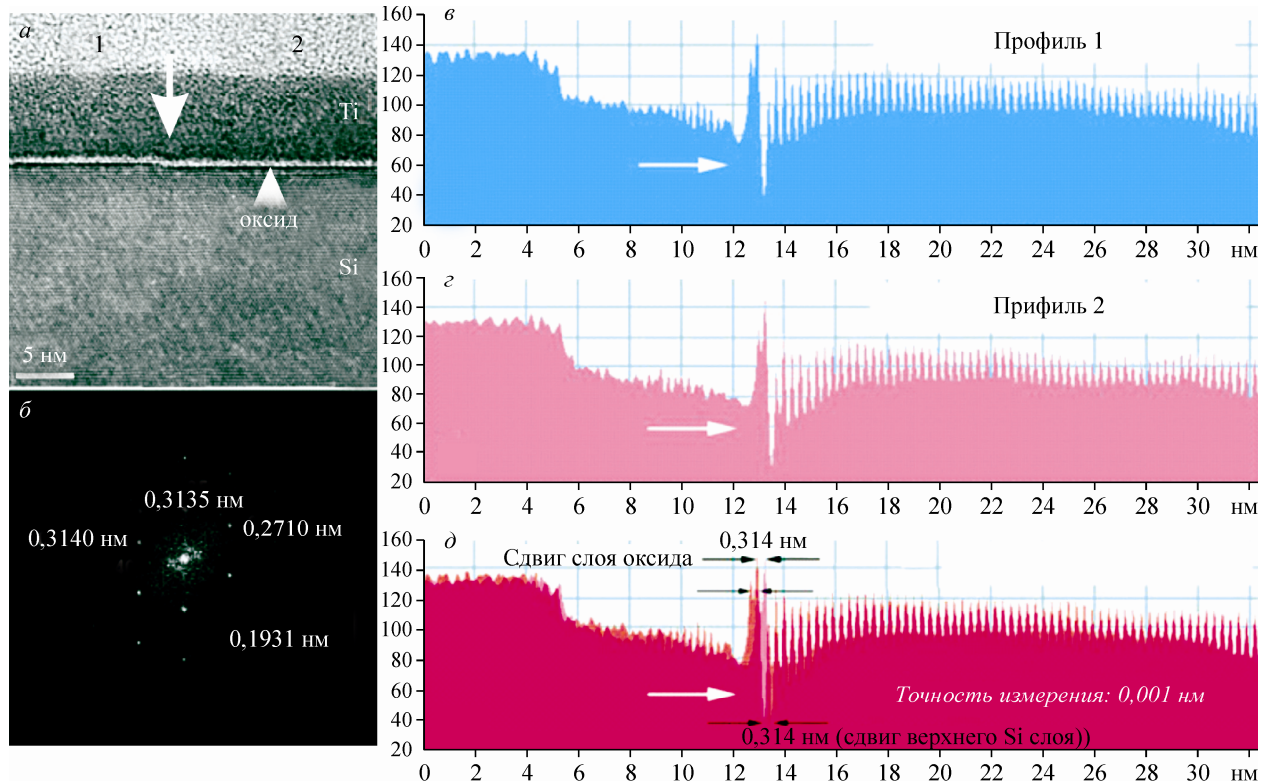


Рис. 6. ВРЭМ-изображение моноатомной ступени на гетерограницах $\text{Si}(111)\text{—SiO}_2$ и $\text{SiO}_2\text{—Ti}$ (а) и фурье-спектр для области Si с измеренными межплоскостными расстояниями (б). в, г — профили интенсивности изображения на рис. а, записанные в направлении сверху вниз слева (область 1) и справа (область 2) от ступени. Области интегрирования профилей интенсивности выделены на рис. а белыми прямоугольниками. д — изображение наложенных профилей интенсивности.

ти $\text{Si}(111)$ с моноатомными ступенями полностью реплицирует рельеф поверхности кремния. Высота и положение ступеней на поверхности оксида кремния соответствуют высоте и положению моноатомных ступеней на поверхности $\text{Si}(111)$. По данным высокоразрешающей электронной микроскопии (ВРЭМ) попереч-

ных срезов гетероструктуры $\text{Ti—SiO}_2\text{—Si}(111)$, высота ступеней на гетерограницах $\text{SiO}_2\text{—Si}(111)$ и $\text{SiO}_2\text{—Ti}$ является одинаковой и с точностью $\approx 0,3\%$ соответствует межплоскостному расстоянию для плоскостей (111) в объемном кремнии — $0,314$ нм.

Программа 2.1.2. Новые оптические материалы, технологии и приборы, их применение (координатор акад. В. Ф. Шабанов)

Учеными Института физики им. Л. В. Киренского впервые обнаружен магнитозависимый эффект СВЧ-детектирования в гранулированных материалах манганитов. Проведены исследования эффекта детектирования в зависимости от температуры, магнитного поля, мощности СВЧ-излучения, тока смещения. Показано, что в основе эффекта лежит взаимосвязь спин-поляризованного электронного транспорта через магнитные туннельные контакты и спиновой динамики ферромагнитных гранул, формирующих эти контакты в образцах. На примере рассмотрения одиночного магнитного туннельного контакта построена модель, качественно описывающая экспериментальные данные (рис. 7). Суммарная величина эффекта определяется всей совокупностью туннельных контактов в образце.

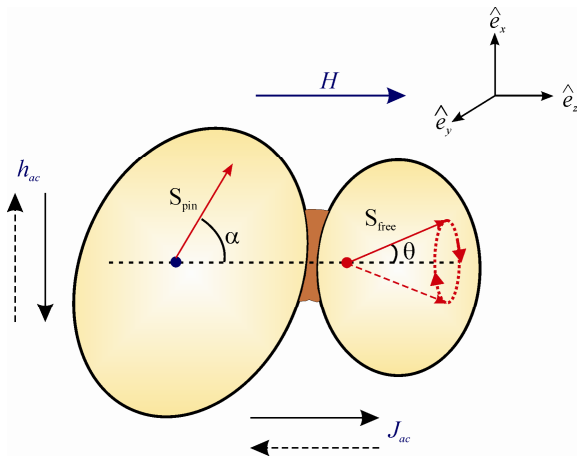


Рис. 7. Схематичная картина двух соседних гранул в образце, образующих магнитный туннельный контакт. Прецессия намагниченности S_{free} одной из гранул вызывает временную зависимость сопротивления туннельного перехода для спин-поляризованного тока $R(t) = R_{\uparrow\uparrow} + \Delta R / (2(1 - S_{pin} \cdot S_{free}))$, $R_{\uparrow\uparrow}$ — сопротивление контакта, когда S_{pin} и S_{free} параллельны, ΔR — увеличение сопротивления, когда S_{pin} и S_{free} антипараллельны. СВЧ-ток, протекающий через контакт $J(t) = J_{ac} \sin(2\pi ft - \delta)$, приведет к появлению постоянного напряжения $V_{dc} = \langle J(t)R(t) \rangle_T = (J_{ac} \Delta R / 4) \sin \theta \sin \alpha \cos(\phi - \delta)$.

Учеными этого же Института разработан способ перестройки спектра пропускания одномерного фотонного кристалла (ФК) с нематическим жидкокристаллическим дефектом при ориентационном переходе слоя жидкого кристалла (ЖК) из гомеотропного в планарное состояние (В-эффект) (рис. 8, 9).

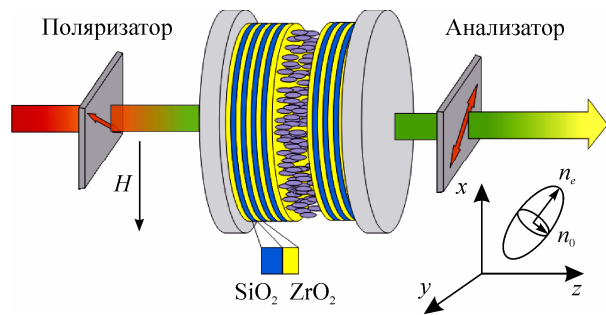


Рис. 8. Схема экспериментальной ячейки для исследования трансформации спектра дефектных мод ФК с ЖК-слоем, помещенного между скрещенными поляризаторами, при переориентации нематика из гомеотропного в планарное состояние.

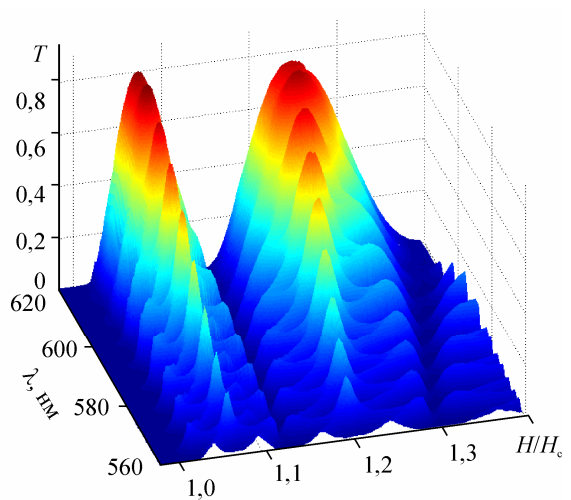


Рис. 9. Спектр пропускания ячейки ФК/ЖК, помещенной между скрещенными поляризаторами, в зависимости от приложенного поля. Пороговое поле $H_c = 6,3$ кЭ.