



Российская Академия Наук

**РАЗРАБОТКА ФИЗИЧЕСКИХ ПРИНЦИПОВ,
МАТЕРИАЛОВ И КОНСТРУКЦИЙ ДЛЯ СОЗДАНИЯ
НОВЫХ БИОЛОГИЧЕСКИХ, ХИМИЧЕСКИХ И
ФИЗИЧЕСКИХ СЕНСОРОВ**

Ирен Е. КУЗНЕЦОВА

Глав.научн.сотр., д.ф.-м.н., профессор РАН

**Институт радиотехники и электроники им. В.А.
Котельникова РАН**





Физические принципы реализации сенсоров


- электрохимический,
- волоконно-оптический,
- кондуктометрический,
- калориметрический,
- резистивный,
- акустоэлектронный,
- сверхпроводниковый,
- генно-инженерный,
- наноэлектронный,
- магнитный,
- акусто-оптический



Области применения сенсоров

- экология,
- биомедицина,
- производство,
- робототехника
- «умный» дом
- автомобилестроение

Тенденции развития сенсоров

- 
- Носимые устройства, в т.ч. гибкая электроника;
 - Объединение и миниатюризация датчиков;
 - Устройства для персональной медицины;
 - Датчики на основе нескольких физических принципах;
 - Улучшение параметров существующих устройств

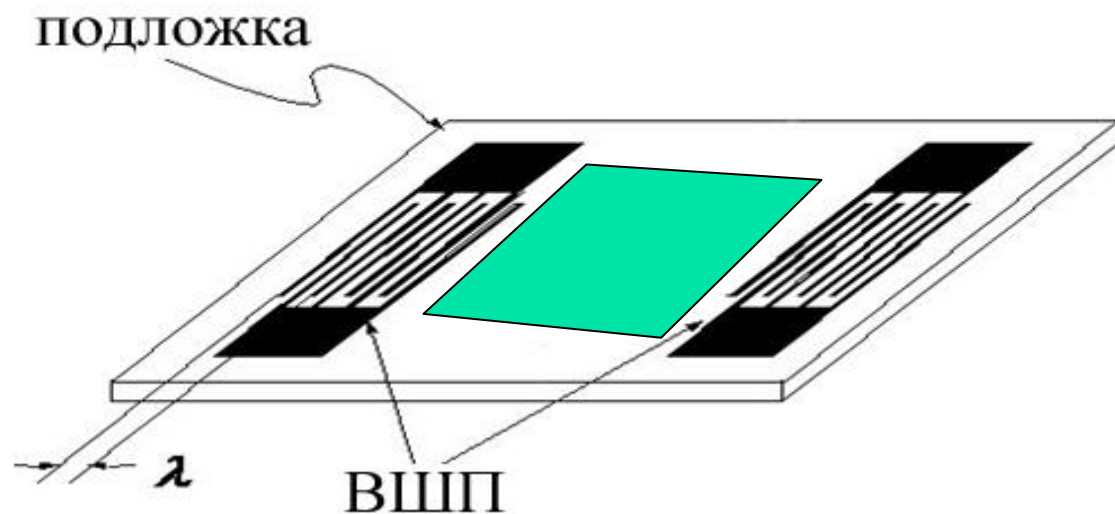


Цель работы

- разработка и исследование наноэлектронных, оптоэлектронных, акустоэлектронных и акусто-оптических сенсоров,
- разработка и исследование новых композитных наноматериалов с заранее заданными свойствами, параметры которых могут меняться под внешним воздействием

Разработка новых и совершенствование существующих акустоэлектронных датчиков

Принцип функционирования акустоэлектронных датчиков



Для разработки подобных датчиков необходимо проводить поиск новых материалов и типов волн и анализировать их реакцию на изменение граничных условий.

Акустический датчик влажности с пленкой оксида графена

$h_{GO\ film} = 1\ \mu\text{m}, f = 23\ \text{MHz}$

Ultrasonics 2017(81) 135

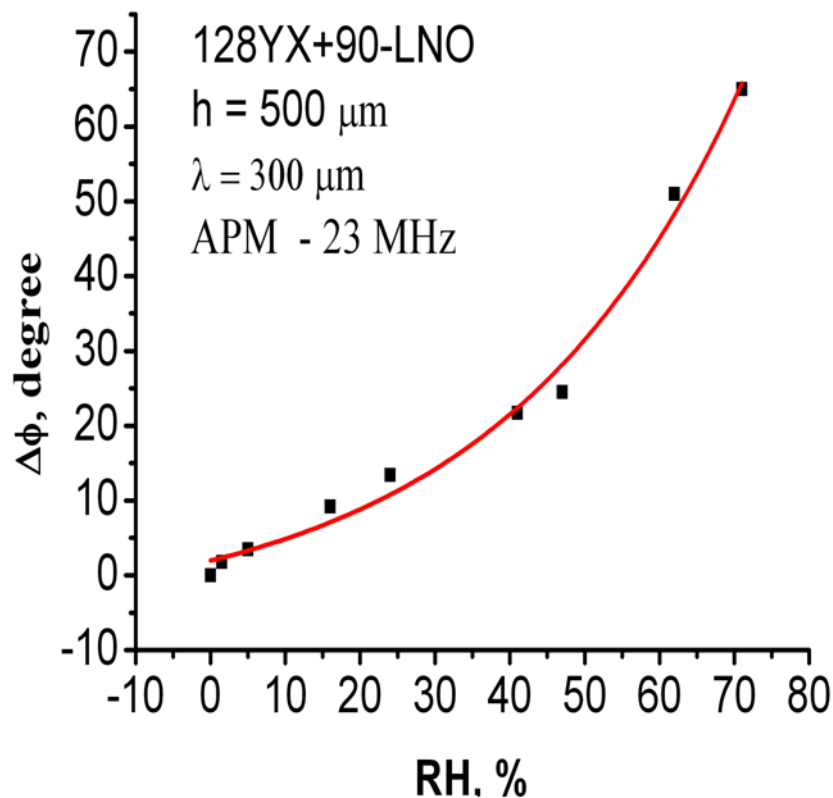
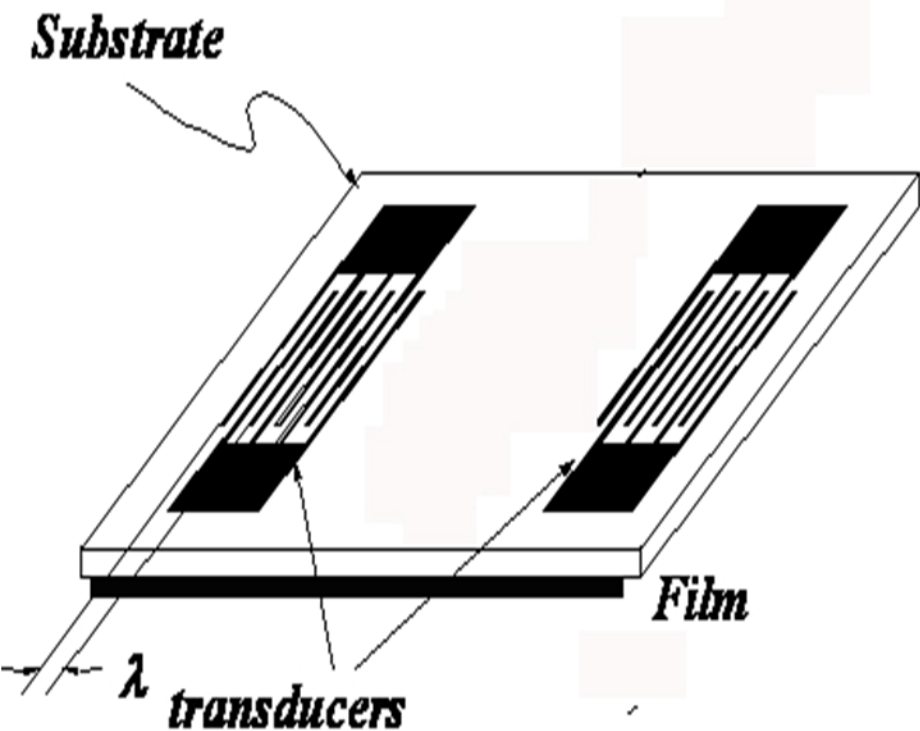


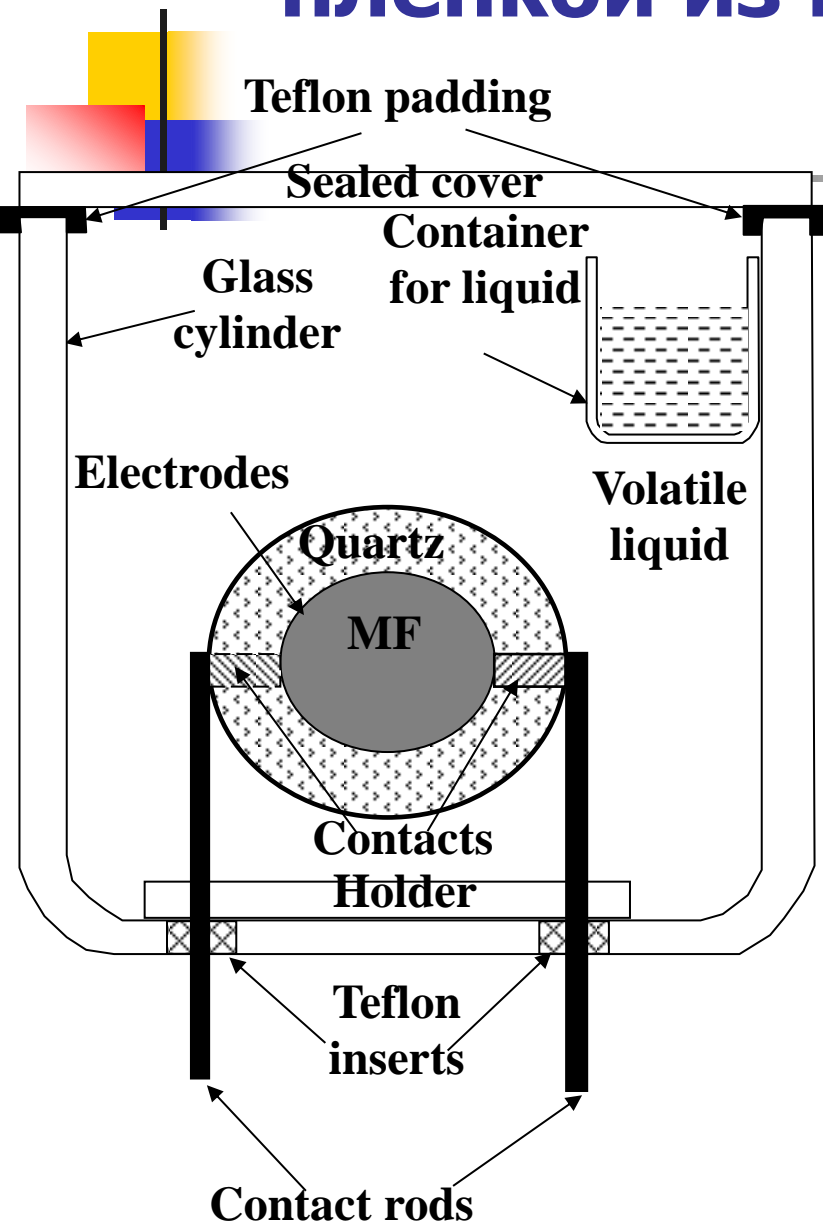
Схема и калибрационная кривая

Порог срабатывания при RH=0.03%!!!

Пленка ОГ не чувствительна к O₂, H₂, CO, CH₄, NO

Акустический газовый датчик с пленкой из мицелия грибов

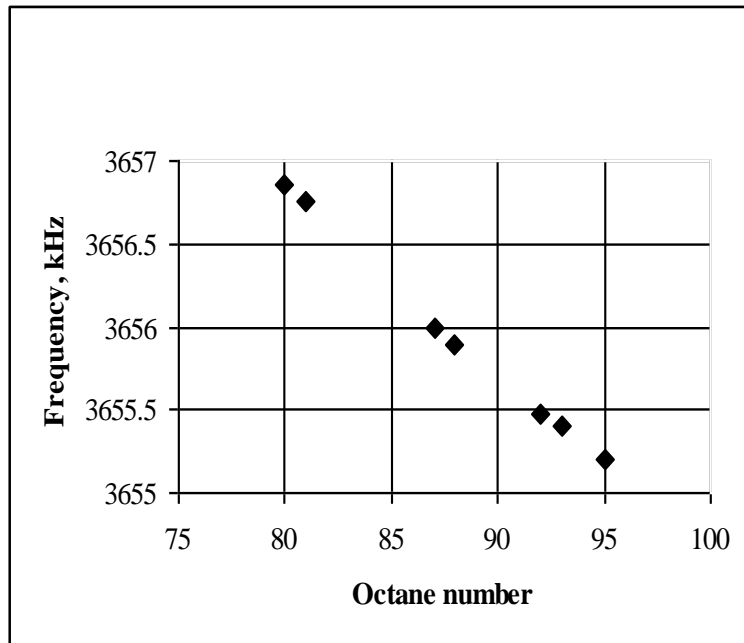
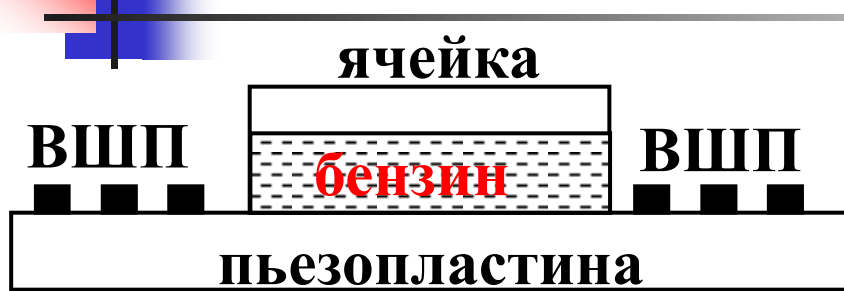
Sens. and Act.:B 2017(243) 525



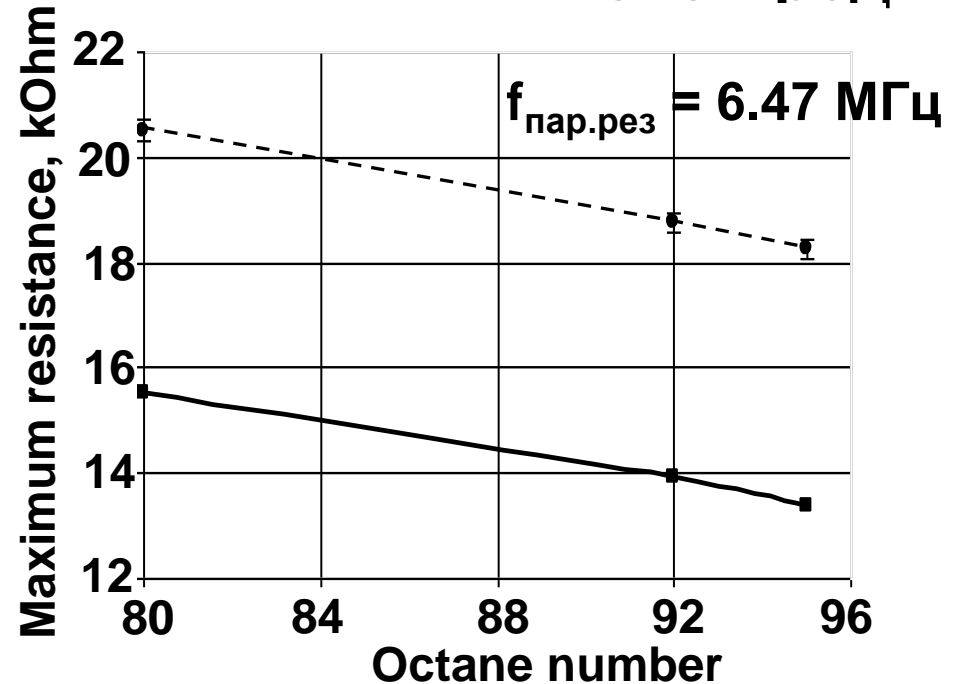
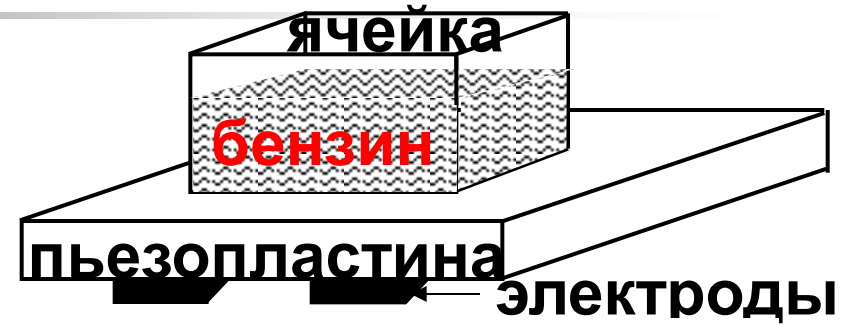
Изменения упругих модулей, плотности и вязкости пленок из мицелия *L.edodes* в присутствии/отсутствии целевого газа - обратимо. Эти пленки в зависимости от методики их приготовления могут использоваться для регистрации аммиака, этилацета и формальдегида.

Акустические идентификаторы бензина

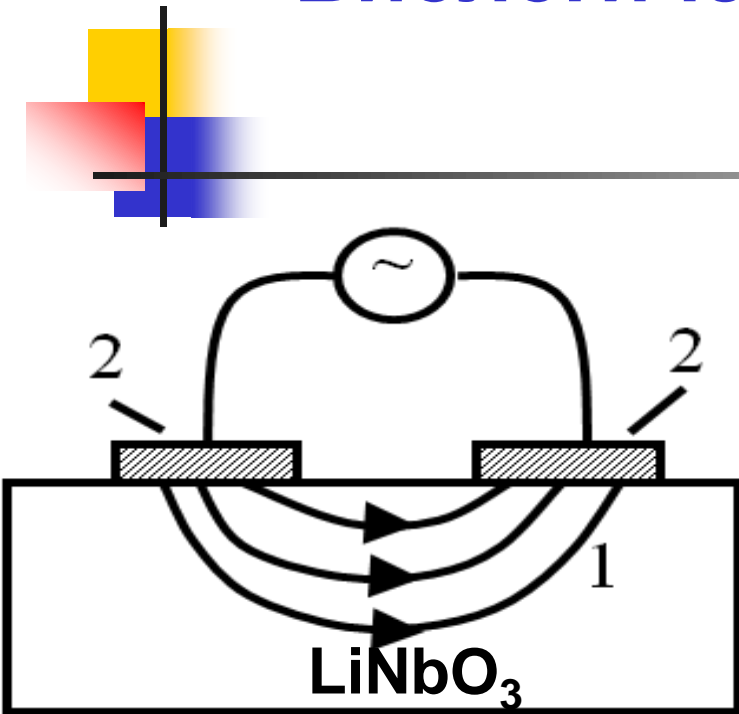
Ultrasonics 2016(70) 34



Ultrasonics 2017(80) 96



Биологические акустические датчики



Чувствительность датчика на резонаторе с поперечным полем для кишечной палочки – **1000 кл/мл**

TUFFC 2012(59) 963; Биофизика 2012(57) 460; Микробиология 2013(82) 218



Чувствительность датчика на волнах высших порядков к бактериальным клеткам – **0.07%**

Ultrasonics 2015(62) 156

Биологические акустические датчики

исследуемая
суспензия

суспензия после
био-
взаимодействия

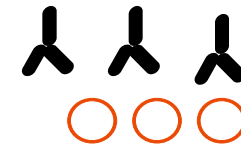
+ Ab

Детекция бак-
териальных
клеток

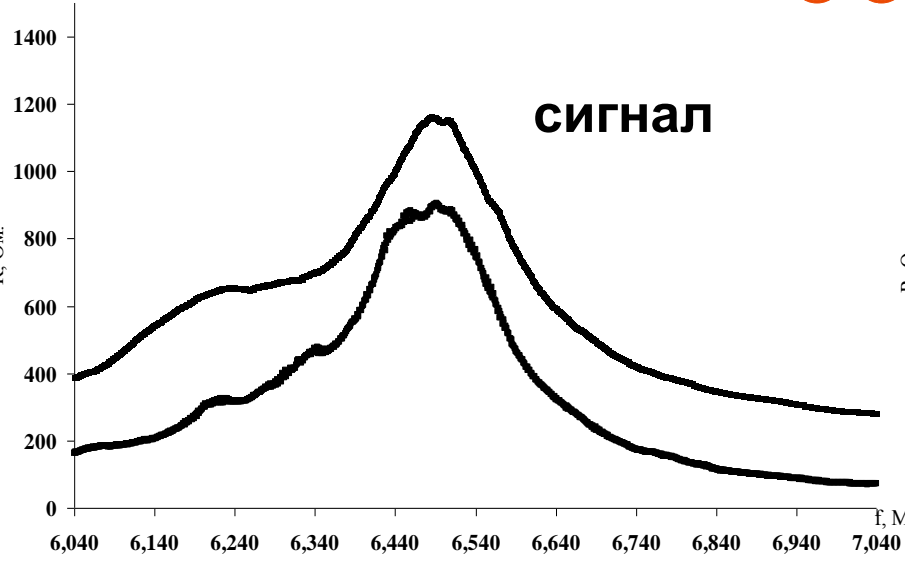
ак. волна
электроды

ак. волна
электроды

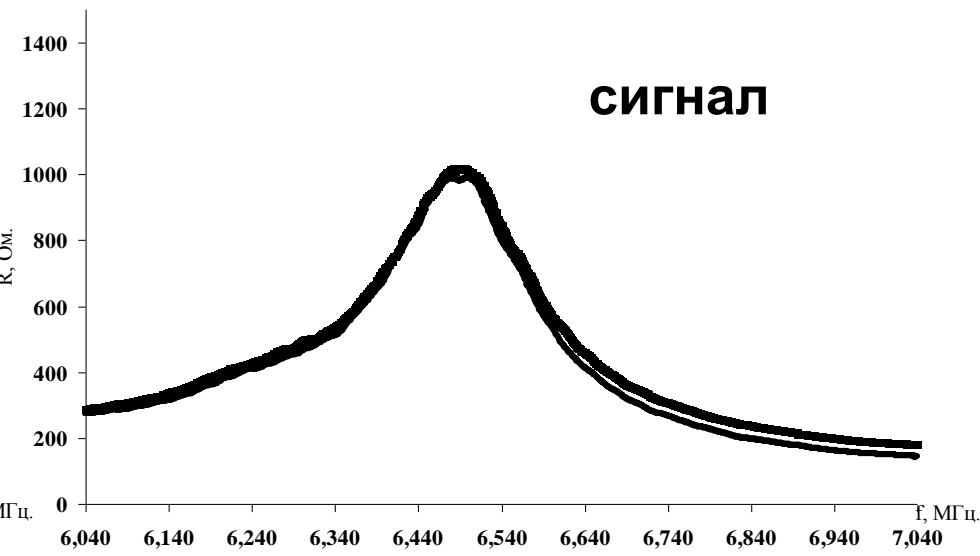
Антитела взаимодействует
с бактериями



Нет
взаимодействия



Есть специф. бакт. в суспензии



Нет специф. бакт. в суспензии

ИНТЕГРАЛЬНАЯ РЕШЕТКА АКУСТИЧЕСКИХ ЖИДКОСТНЫХ ДАТЧИКОВ

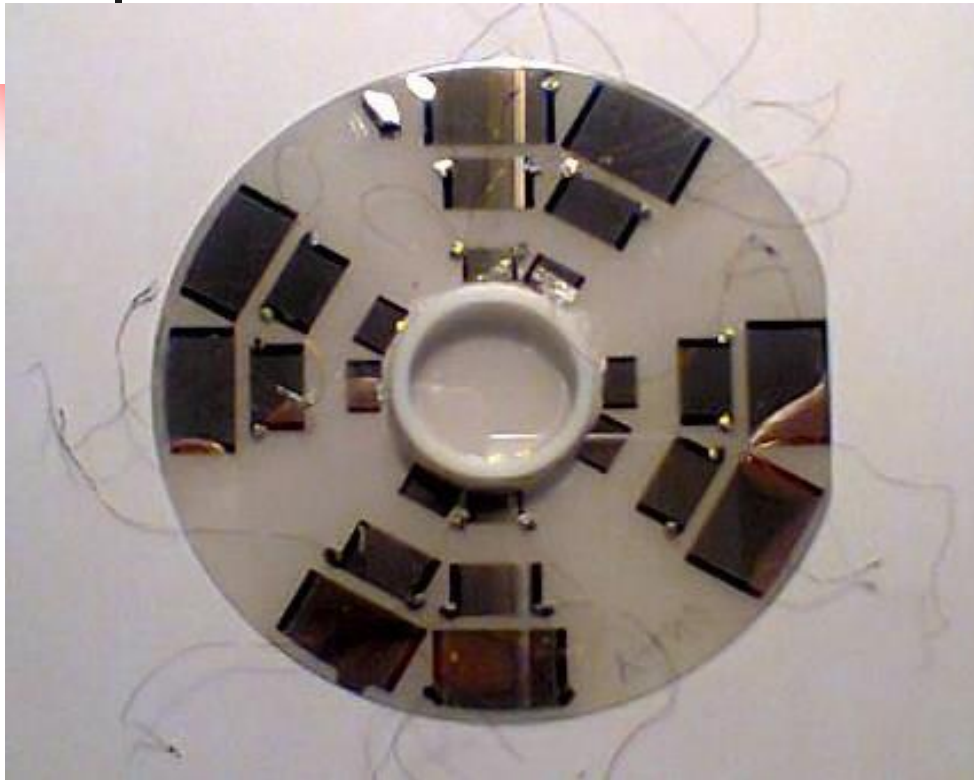
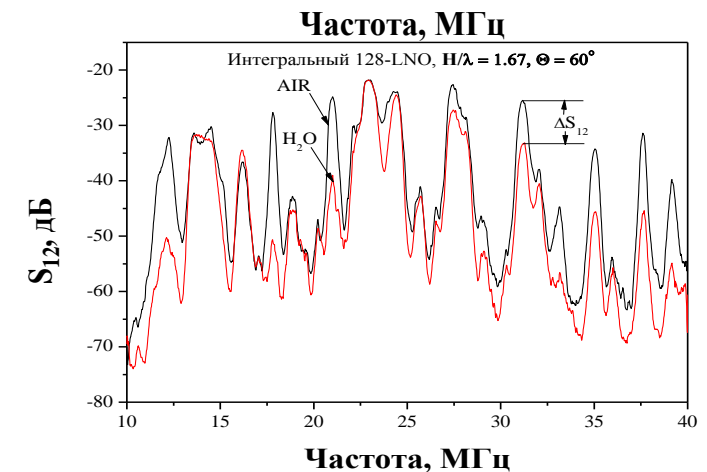
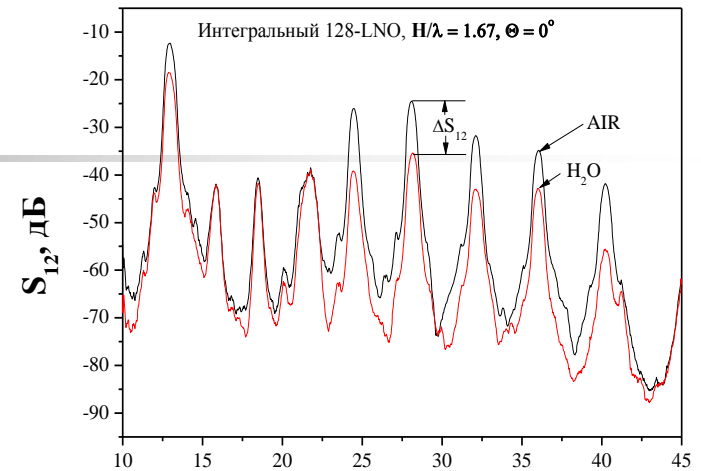


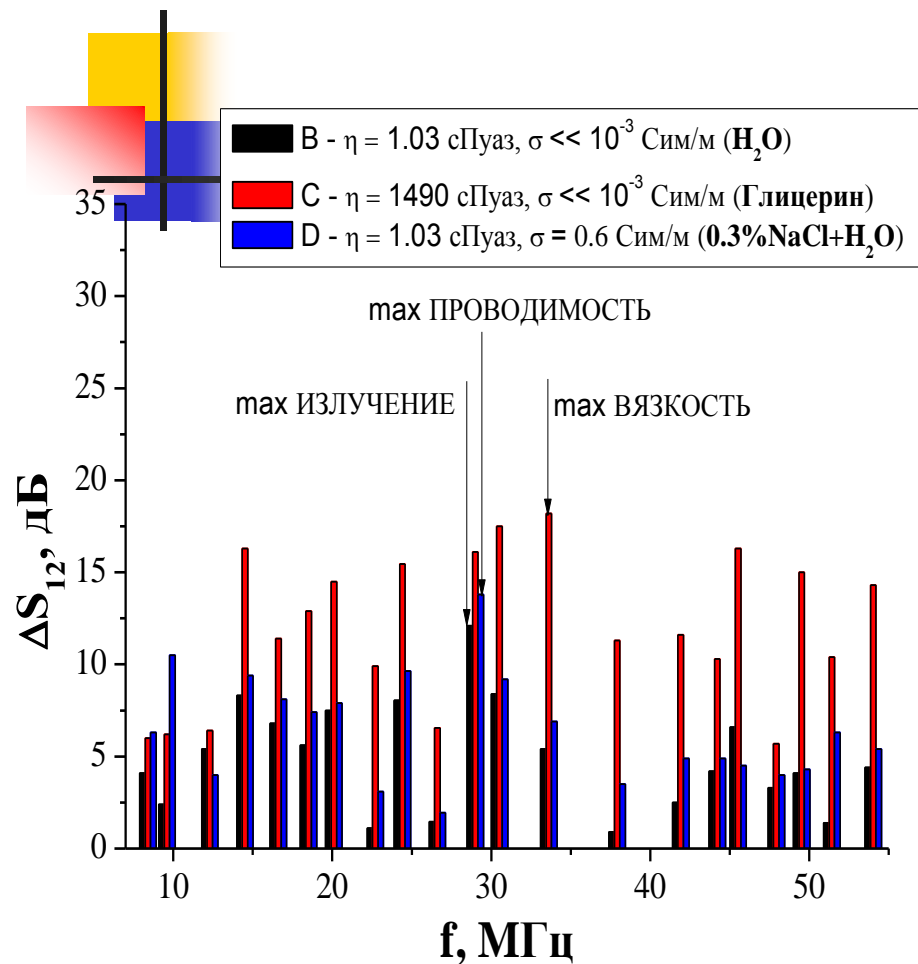
ФОТО ДАТЧИКА

Интегральная решетки акустических датчиков жидкости, выполненная на трехдюймовой пластине $128^\circ\text{Y-LiNbO}_3$. Содержит 3 системы по 4 пары встречно-штыревых преобразователей. В центре решетки - тефлоновая ванночка диаметром 20 мм и стенками толщиной 2 мм.

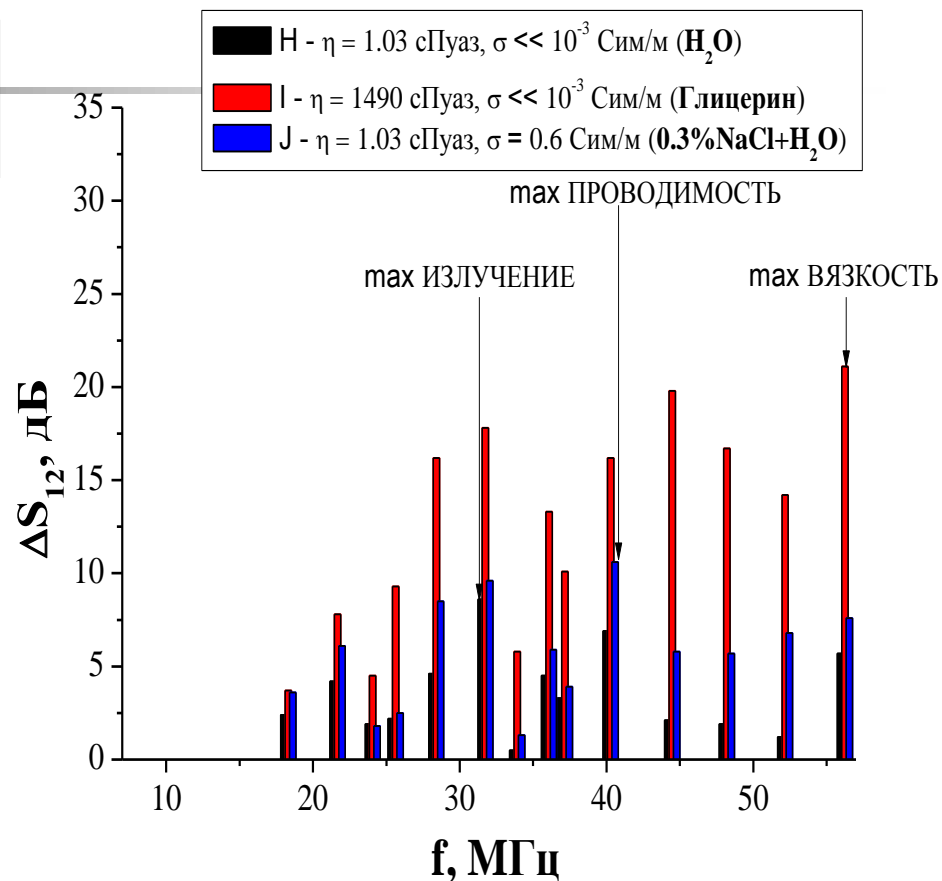


Амплитудно-частотные характеристики нормальных акустических волн (параметр $|S_{21}|$) каналов $\Theta = 0^\circ$ и 60° при толщине пластины $H/\lambda = 1.67$ (с и без жидкости H₂O). Метки 1 - 11 - нормальные волны разных номеров n .

АМПЛИТУДНЫЕ ОТКЛИКИ



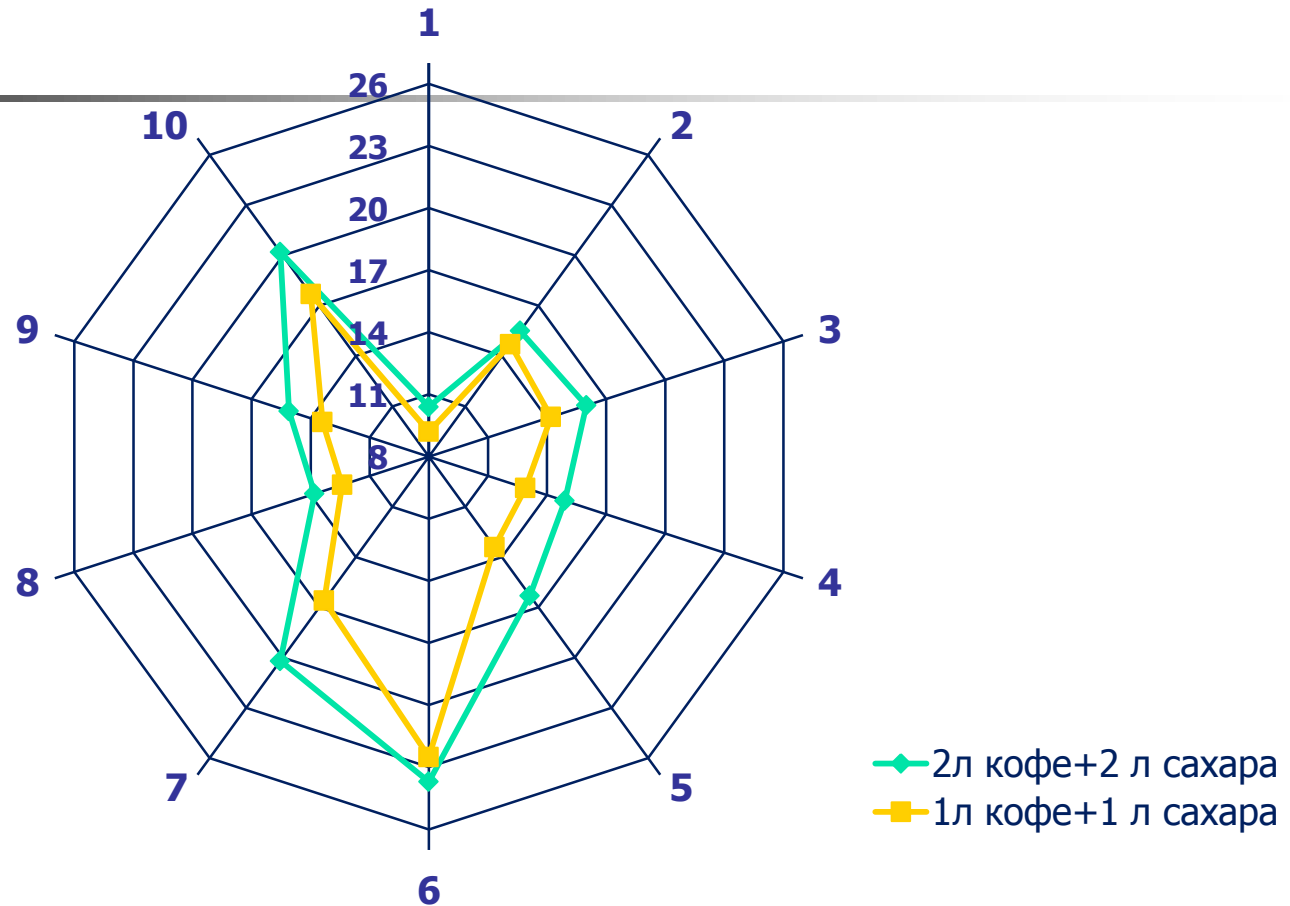
КАНАЛ (А)



КАНАЛ (Б)

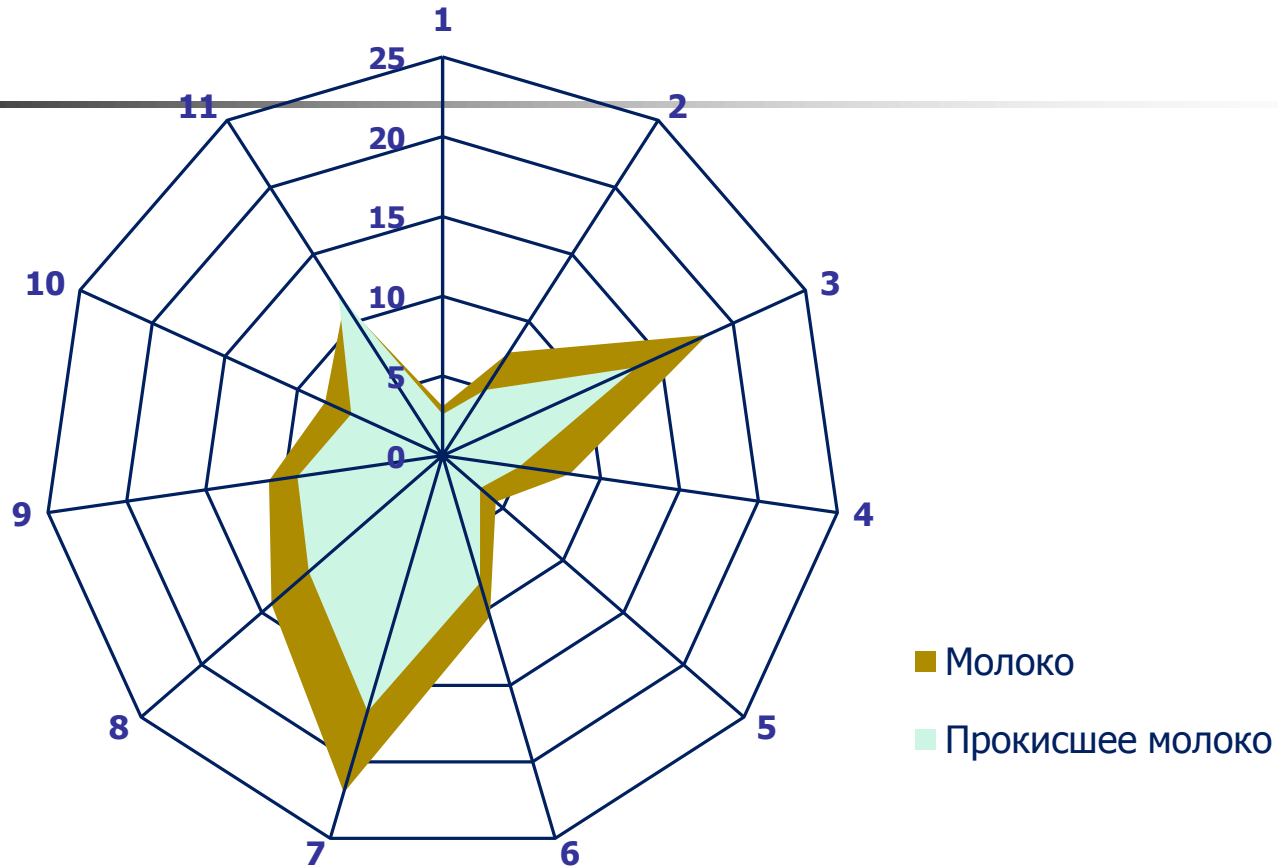
Амплитудные «отклики» нормальных волн в пластинах с разной толщиной $H/\lambda = 1.02$ (А) и 2.5 (Б) при фиксированном направлении распространения $\Theta = 60^\circ$.

КОФЕ



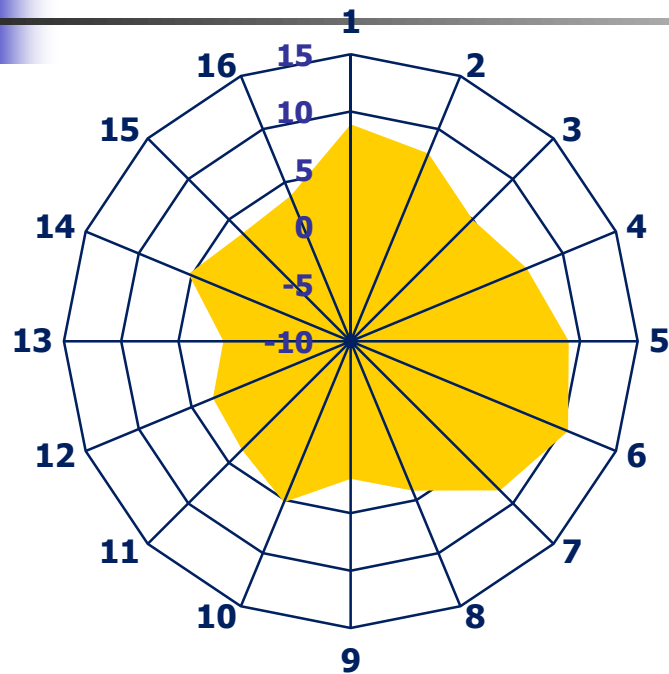
Амплитудные «отклики» нормальных волн в пластине толщиной
 $H/\lambda = 1.67$ при фиксированном направлении распространения $\Theta = 60^\circ$.

МОЛОКО

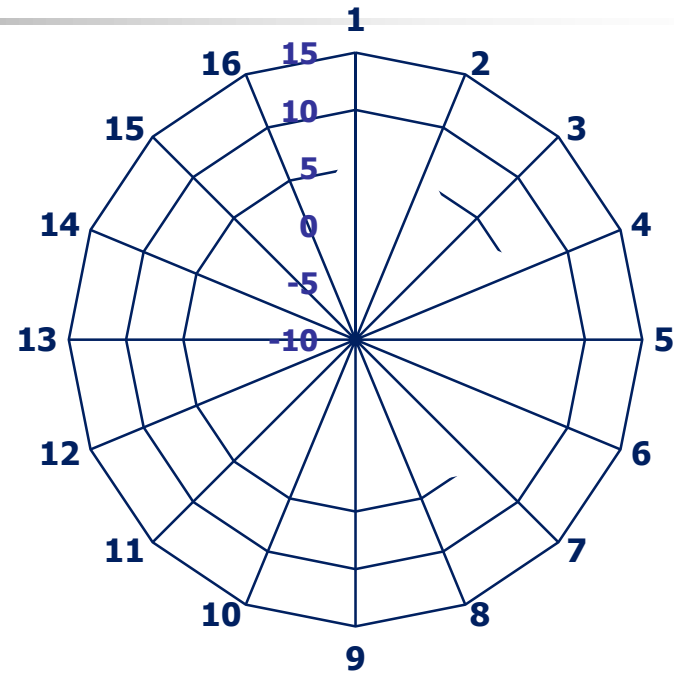


Амплитудные «отклики» нормальных волн в пластине толщиной $H/\lambda = 1.67$ при фиксированном направлении распространения $\Theta = 60^\circ$.

ВОДА



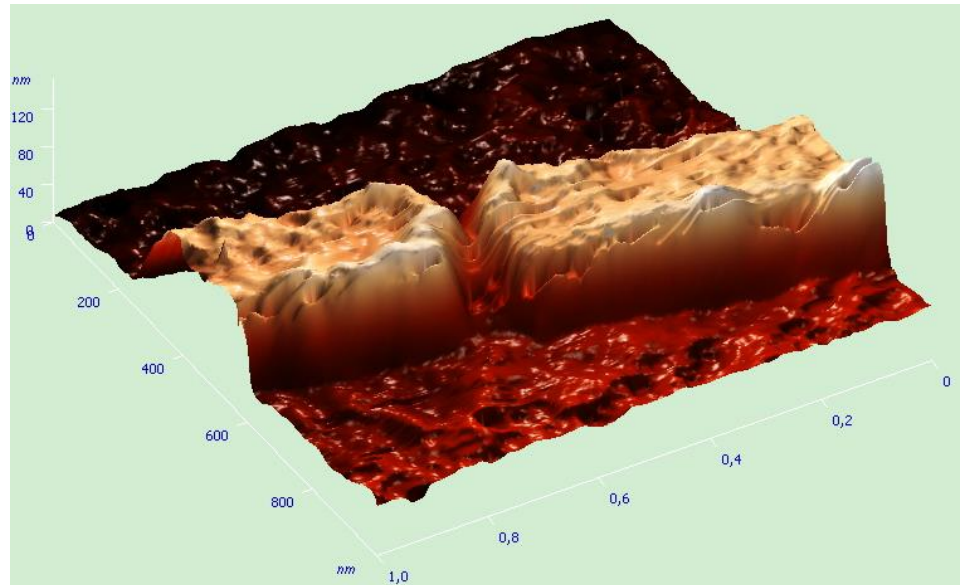
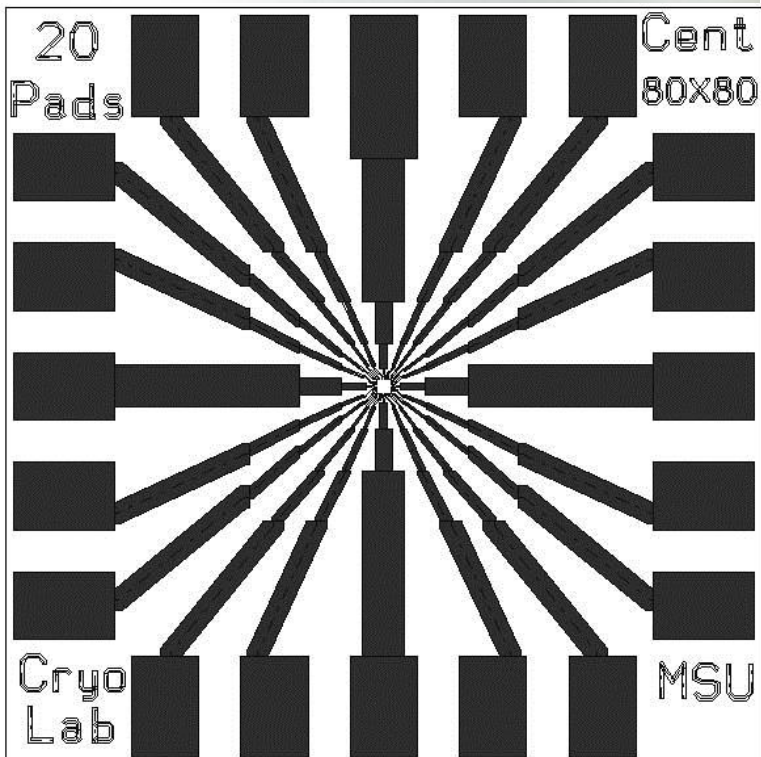
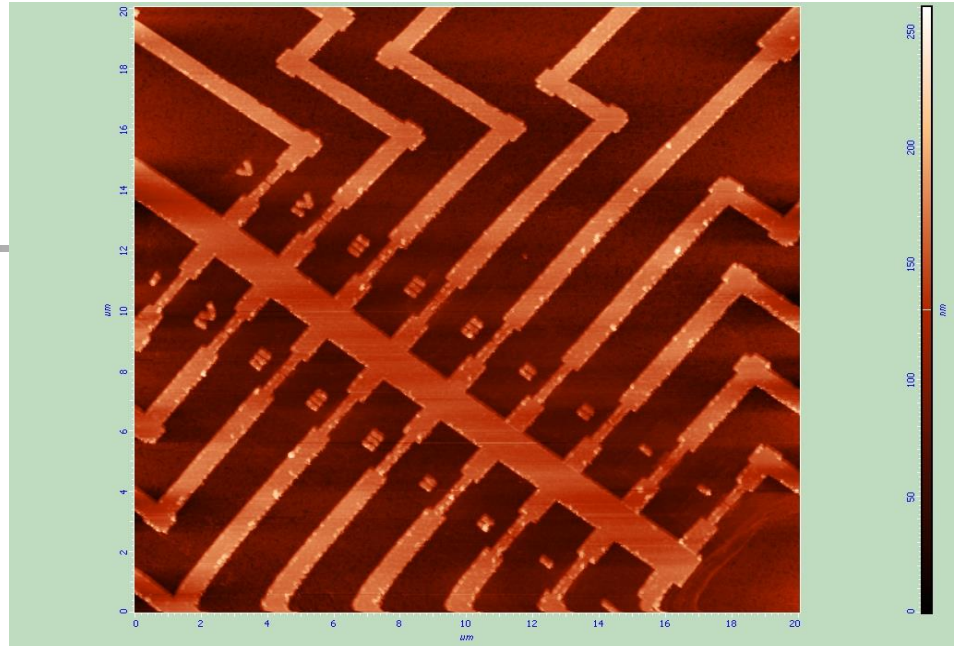
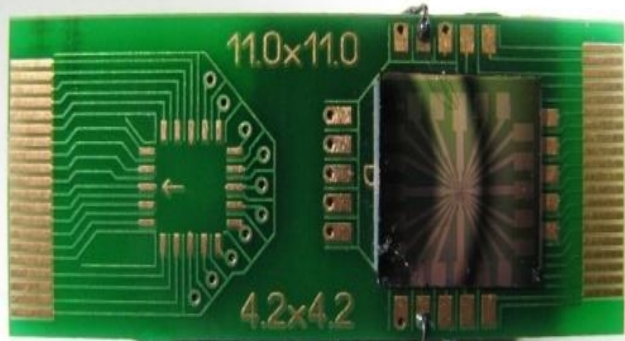
■ святая вода



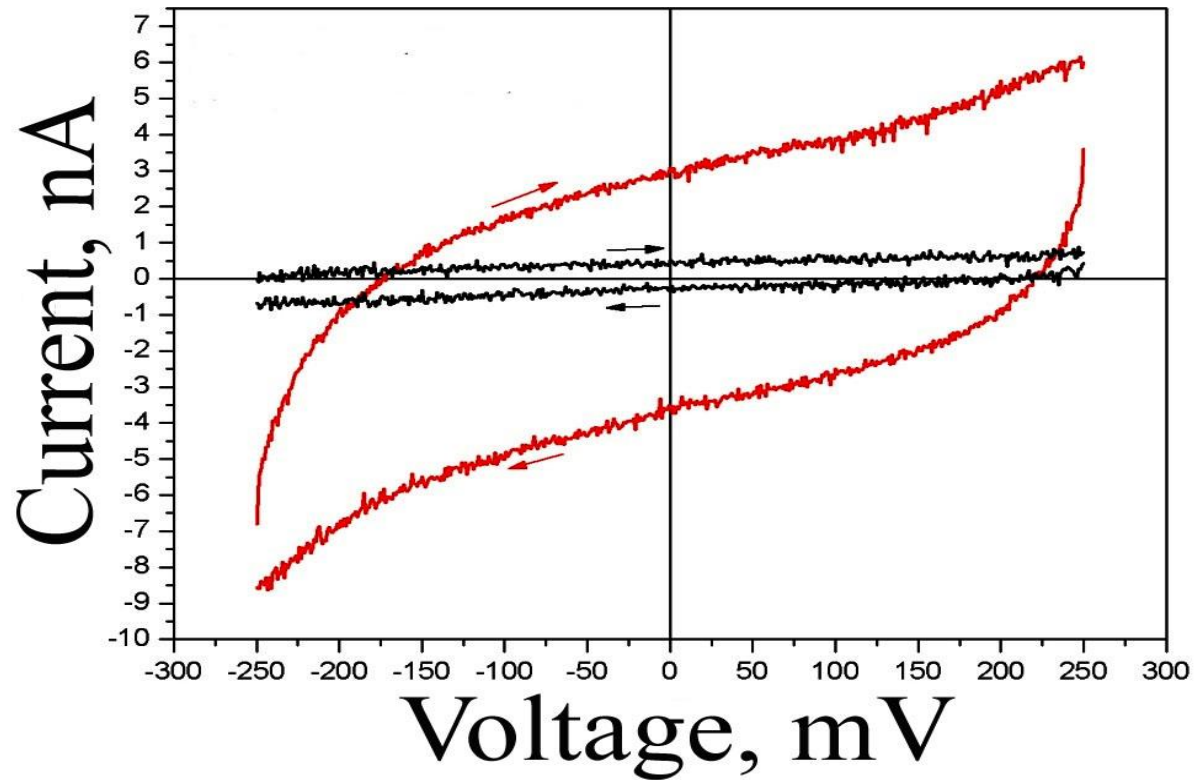
вода из колодца

Амплитудные «отклики» нормальных волн в пластине толщиной $H/\lambda = 1.67$ при фиксированном направлении распространения $\Theta = 60^\circ$.

Нано-электронные биодатчики



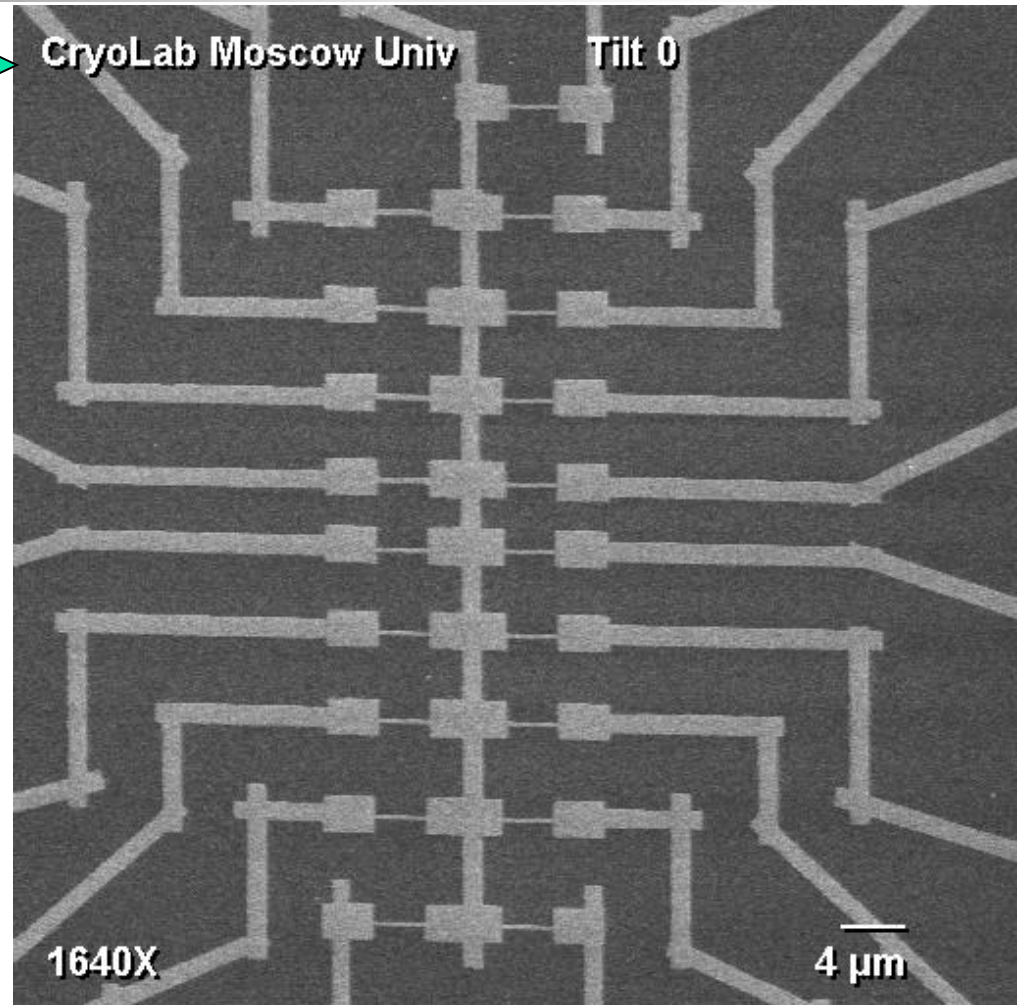
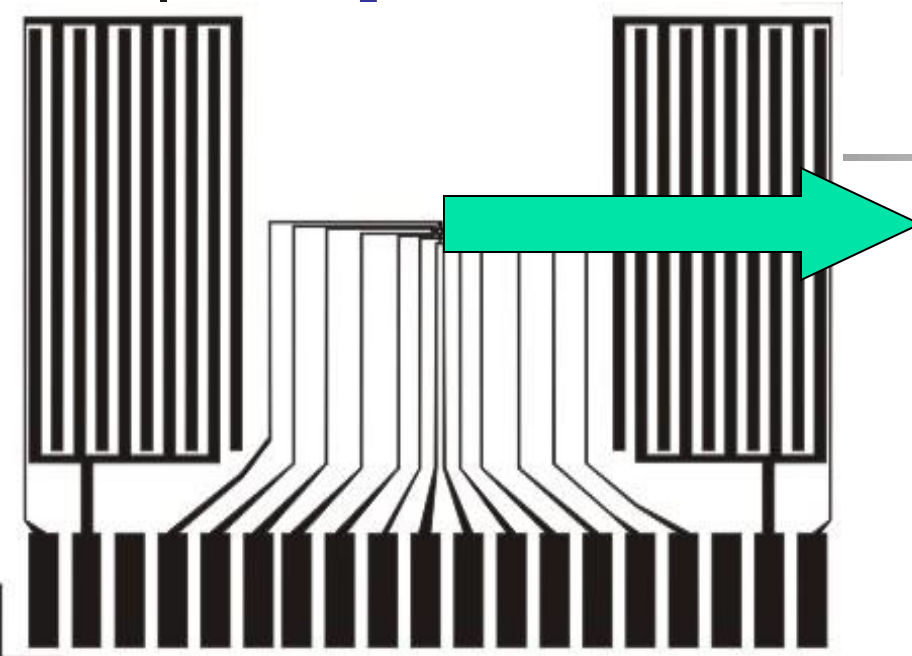
Нано-электронные биодатчики



ВАХ наноэлектронного биосенсора в отсутствии (черная) и присутствии глюкозы (красная)

Гибридные акусто-нано-био-электронные датчики

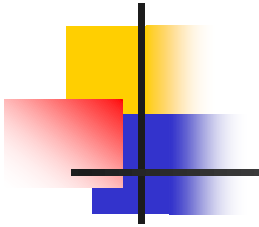
80x80 микрон



Электронная технология ионного травления и магнетронного напыления. Засветка электронного проводника проводится лучом.

нано-литография, реактивного травления и магнетронного фоторезиста электронным лучом.

Исследование свойств новых материалов

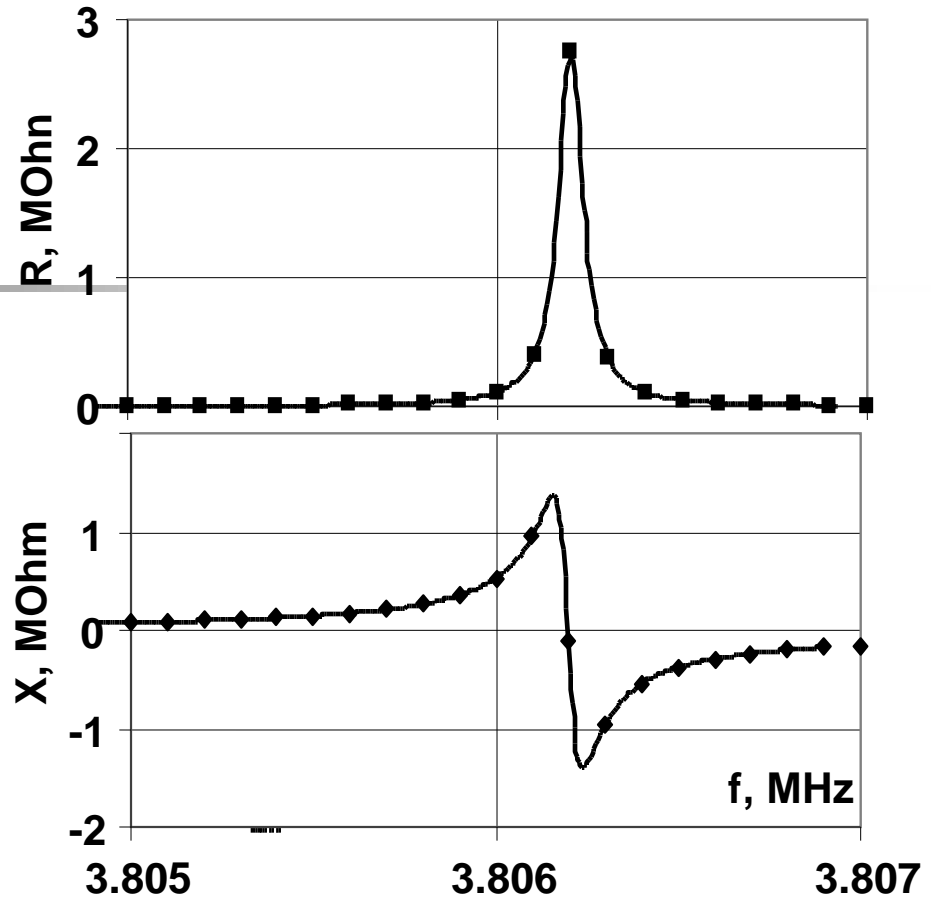
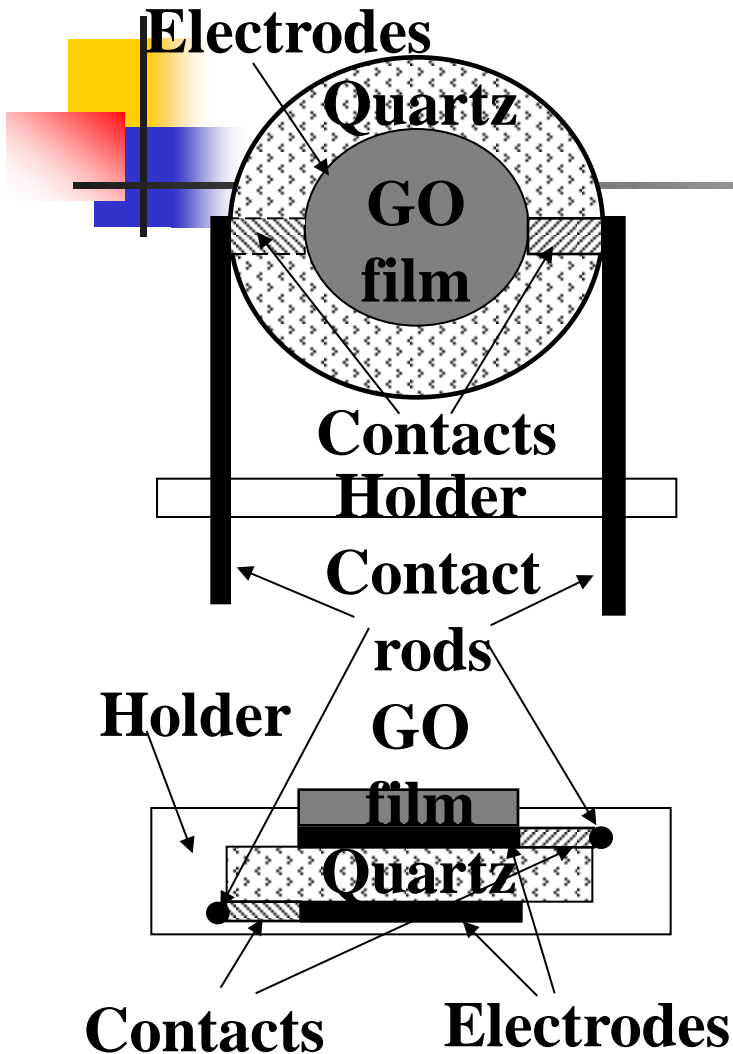


**Нанокompозитные полимерные материалы
на основе полиэтиленовой матрицы с
внедренными наночастицами металлов и
их оксидов**

**Их использование в качестве согласующих слоев
увеличивает эффективность излучения
ультразвука в жидкость и газ в два раза**

**Ultrasonics 2008(48) 587; TUFFC 2010(57) 2099; JAP 2013(113) 224507;
Патент РФ №126824 от 10.04.2012**

Акустические свойства ОГ



С11 пленки ОГ – 12.3 МПа
С44 пленки ОГ – 3 МПа
Плотность ~850 kg/m³.
Толщина пленки – 1.5 мкм

Направления работ

- 
- продолжение исследований фундаментальных свойств акустических волн в пьезоэлектрических материалах и структурах на их основе.
 - продолжение работ по поиску и анализу применимости новых материалов для химических и физических датчиков.
 - работы по совмещению принципов акусто- и наноэлектроники для создания гибридных датчиков.
 - разработка хеморезистивных датчиков на основе тубулярных наноструктур TiO_2
 - разработка гибких сенсорных устройств



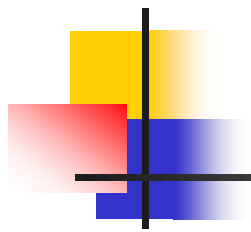
Участники проекта

- Кузнецова И.Е., д.ф.-м.н., Москва
- Анисимкин В.И., д.ф.-м.н., Москва
- Колесов В.В., к.ф.-м.н., Москва
- Хазанов Е.Н., д.ф.-м.н., Москва
- Проклов В.В., д.ф.-м.н., Фрязино
- Ушаков Н.М., д.ф.-м.н., Саратов
- Перепелицын Ю.Н., к.ф.-м.н., Саратов
- Зайцев Б.Д., д.ф.-м.н., Саратов
- Сергеев В.А., д.ф.-м.н., Ульяновск



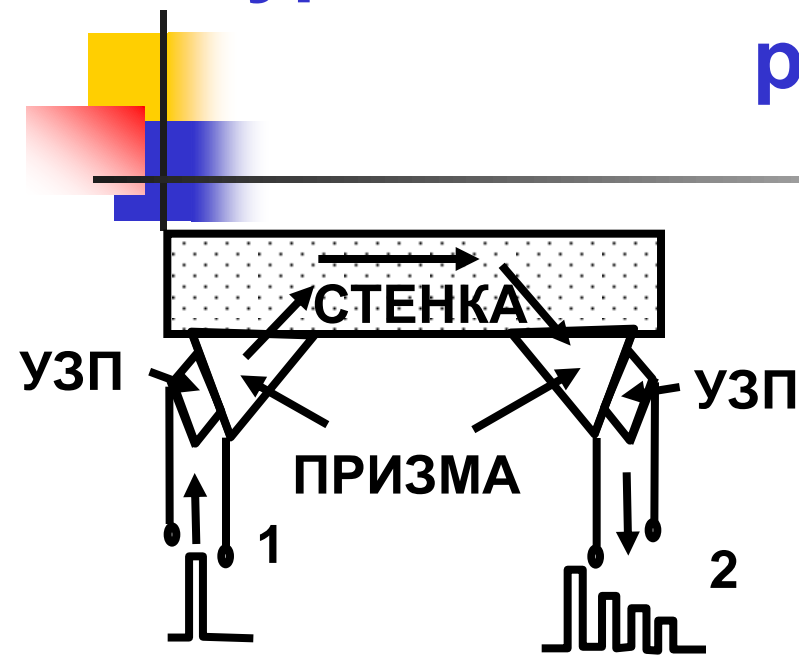
Финансирование работ

- Госзадание ИРЭ
- РНФ 15-19-20046
- РНФ 18-49-08005 (Россия-Тайвань)
- РФФИ 17-307-50007, 17-07-00750, 16-07-00821, 17-57-53101 (Россия-КНР)



СПАСИБО ЗА ВНИМАНИЕ!

Акустическое устройство контроля уровня жидкости в технологических резервуарах



Погрешность измеряемого уровня 1-10 см.

В 2002 году устройство РУБИН-1 прошло государственную аттестацию и рекомендовано к серийному производству. Выпускается НПП Техноавтомат (г.Энгельс)

Ultrasonics 2003(41) 319; Патент РФ №2383869 от 10.03.2010