

МИНОБРНАУКИ РОССИИ
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«САРАТОВСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ ИМЕНИ Н.Г.
ЧЕРНЫШЕВСКОГО»
(СГУ)

Кафедра физики полупроводников

**Исследование возможности выделения полезного сигнала на фоне шума
методом фазовой демодуляции с использованием Lock-in усилителя**

АФТОРЕФЕРАТ МАГИСТЕРСКОЙ РАБОТЫ

студента 2 курса 2252 группы

направления 11.04.04 «Электроника и наноэлектроника»

института физики

Терехина Никиты Александровича

Научный руководитель:

профессор, д.ф.-м.н., профессор

должность, ученая степень, ученое звание

А.И. Михайлов

инициалы, фамилия

подпись, дата

Консультант:

зав. уч. лаб.

должность, ученая степень, ученое звание

И.О. Кожевников

инициалы, фамилия

подпись, дата

Зав. кафедрой физики

полупроводников:

д.ф.-м.н., профессор

должность, ученая степень, ученое звание

А.И. Михайлов

инициалы, фамилия

подпись, дата

Саратов 2021

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время точное обнаружение фазового сдвига не имеет аналогов и имеет чрезвычайное значение во многих различных исследованиях в таких областях, как медицина, молекулярная биотехнология, промышленное производств, мониторинг сложных технологических систем и т.д. Высокий уровень шума окружающей среды является настоящей проблемой для получения точных фазовых измерений, особенно когда выходной сигнал очень мал по сравнению с уровнем шума. В подобных случаях, обычный фильтр нижних частот не является решением проблемы. Одним из решений такого рода проблем может служить блокирующий усилитель, который использует фазочувствительный детектор.

Актуальность темы.

Высокий уровень окружающего шума различной природы является настоящей проблемой для получения точных измерений, особенно когда выходной сигнал сравним по величине с уровнем шума. В подобных случаях, обычный фильтр нижних частот не является решением проблемы. Одним из решений такого рода проблем может служить блокирующий усилитель, который использует фазочувствительный детектор.

Цели и задачи магистерской работы.

Целью выполнения квалификационной работы является сборка, настройка, тестирование устройства детектирования малого сигнала по известной схеме Lock-in усилителя и адаптации её под задачу определения примесного состава полупроводниковых пластин методом фототермической радиометрии.

- Анализ научно-технической литературы по тематике проблемы
- Подбор и расчёт элементов схемы Lock-in усилителя
- Сборка законченного устройства
- Измерение передаточных характеристик схемы
- Проверка работоспособности устройства

Основное содержание работы.

В первом разделе рассматриваются используемые приборы и методы для возможности исследования выделения полезного сигнала на фоне шума методом фазовой демодуляции с использованием Lock-in усилителя.

Исследование проводилось на базе метода ФТР (фототермическая радиометрия), механизм работы данного метода заключается в испускании кванта света на образец, после чего детектируется тепловое излучение с исследуемого образца, далее сигнал с образца посредством фазового детектора фиксируется осциллографом и подается на синхронный усилитель (Lock-in).

Далее предоставлен краткий обзор элементов, использованных в электронной схеме собранного устройства:

1. Lock-in усилитель
2. RC-фильтр
3. Демодулятор
4. Фазовращатель на базе ОУ

Во втором разделе описывается реализация конечной электрической схемы устройства. Основными компонентами данной схемы (рисунок 1) являются входной усилитель AD 620, демодулятор AD630 для обнаружения слабого сигнала модуляции, выходной усилитель AD820.

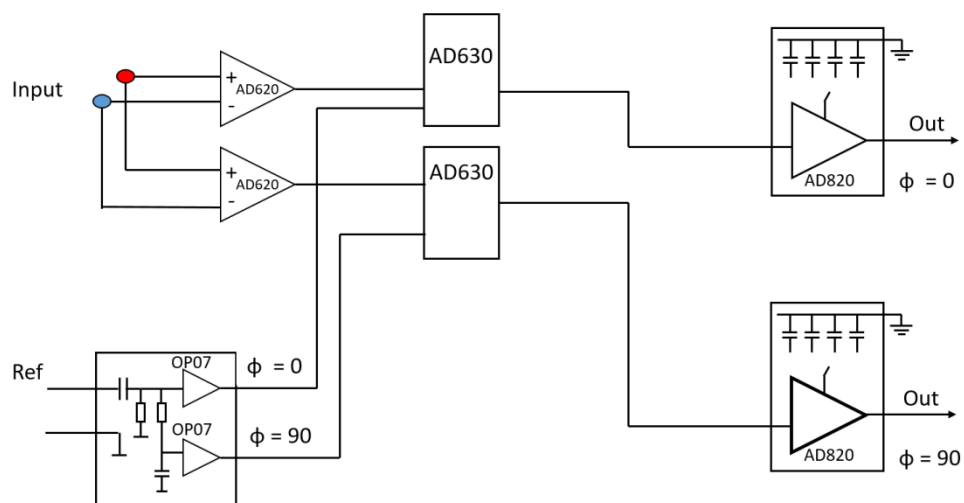


Рисунок 1 – Блок-схема установки.

За основу проектирование схемы было взято исследование Sultan Abdul Wadood. Схема устройства предоставлена на рисунке 2, а схема Lock-in усилителя со смещением изображена на рисунке 3.

Lock-In Amplifier

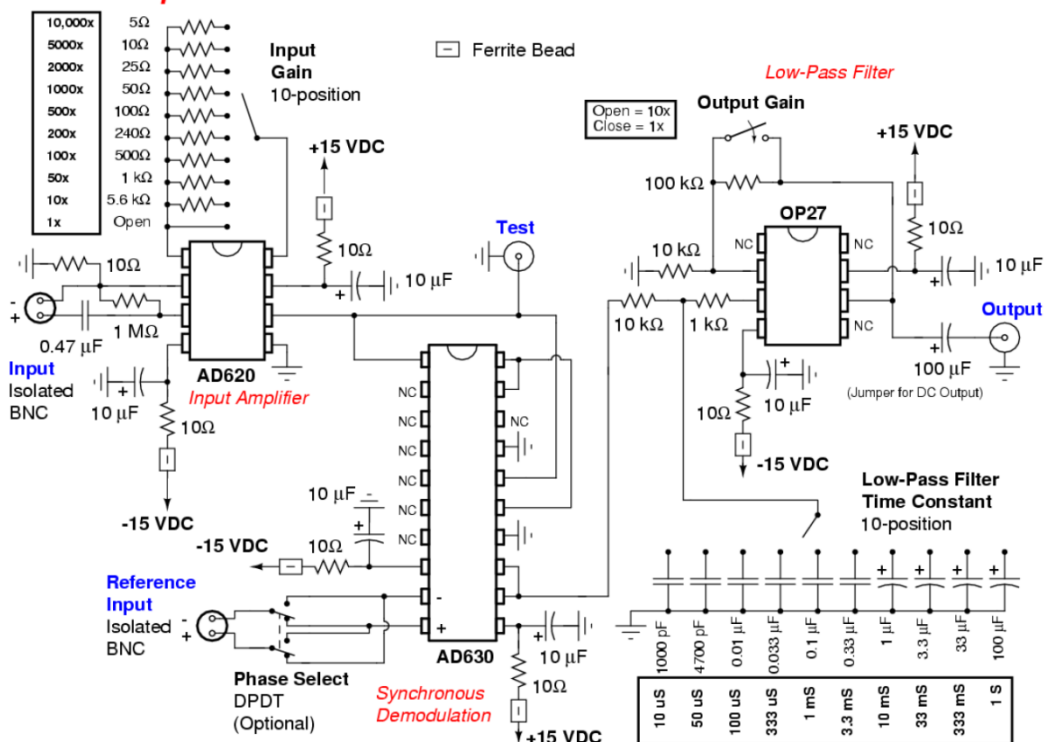


Рисунок 2 – Схема простейшего Lock-in усилителя.

Lock-in Amplifier Schematic

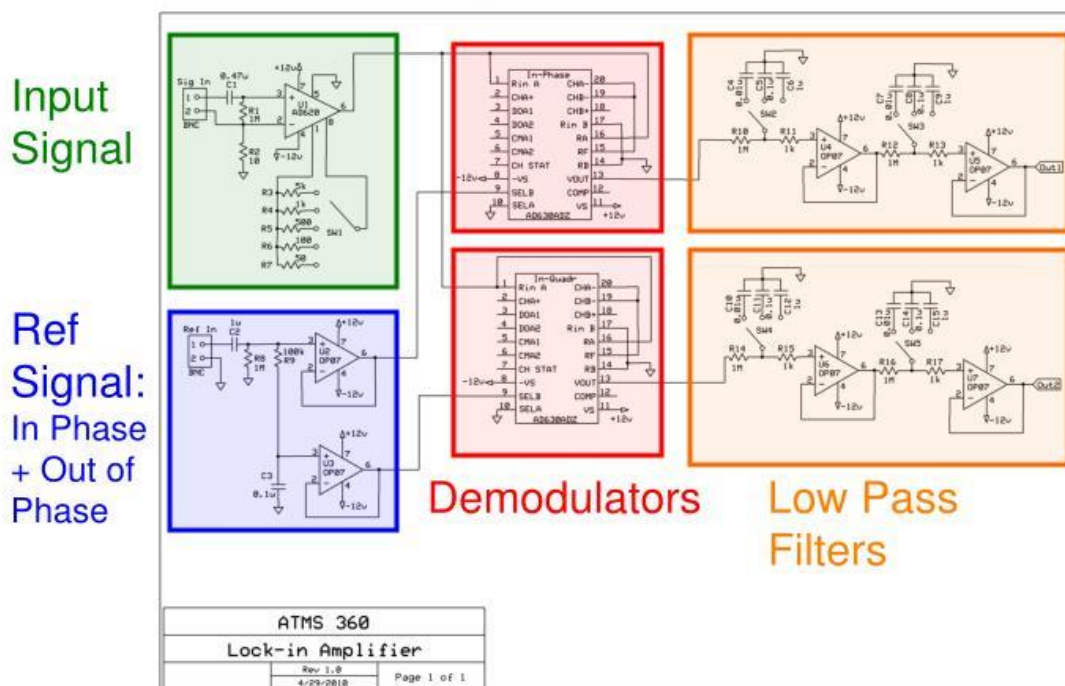


Рисунок 3 – Схема Lock-in усилителя со смещением.

Реализуемая в данной работе схема собрана на основе двух приведенных на рисунке 2 и 3 схем. Входной усилитель имеет плавную регулировку усиления в диапазоне 1-10000X. Выходной НЧ фильтр реализован в виде галетного переключателя емкости следующих номиналов: 1000 пФ, 10 нФ, 100 нФ, 1 мкФ. Схема фазовращателя выполнена согласно схеме на рисунке 3. Ее расчет приведен далее.

В третьей главе описывается процесс сборки, настройки, тестирования устройства на базе Lock-in усилителя и адаптации его под задачу определения примесного состава полупроводниковых пластин методом фототермической радиометрии.

На рисунках 4 - 6 представлены результаты расчета элементов схемы фазовращателя.

На рисунке 4 изображён правильный расчёт элементов во избежание искажения, вносимые схемой пассивного фазовращателя в выходной сигнал синхронного демодулятора. Схема пассивного фазовращателя вносит

искажения в выходной сигнал синхронного демодулятора, что может приводить к погрешности. Схема рассчитывалась на частоту 1 кГц. Искажения предоставлены на рисунке 7.

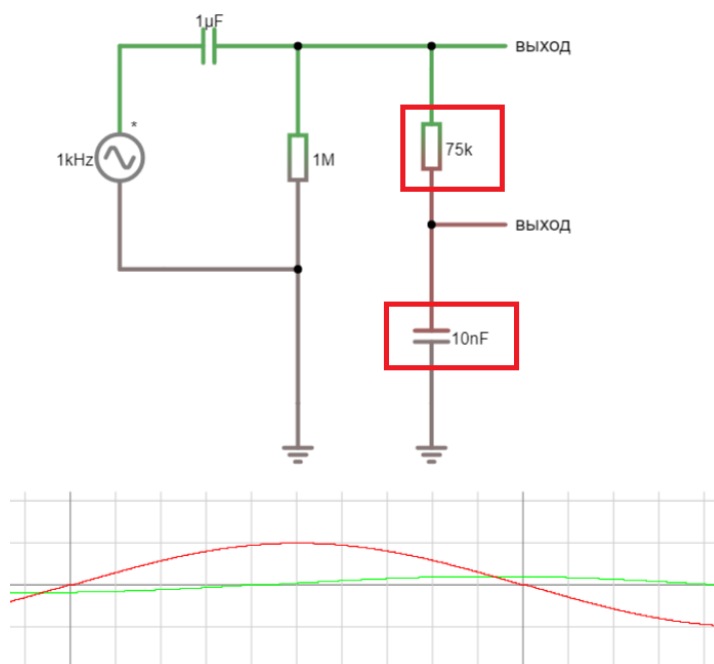


Рисунок 4 – Расчет схемы фазовращателя для частоты 1 кГц.

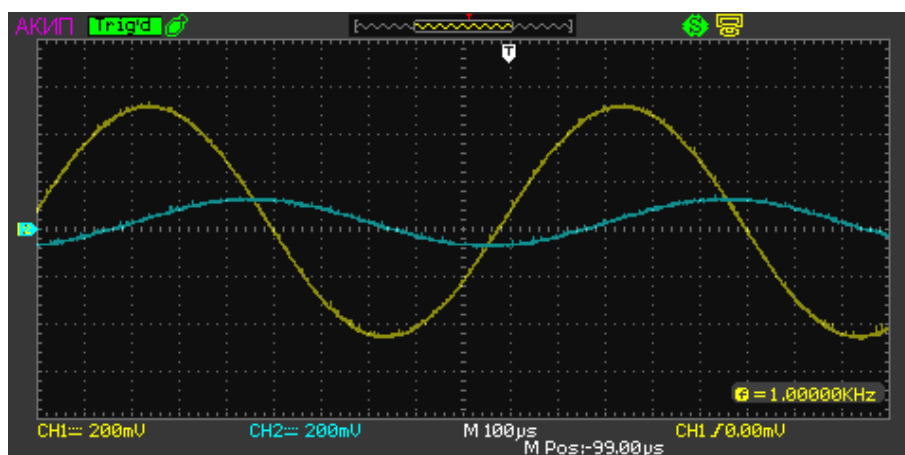


Рисунок 5 – Осциллограмма работы схемы фазовращателя на частоте 1 кГц.

Ref Input and Phase-Shift Stage

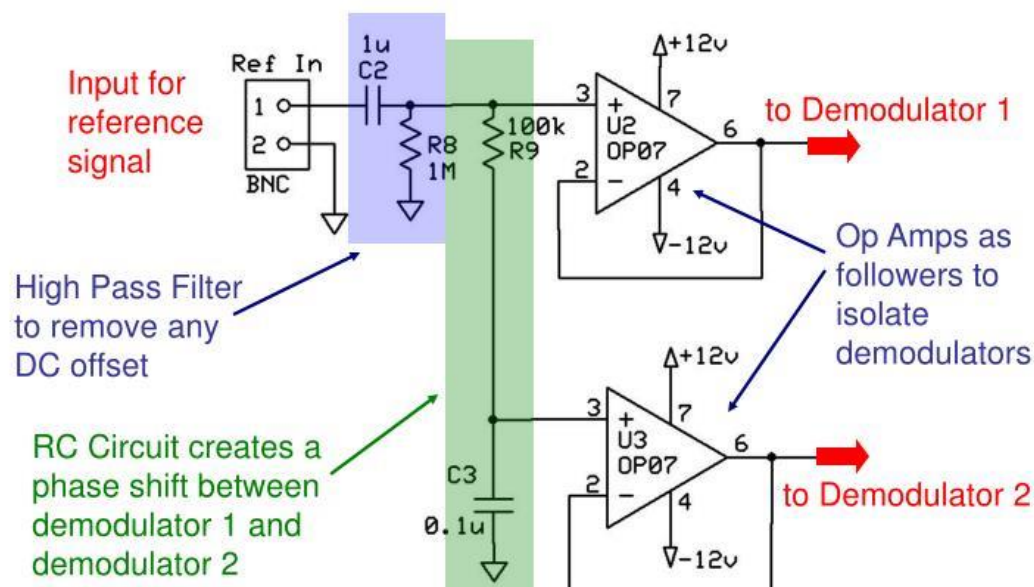


Рисунок 6 – Предложенная схема реализации блока фазовращателя синхронного усилителя.

Далее было обнаружено, что схема блока фазовращателя из рисунка 8 вносит искажения в оба выходных референсных сигнала демодулятора, что может приводить к погрешности в измерениях. На рисунке 7 можно видеть сравнение выходного сигнала демодулятора на референсном входе усилителя без фазовращателя и при использовании фазовращателя.

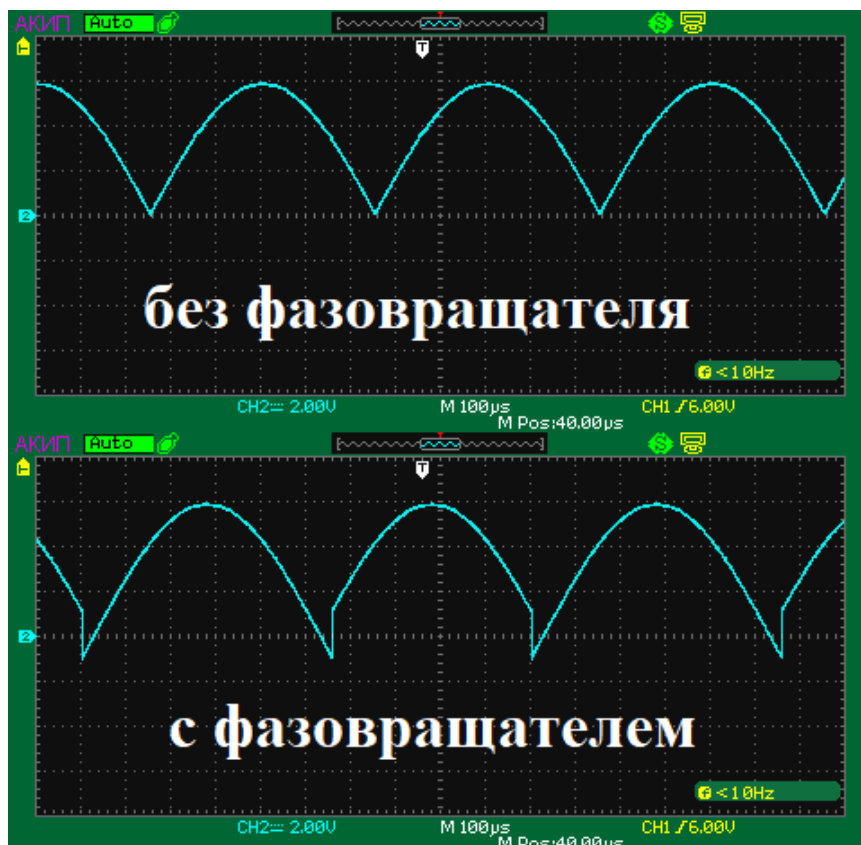


Рисунок 7 – Искажения, вносимые предложенной схемой фазовращателя в выходной сигнал демодулятора.

В заключительной части исследования измерялся реальный сигнал с выхода ИК датчика в методике ФТР. Для этого была собрана установка по схеме на рисунке 8. Установка состоит из импульсного лазера с длиной волны $\lambda = 532\text{ нм}$ и мощностью 35 мВт, задающего генератора для лазера, формирующего прямоугольные импульсы частотой 1 кГц, ослабляющего фильтра, системы зеркал и детектора ИК излучения на основе InGaAs фотодиода с окном чувствительности 800 – 1700 нм, Lock-in усилителя, осциллографа и мультиметра.

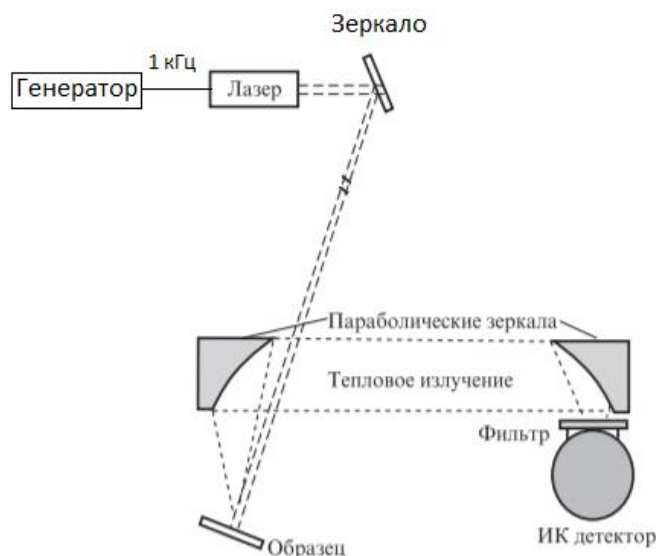


Рисунок 8 – Схема реализуемой установки ФТР.

Ослабляющий фильтр уменьшает мощность лазерного пучка, который направляется серебряным зеркалом на исследуемый образец. Два параболических зеркала собирают испускаемое образцом ИК излучение и направляют на детектор. Сигнал с ИК детектора направляется на Lock-in усилитель и одновременно на осциллограф. Референсный сигнал с генератора также отводится на вход REF Lock-in усилителя.

Далее на рисунке 9 предоставлены осциллограммы форм сигнала, приходящие на Lock-in усилитель.

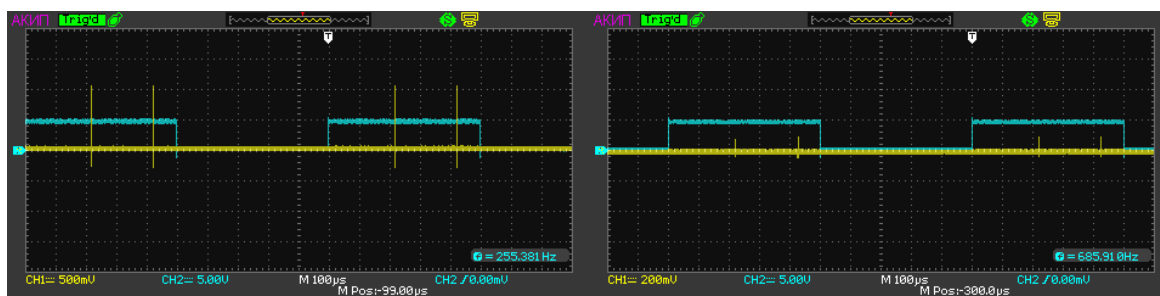


Рисунок 9 – Осциллограммы формы сигнала на входе Lock-in с рабочего стенда.

Жёлтый сигнал соответствует сигналу, снятому на входе Lock-in усилителя, голубой сигнал соответствует импульсам лазера.

На рисунке 10-14 представлено сравнение двух сигналов: желтый канал осциллографа – сигнал, регистрируемый ИК датчиком от структуры (высокоомный GaAs), голубой канал – сигнал на выходе устройства.

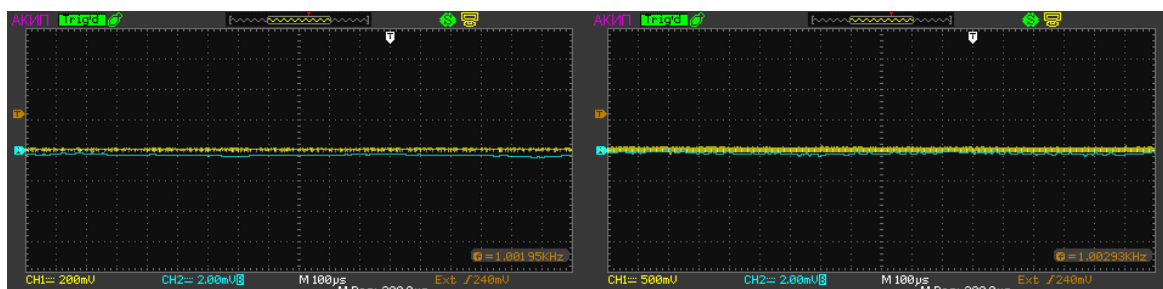


Рисунок 10 – Выходной сигнал с Lock-in усилителя при выключенном лазере.

Слева канал 1. Справа канал 2.

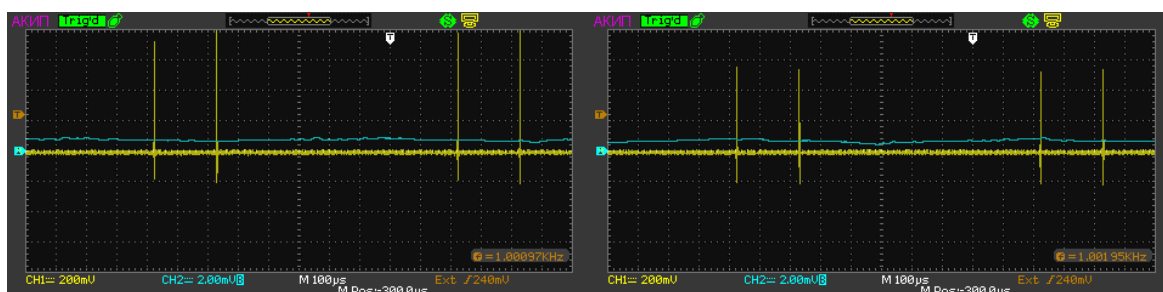


Рисунок 11 – Выходной сигнал с Lock-in усилителя при включённом лазере с ёмкостью конденсатора $C=1\mu\text{Ф}$. Слева канал 1. Справа канал 2.

Пики структуры соответствуют тепловым колебаниям атомов в материале исследуемой структуры, на которые воздействует излучение лазера. Исследования проводились при комнатной температуре.

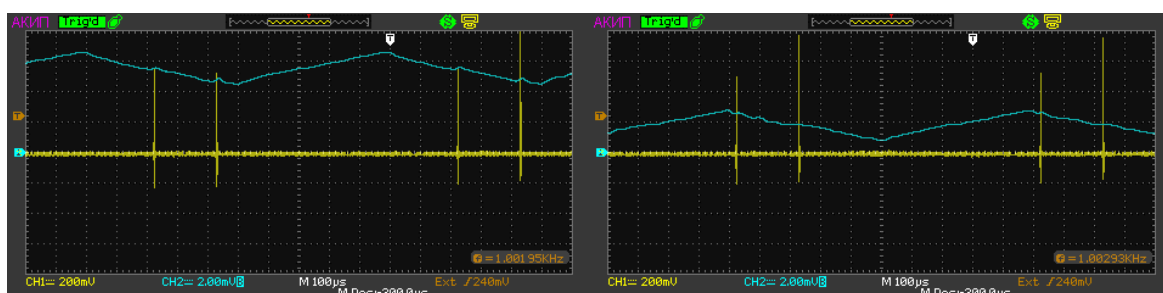


Рисунок 12 – Выходной сигнал с Lock-in усилителя при включённом лазере с ёмкостью конденсатора $C=0,1\mu\text{Ф}$. Слева канал 1. Справа канал 2.

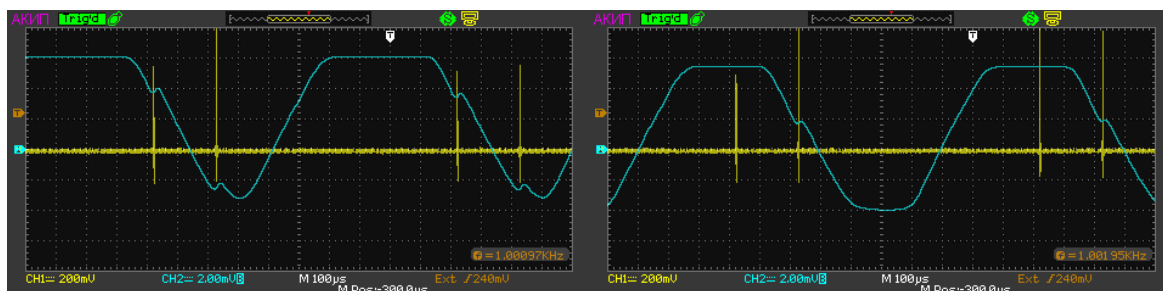


Рисунок 13 – Выходной сигнал с Lock-in усилителя при включённом лазере с ёмкостью конденсатора $C=0,01\text{ мкФ}$. Слева канал 1. Справа канал 2.

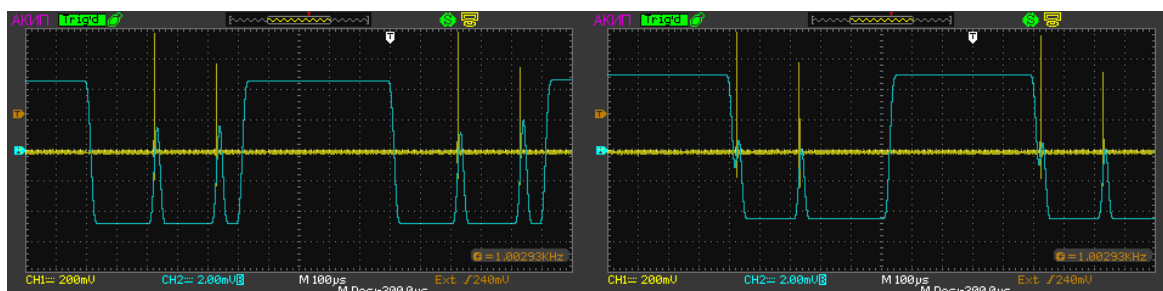


Рисунок 14 – Выходной сигнал с Lock-in усилителя при включённом лазере с ёмкостью конденсатора $C=1000\text{ пкФ}$. Слева канал 1. Справа канал 2.

Данные осциллограммы на рисунках 10-14 являются доказательством возможности исследования выделения полезного сигнала на фоне шума методом фазовой демодуляции с использованием Lock-in усилителя.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате выполнения работы можно сделать следующие выводы.

1. Проведен анализ методов исследования примесного состава полупроводниковых пластин. Подробно рассмотрена методика на основе использования Lock-in усилителя;
2. Проведен расчет и подбор элементов схемы устройства, сборка и тестирование синусоидальным сигналом;
3. Установлено, что схема пассивного фазовращателя имеет зависимость от частоты и, кроме того, вносит искажения в выходной сигнал синхронного демодулятора, что может приводить к погрешности. Данная проблема может быть решена использованием активного либо цифрового фазовращателя.
4. Проведено исследование тестового сигнала, полученного с собранной установки для диагностики примесей в полупроводниках методом фототермической радиометрии (ФТР). Показана работоспособность устройства по реакции на детектируемый сигнал.