

Министерство образования и науки Российской Федерации  
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ  
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
«САРАТОВСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ  
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ ИМЕНИ Н.Г. ЧЕРНЫШЕВСКОГО»

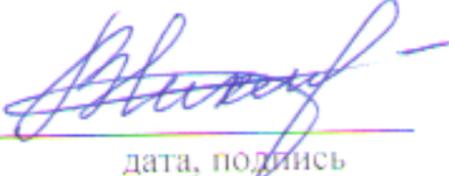
Кафедра инноватики на базе  
АО «НЕФТЕМАШ» - САПКОН

## Технология лазерного скрайбирования в процессе научных разработок

АВТОРЕФЕРАТ БАКАЛАВРСКОЙ РАБОТЫ

Студентки 4 курса 441 группы  
направления (специальности): 27.03.05 "Инноватика"  
факультета nano - и биомедицинских технологий  
наименование факультета, института, колледжа  
Мартыщенко Анастасии Сергеевны  
фамилия, имя, отчество

Научный руководитель  
Профессор, д.ф.-м.н.  
должность, уч. степень, уч. звание

  
дата, подпись

В.В.Тихонов  
инициалы, фамилия

Заведующий кафедрой  
Доцент, к.ф.-м.н.  
должность, уч. степень, уч. звание

  
дата, подпись

Е.М.Ревзина  
инициалы, фамилия

Саратов, 2017

## **Введение**

Проблема в том что существуют такие материалы, как железоиттриевый гранат(ЖИГ), который используется в качестве волноведущей среды для специфических спиновых волн, но этот материал оказывается химически очень стойким, так что традиционное применение фотолитографии оказывается почти невозможным, точнее проблематичным. Фотолитография – это нанесение маски и травление через нее. Но железоиттриевый гранат оказался очень химически стойким, и травить его не чем, например в царской водке растворяли даже золото, а эту пленки растворить невозможно, или же это занимает слишком много времени, что не приемлемо для производства, Данный процесс затягивается на недели. Для того что бы отказаться от технологии фотолитографии мы предлагаем использовать альтернативную технологию = технологию лазерного скрайбирования,. Но при этом лазерное скрайбирование уже проникает в область научных исследований и возникает диффузия инноваций. В данной работе мы вам предложим нетрадиционное, совершенно новое применение данной технологии.

Впервые в Санкт – Питербурге первый раз попробовали применить лазерный скрайбер для выжигания микрополосковых схем на металлизированных поликоровых подложках. Эта технология оказалась вполне пригодной, как экспресс метод изготовления печатных плат. Однако этим возможности применения лазерного скрайбирования далеко не исчерпываются. Она оказалась вполне пригодной для формирования сложных топологий на пленочных структурах железоиттриевого граната.

В данной работе экспериментально исследуются преимущества технологии лазерного скрайбирования по сравнению с технологией фотолитографии пленок ЖИГ.

Эксперименты проводились в лаборатории «Метаматериалы» СГУ с использованием лазерного скрайбера российского производства «МиниМаркер 2».

В первом разделе приведен краткий обзор опубликованных работ по вопросам применения пленок ЖИГ в области спинволновой электроники диапазона сверхвысоких частот. Показана необходимость фомирования пленочных волноводов спиновых волн, ЖИГ резонаторов и так далее.

Во втором разделе детально описана методика лазерного скрайбирования с использованием программно-аппаратного комплекса Минимаркер 2. Показаны результаты и преимущества предложенного метода на примере изготовления пленочных ЖИГ резонаторов.

В третьем разделе исследовались режимы лазерного прожига пленок ЖИГ, подбирались наиболее оптимальные значения частоты следования импульсов, скорость движения луча, мощность сигнала в импульсе и ширина лазерного луча. Приведены результаты оптимизации режимов и результаты изготовления пленочных ЖИГ резонаторов.

Данная работа состоит из трех разделов:

1. В первом разделе приведен краткий обзор опубликованных работ по вопросам применения пленок ЖИГ в области спинволновой электроники диапазона сверхвысоких частот. Показана необходимость фомирования пленочных волноводов спиновых волн, ЖИГ резонаторов и так далее.
2. Во втором разделе детально описана методика лазерного скрайбирования с использованием программно-аппаратного комплекса Минимаркер 2. Показаны результаты и преимущества предложенного метода на примере изготовления пленочных ЖИГ резонаторов.
3. В третьем разделе исследовались режимы лазерного прожига пленок ЖИГ, подбирались наиболее оптимальные значения частоты следования импульсов, скорость движения луча, мощность сигнала в импульсе и ширина лазерного луча. Приведены результаты оптимизации режимов и результаты изготовления пленочных ЖИГ резонаторов.

## Основное содержание работы

В первом разделе работы приведен краткий обзор опубликованных работ по вопросам применения пленок ЖИГ в области спинволновой электроники диапазона сверхвысоких частот. Показана необходимость формирования пленочных волноводов спиновых волн, ЖИГ резонаторов и так далее.

При касательном намагничивании слоя тип волны определяется ориентацией вектора поля в плоскости слоя. Особо выделяются два крайних случая, когда намагничивающее поле ориентировано ортогонально и параллельно волновому вектору магнитостатической волны. В первом случае в слое феррита может распространяться одномодовая МСВ с положительной групповой скоростью и экспоненциальным распределением переменной намагниченности по толщине слоя – поверхностная МСВ (ПМСВ). Во втором случае возбуждается множество мод с отрицательной групповой скоростью и синусоидальным распределением намагниченности по толщине слоя – обратные объемные МСВ (ООМСВ). Все типы МСВ могут возбуждаться только в ограниченных интервалах частот. Верхняя и нижняя границы интервалов определяются внешним полем и величиной собственной намагниченности (намагниченности насыщения) феррита. В зависимости от пленочного волновода дисперсионные свойства МСВ могут значительно изменяться.

Для примера на рисунке 1 представлен пленочный волновод сложной формы с периодически меняющейся шириной в области сужения пленки ЖИГ.

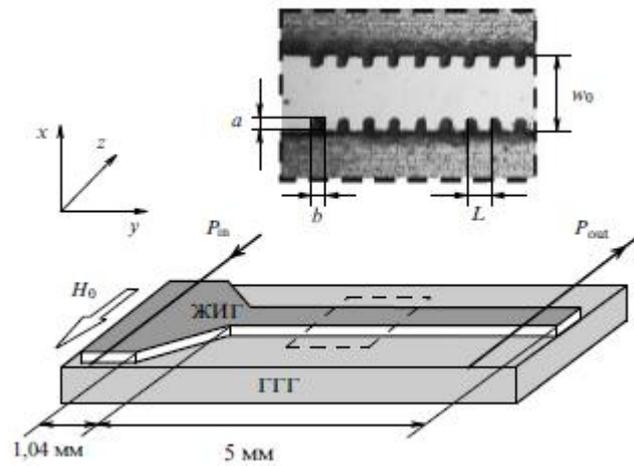


Рисунок 1 - Пленочный ЖИГ волновод с периодически меняющейся шириной. В верхней части рисунка представлен увеличенный фрагмент периодически неоднородного волновода [19].

На рисунке 2 представлены измеренные характеристики периодически неоднородного волновода.

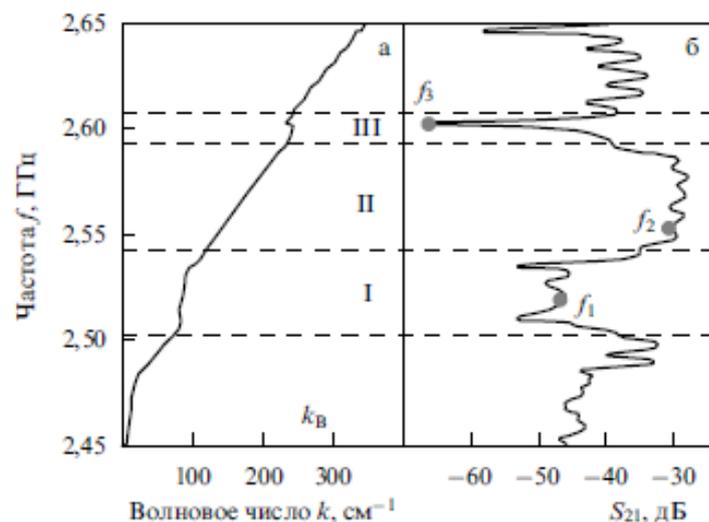


Рисунок 2 – Дисперсионная характеристика и характеристика затухания МСВ в периодически неоднородном пленочном ЖИГ волноводе [19].

На рисунке 3 представлен экспериментальный макет пленочного ЖИГ резонатора предназначенного для использования в качестве частотно-задающего элемента транзисторного ЖИГ автогенератора СВЧ [12].

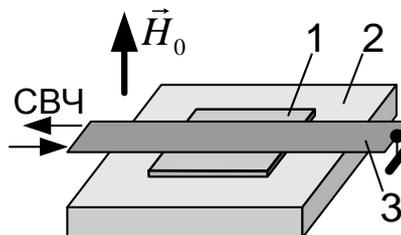


Рисунок 3 – Экспериментальный макет пленочного ЖИГ резонатора.

1 – пленка ЖИГ; 2 – подложка ГГГ; 3 – микрополосковый преобразователь МСВ.

Для возбуждения пленочного резонатора использовался микрополосковый преобразователь шириной 0.5мм, выполненный на поликоровой подложке толщиной 0.5мм. Преобразователь располагался на поверхности резонатора, как показано на рисунке 3.

Принципиальная схема автогенератора представлена на рисунке 4.

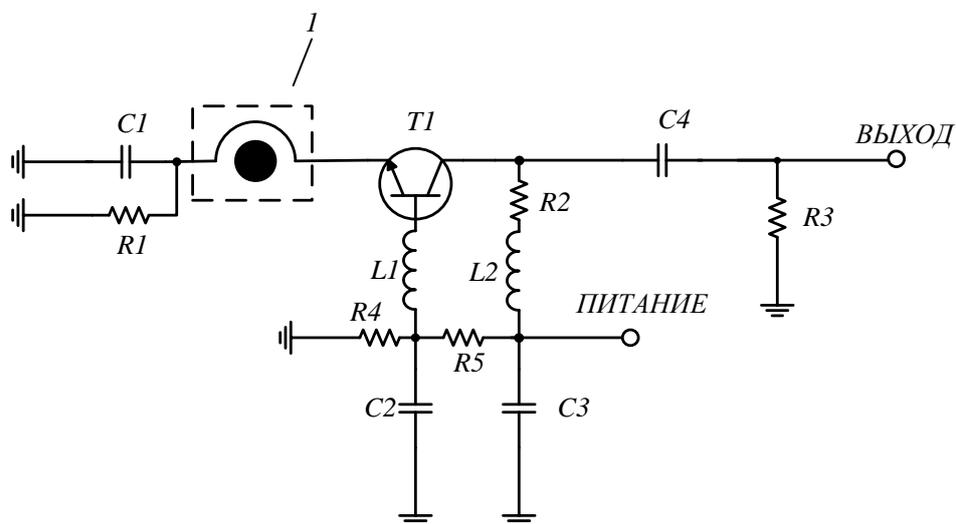
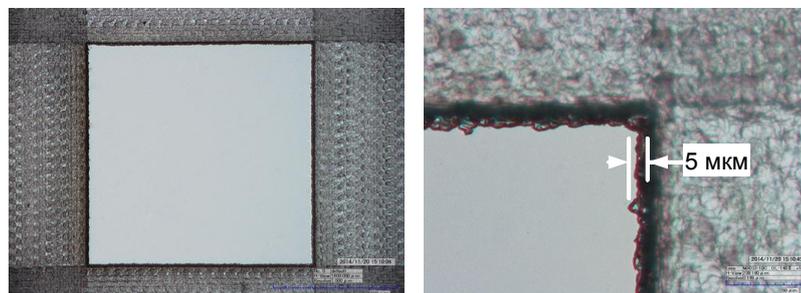


Рисунок 4 – Принципиальная схема транзисторного ЖИГ генератора с общей базой

1 – ЖИГ резонатор с микрополосковым преобразователем.

В данном макете использовался пленочный ЖИГ резонатор, изготовленный методом лазерного скрайбирования.

Внешний вид резонатора представлен на рисунке 5.



а.

б.

Рисунок 5 - Пленочный ЖИГ резонатор изготовленный методом лазерного скрайбирования

а – внешний вид резонатора, б – увеличенный фрагмент резонатора.

Видно, что лазерное скрайбирование обеспечивало не только точное воспроизведение формы резонаторов, но и достаточно высокое качество обработки краев. В данном образце шероховатость краев резонатора не превышала 5 мкм.

Столь высокая точность воспроизведения топологии пленочных ЖИГ структур представляет значительный интерес для широкого применения технологии лазерного скрайбирования не только в научных исследованиях, как экспресс метод изготовления пленочных ЖИГ структур, но и масштабах промышленного производства различного типа спинволновых устройств.

**Во втором разделе работы** детально описана методика лазерного скрайбирования с использованием программно-аппаратного комплекса Минимаркер 2. Показаны результаты и преимущества предложенного метода на примере изготовления пленочных ЖИГ резонаторов сравнительный анализ описанных в первом разделе технологий предпосевной обработки для стимуляции роста и развития семенного материала растений.

Лазерное скрайбирование является широко распространенным видом лазерной обработки, режимом несквозной резки материала. Скрайбирование широко применяется в микроэлектронике для обработки различных материалов керамики, поликора, сапфира, ситалла для разделения тонких пластин на отдельные элементы. Традиционные способы использования лазерного скрайбирования являются нанесение штрих кодов, маркировки заводских деталей, гравировки различных видов поверхностей, создание образов железных монет и медалей, а так же разделение пластин на кристаллы.

Лазерное скрайбирование, обеспечивает целый ряд преимуществ:

- большая точность обработки и разделения пластин на отдельные элементы
- отсутствие дефектов - за счет отсутствия механического контакта с режущим инструментом
- износостойкий режущий инструмент
- возможность получения надрезов с ровными и чистыми краями без загрязнения микросхем отходами резки;
- малая область воздействия и минимальная зона термического влияния;
- возможность нанесения более глубоких, по сравнению с механическими методами, надрезов, без приложения усилий к разделяемому материалу;
- экологичность процесса;
- 100% повторяемость .

Процесс скрайбирования происходит в результате теплового воздействия интенсивного лазерного излучения на обрабатываемый материал. В основе данного процесса лежит эффект лазерной абляции. Мощный лазерный пучок осуществляет скрайбирование обрабатываемой заготовки (например, пластины кремния) путем испарения обрабатываемого материала. В результате этого при перемещении сфокусированного луча по поверхности материала образуется глубокая канавка. При этом практически

отсутствуют механические повреждения в прилегающих к ней областях. Как и в любой другой операции лазерной резки, при перемещении обрабатываемой пластины относительно падающего на ее поверхность сфокусированного лазерного пучка на ней образуется последовательный ряд углублений с большим коэффициентом перекрытия. В результате образуется ровная непрерывная канавка, имеющая в сечении V-образную форму. Характерные размеры такой канавки следующие: ширина на поверхности пластины – 2...25 мкм, глубина – от 50 мкм до 1,2 мм. Точность реза обычно составляет около  $\pm 10$  мкм. Скорость скрайбирования сильно зависит от прочности и толщины материала и может составлять от 0,5 до 700 мм/с. Глубина нарезанной канавки составляет, как правило, около 25...35 % от общей толщины пластины. Этого оказывается достаточно для ее высококачественного раскалывания. Чем больше глубина разреза, тем выше качество скола, но это приводит к уменьшению скорости скрайбирования и, соответственно, к увеличению времени, затрачиваемого на обработку пластин. Обычно скрайбирование осуществляется с помощью лазеров, работающих в ультрафиолетовой области спектра. Для этого используются медные лазеры с удвоением частоты излучения (длина волны 289 нм), а также импульсно-периодические YAG:Nd- и Nd:YVO<sub>4</sub>-лазеры на длинах волн третьей или четвертой гармоники (355 и 266 нм соответственно). Изображение V-образного реза в поперечном сечении сапфировой подложки, полученное на электронном сканирующем микроскопе 28 ной длины волны этих лазеров (1064 нм). Во всех случаях выходные характеристики лазеров подбираются таким образом, чтобы плотность мощности излучения была достаточна для испарения обрабатываемого материала, но слишком мала для передачи выделяющегося в пластине тепла в смежные области, прилегающие к зоне обработки. Это позволяет исключить образование радиальных микротрещин и нагревание обрабатываемой пластины. Заметим, что в зависимости от конкретной задачи параметры лазеров могут варьироваться в широких пределах. Например, скрайбер на базе Nd:YVO<sub>4</sub>-лазера с выходной

мощностью 4,5 Вт, работающий на длине 1,06 мкм, позволяет скрайбировать кремниевые пластины толщиной до 50 мкм. В то же время, скрайберы на базе Nd:YAG-лазера, работающие на той же длине 1,06 мкм и имеющие мощность 50 Вт, позволяют осуществлять скрайбирование кремниевых пластин толщиной до 1,2 мм.

**В третьем разделе** исследовались режимы лазерного прожига пленок ЖИГ, подбирались наиболее оптимальные значения частоты следования импульсов, скорость движения луча, мощность сигнала в импульсе и ширина лазерного луча. Приведены результаты оптимизации режимов и результаты изготовления пленочных ЖИГ резонаторов.

CorelDRAW – графический редактор, разработанный канадской компанией Corel.

SinMark – графический редактор, который управляет движением лазерного луча в одном направлении, который задается нужными нам параметрами.

- a) Форматируем геометрические структуры
- b) Экспортируем в виде файла растрового графика с расширением .psx
- c) Далее файл загружаем в SinMark
- d) Запускаем программу

В данной работе мы будем выжигать с помощью лазерного скрайбера марки «МиниМаркер2» резонатор спиновых волн на подложке гадолиний-галлиевого граната, выращенного на нем эпитаксиальным способом, пленка железоиттриевого граната.

1. Подготавливаем нужный нам рисунок в программе CorelDRAW
2. Через программное обеспечение SinMark задаем нужные характеристики
3. Достаем пинцетом аккуратно подложку с пленкой, далее проводим процедуру для очищения ее от пыли и мелкий загрязнений, это можно сделать с помощью ацетона и обычных ватных палочек.

4. Аккуратно кладем подложку с пленкой ЖИГ структуры точно под лазерный луч.

5. Далее необходимо определить на какой стороне находится нужная нам пленка (ЖИГ). Для этого мы на краю подложки сделаем небольшой надрез скрайбером и под микроскопом увидим, на какой стороне подложки находится нужная нам пленка. Для этого мы задаем значения в программе SinMark. Для определения пленки мы устанавливаем нужные параметры:

- Частота импульса лазера -99,0 кГц
- Скорость движения луча -500,0 мм/с
- Мощность лазера- 30%
- Ширина луча - 0,01 мм(10мкм)
- Включаем вытяжку
- Включаем мультипроход и старт.
- Фокусируем луч, для более точной обработки

На той стороне где образовалась канавка, мы далее проводим процедуру лазерного скрайбирования ,для выжигания резонатора.

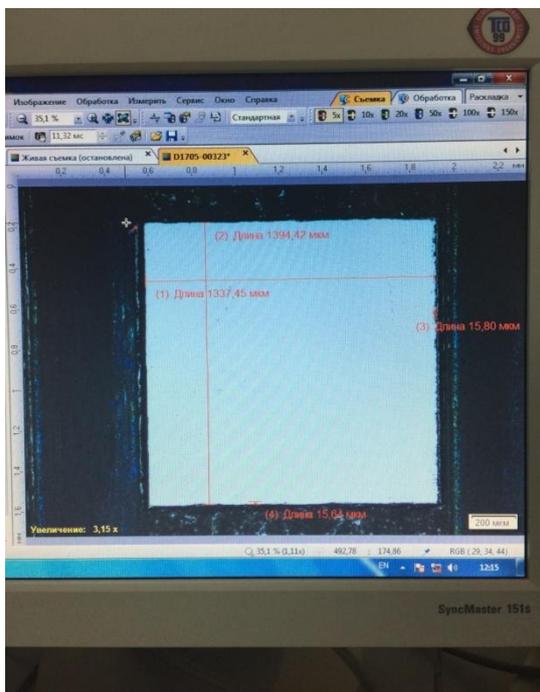
6. Процедуру выжигания проводим в 2 этапа.

Начало 1 этапа. Устанавливаем нужные параметры:

- Частота импульса лазера – 99,0 кГц
- Скорость движения луча – 500,0 мм/с
- Мощность лазера – 5%
- Ширина луча – 0,01 мм(10мкм)
- Количество циклов – 160
- В первом этапе луч будет ходить слева направо , выжигание будет идти параллельно, сверху и снизу.
- Включаем вытяжку
- Включаем мультипроход и старт.
- Фокусируем луч, для более точной обработки

Начало 2 этапа. Устанавливаем нужные параметры

- Частота импульса лазера – 99,0 кГц
  - Скорость движения луча – 500,0 мм/с
  - Мощность лазера – 5%
  - Ширина луча – 0,01 мм(10мкм)
  - Количество циклов – 160
  - Во втором этапе мы переворачиваем картинку на 90 градусов и луч будет ходить так же слева направо, но выжигание будет идти перпендикулярно
  - Включаем вытяжку
  - Включаем мультипроход и старт .
  - Фокусируем луч, для более точной обработки .
7. Достаем полученный резонатор, отмываем его ацетоном, для того что бы поверхность была чистая.
8. Полученный результат несем под микроскоп.



9.

10.Рисунок б – измерения резонатора

11.Точность несовпадений не превышает 10-15 мкм, погрешность составляет допустимое значение для дальнейшей работы с резонатором СПИНОВЫХ ВОЛН.

12.Время потраченное на данную работу составило примерно 15 минут.

## Заключение

Технология ЛазерногоСкрайбирования нашла свое применение в различных областях (машиностроение, электроника и тд.). МиниМаркер 2 показал свою эффективность, и сфера применения ее расширяется. Технологии не стоят на месте и в данном случае происходит трансфер технологии лазерногоскрайбирования (ЛС).

Изначально технология лазерного скрайбирования была предназначена , для маркировки деталей, что видно из самого ее названия. В последствии эта технология нашла применение в качестве лазерногоскрайбера.

В данной работе предлагаются новые инновационные применения технологии ЛС в научно-исследовательской сфере деятельности в качестве экспресс технологии изготовления сложной топологии электрических микрополосковх схем и изготовление топологии структур на основе эпитаксиальных пленок ЖИГ.

Проблема изготовления волноводов, резонаторов и прочее на основе пленок ЖИГ состоит в том что, ЖИГ является исключительно химически стойким материалом, это создает проблемы традиционно используемой технологии фотолитографии. Маски из фоторезистов не выдерживают длительного агрессивного воздействия химического травителя ЖИГ – кипящей ортофосфорной кислоты. Это приводит к большому количеству (свыше 90%) брака изготавливаемых изделий, что является недопустимым при очень высокой стоимости эпитаксиальных пленок ЖИГ (примерно 250.000 рублей).

В данной работе показана возможность применения технологии ЛС, для изготовления топологии сложных форм (волноводов, резонаторов и пр.) на основе эпитаксиальных пленок ЖИГ. В качестве примера применения ЛС были изготовлены пленочные ЖИГ резонаторы квадратной формы размером 1.4:1.4 мм. Для изготовления данных резонаторов специально разрабатывались режимы прожига пленки ЖИГ, а именно частота следования лазерного импульса, скорость движения лазерного луча,

мощность излучений в импульсе и ширина лазерного луча. При выбранных значениях параметров скрайбирования были получены весьма удовлетворительные результаты, погрешность топологии структур составляла не более 10-20 мкм рис.(13) Время изготовления не превышало 10-15 минут, процент выхода годных превышает более 90-95%.

Таким образом, мы наглядно показали:

- возможность решение проблемы формирование топологии пленочных структур на основе ЖИГ с помощью технологии лазерного скрайбирования.
- Преимущество по сравнению с технологией фотолитографии, применительно для химически стойких пленочных структур.
- Возможность применения технологии ЛС в промышленном производстве микроволновых устройств и приборов.

На данном примере был продемонстрирован один из примеров трансфера технологии ЛС в новую сферу ее применения.