



- Министерство образования и науки Российской Федерации  
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования  
«Самарский государственный аэрокосмический университет имени академика С.П. Королева  
(национальный исследовательский университет)»  
Институт электроники и приборостроения  
Кафедра нанотехнологий

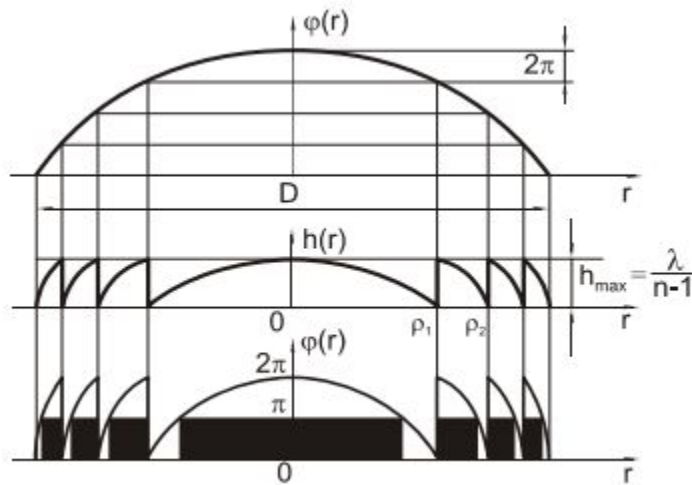
# Изготовление и исследование амплитудной цилиндрической дифракционной линзы

**Выпускная квалификационная работа бакалавра**

Выполнил:  
Кузнецов М.В., группа 5407  
Руководитель работы: к.т.н.  
Козлова И.Н.

Самара 2015

# ДОЭ и область применения



$\lambda$  – рабочая длина волны  
 $n$  – показатель преломления



ДОЭ в лазерной резке  
металлов



ДОЭ в объективах

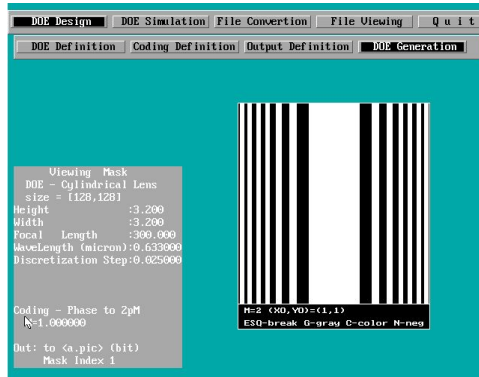
# Цели и задачи ВКР

**Цели:** Расчет, изготовление с помощью фотолитографии и жидкостного травления и исследование амплитудной цилиндрической дифракционной линзы.

## Задачи:

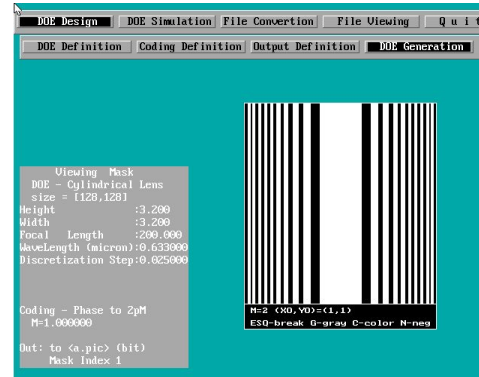
- Расчет амплитудной цилиндрической дифракционной линзы
- Изготовление амплитудной цилиндрической дифракционной линзы
- Исследование свойств линз методами численного и оптического эксперимента

# Расчет ДОЭ



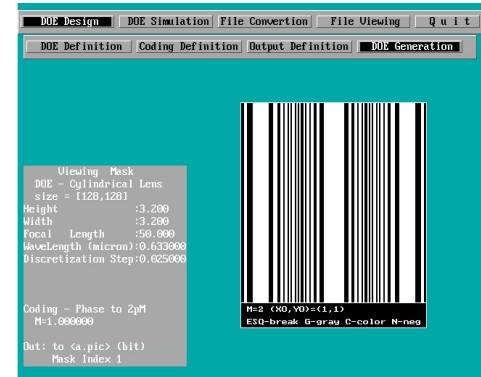
Линза №1.

- Длина: 3,2мм;
- Ширина: 3,2мм;
- Фокусное расстояние: 300мм;
- Длина волны: 633нм;
- Шаг дискретизации: 25мкм.



Линза №2.

- Длина: 3,2мм;
- Ширина: 3,2мм;
- Фокусное расстояние: 200мм;
- Длина волны: 633нм;
- Шаг дискретизации: 25мкм.



Линза №3.

- Длина: 3,2мм;
- Ширина: 3,2мм;
- Фокусное расстояние: 50мм;
- Длина волны: 633нм;
- Шаг дискретизации: 25мкм.



# Этапы изготовления амплитудной цилиндрической дифракционной линзы

## Этапы изготовления ДОЭ

- Очистка подложки от загрязнений
- Напыление защитной маски
- Формирование резистивной маски методом литографии
- Жидкостное травление металлического слоя

# Нанесение защитной маски

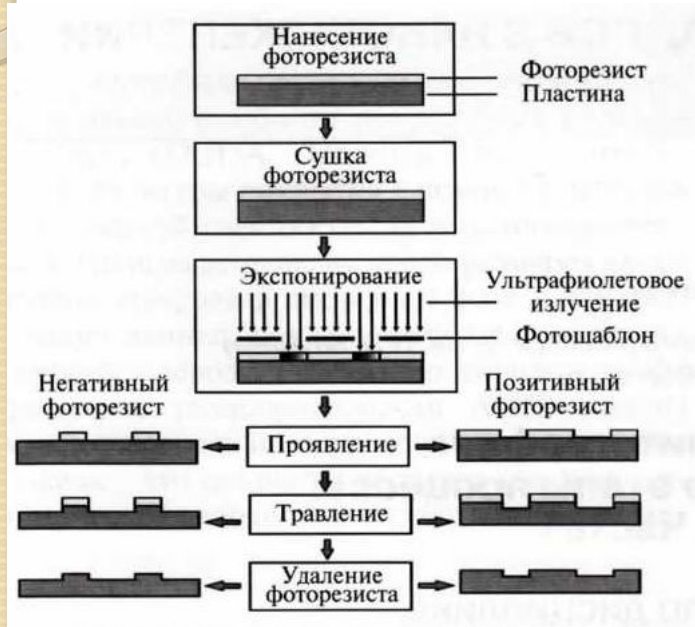


Установка магнетронного распыления ЭТНА100-МТ В  
НОЦ НТ СГАУ( НТ-МДТ, г.  
Зеленоград)



Процесс напыления  
алюминия

# Фотолитография



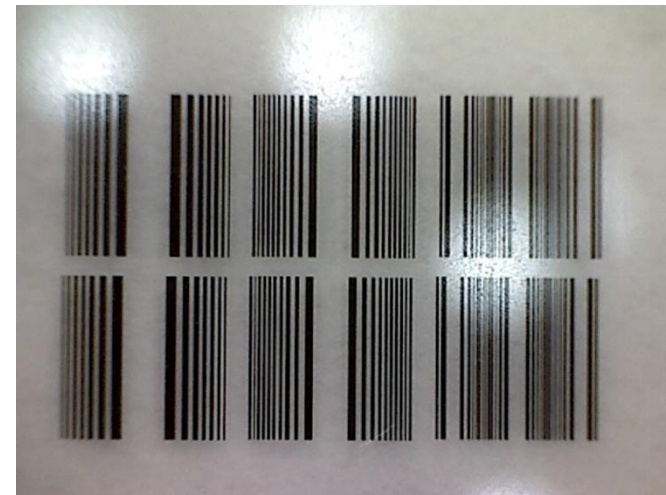
Основные этапы фотолитографии



Центрифуга Laurell WS-400B-6NPP-LITE SPINNER



Сушка фоторезиста на плитке SD160 Stuart

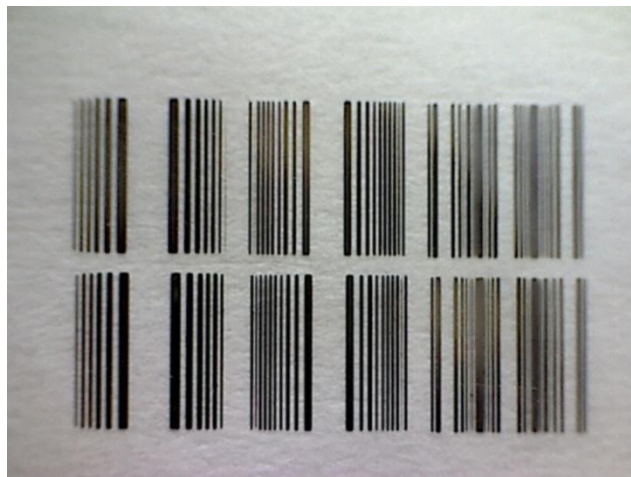


Фотошаблоны цилиндрических дифракционных линз



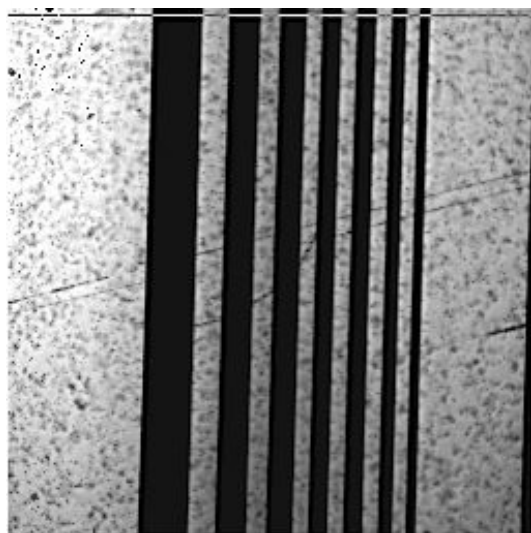
# Жидкостное травление металлического слоя

- Погружение подложки в раствор NaOH и H<sub>2</sub>O смешанный в пропорции 1/3.
- Промывка подложки в проточной деионизированной водой, для исключения подтравливания.
- Погружение в раствор ацетона для удаления непроявленного фоторезиста
- Промывка деионизированной водой методом вытеснения
- Сушка потоком очищенного воздуха.

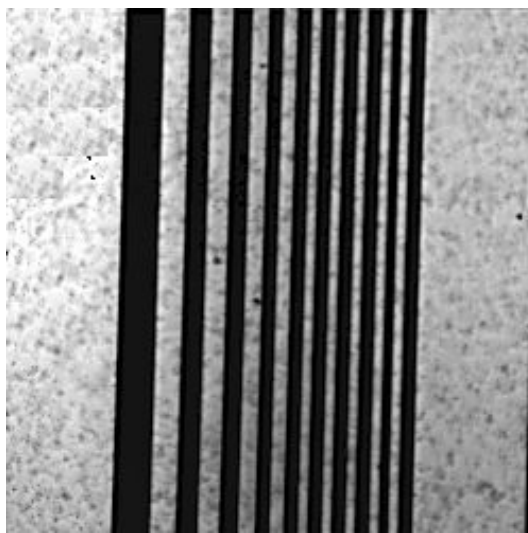


Изготовленные цилиндрические  
дифракционные линзы

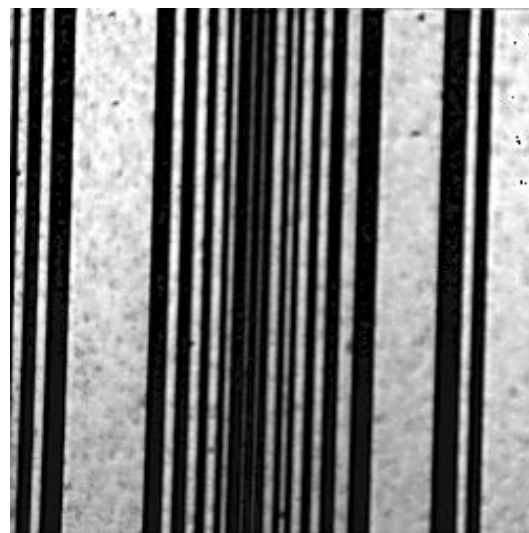
# Результаты исследования фотошаблона методом оптической микроскопии



Поверхность  
шаблона линзы с  
фокусным  
расстоянием 300мм

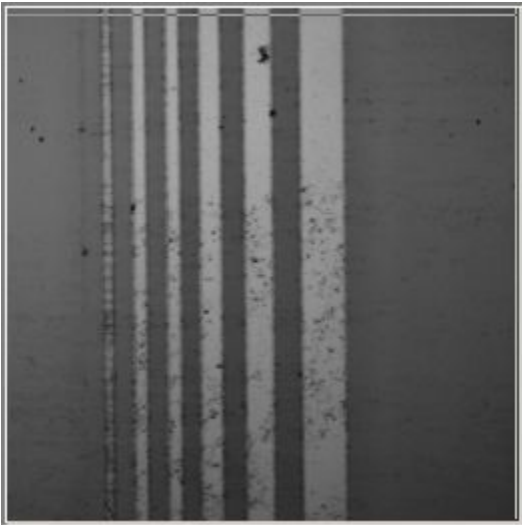


Поверхность  
шаблона линзы с  
фокусным  
расстоянием 200мм

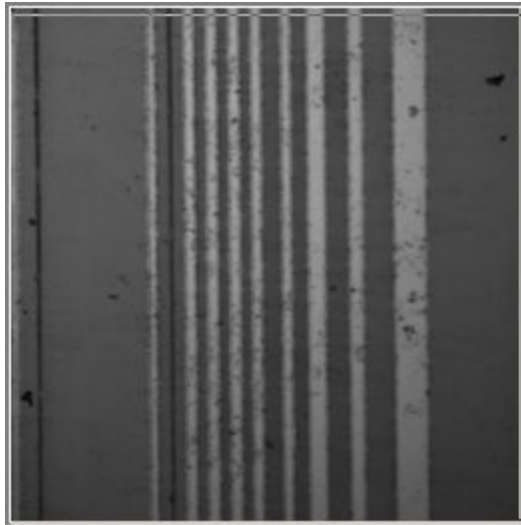


Поверхность  
шаблона линзы с  
фокусным  
расстоянием 50мм

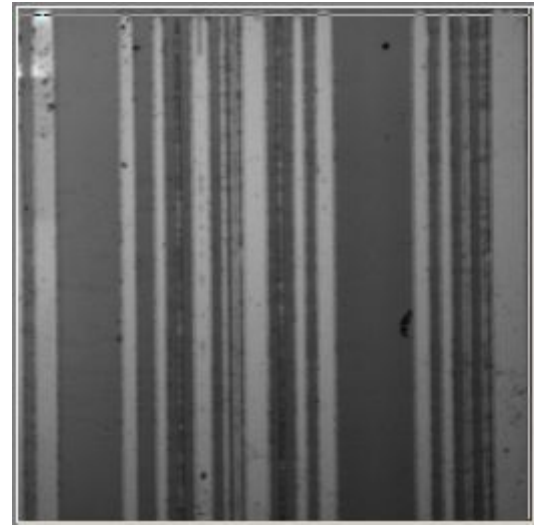
# Результаты исследования амплитудной цилиндрической дифракционной линзы



Поверхность  
амплитудной  
цилиндрической  
дифракционной  
линзы с фокусным  
расстоянием 300мм

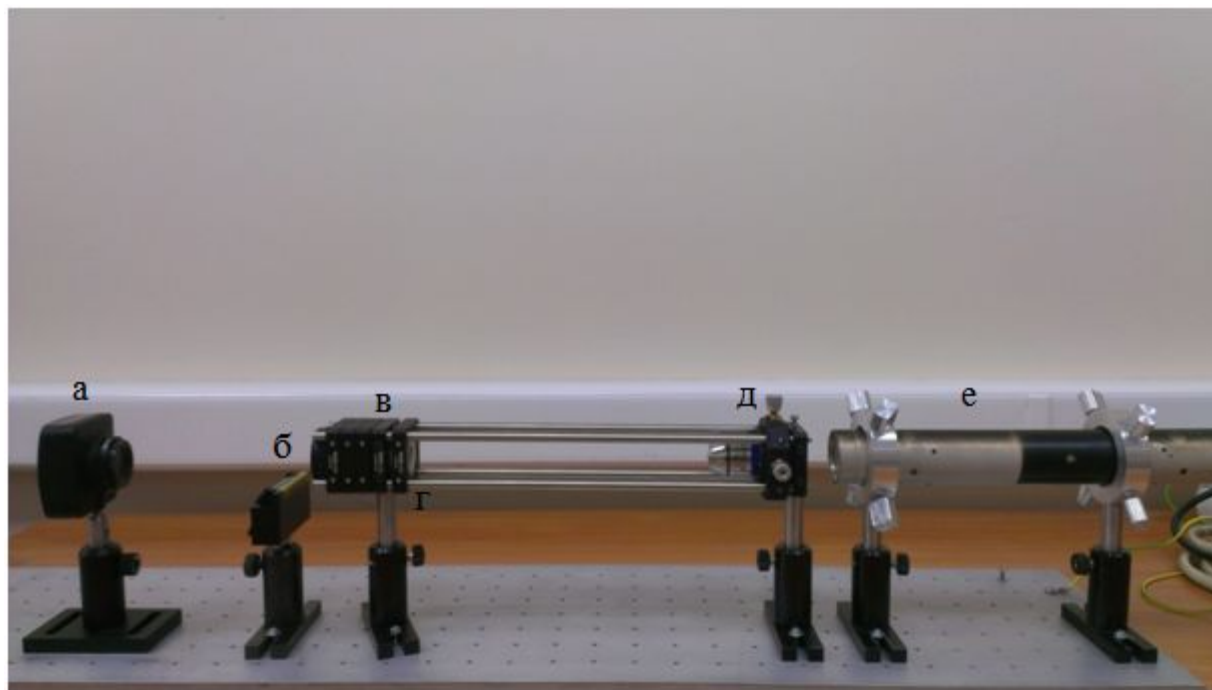


Поверхность  
амплитудной  
цилиндрической  
дифракционной  
линзы с фокусным  
расстоянием 200мм



Поверхность  
амплитудной  
цилиндрической  
дифракционной  
линзы с фокусным  
расстоянием 50мм

# Экспериментальный стенд

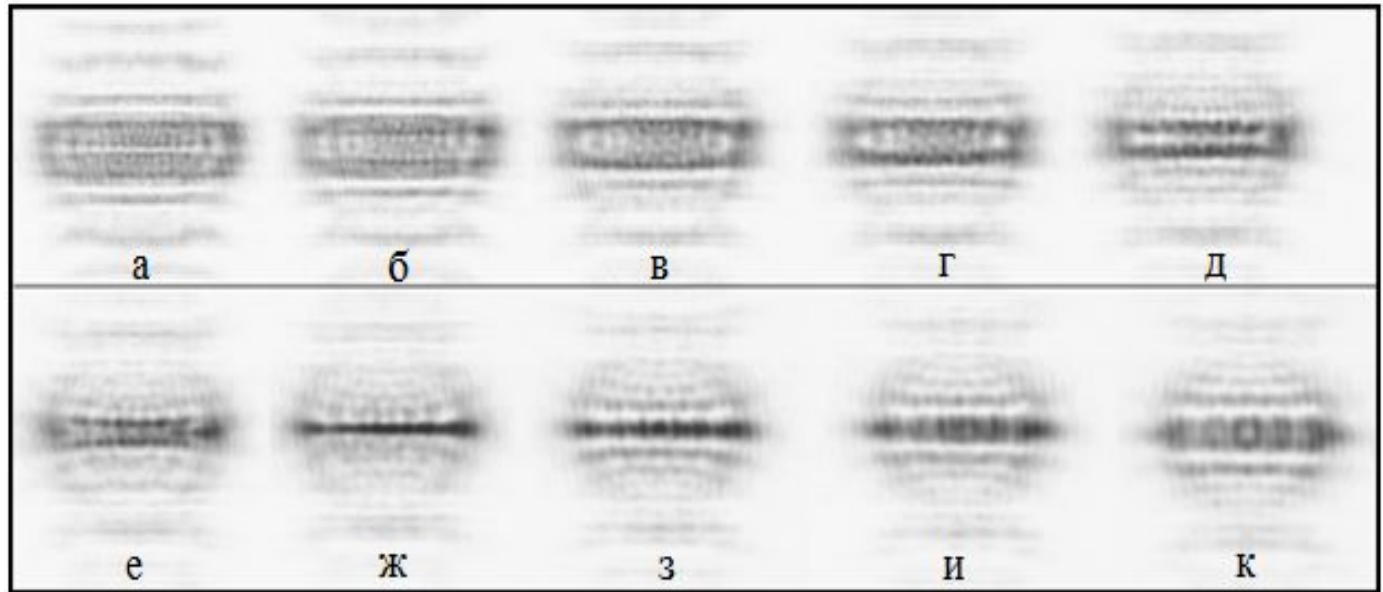


Параметры экспериментального  
стенда:

- длина волны - 633 нм,
- диаметр освещающего пучка -  
3-15мм,
- фокусное расстояние линзы (перед  
видеокамерой) - от 40мм до 400мм
- размер ПЗС-матрицы видеокамеры -  
4,8×6,4 мм.

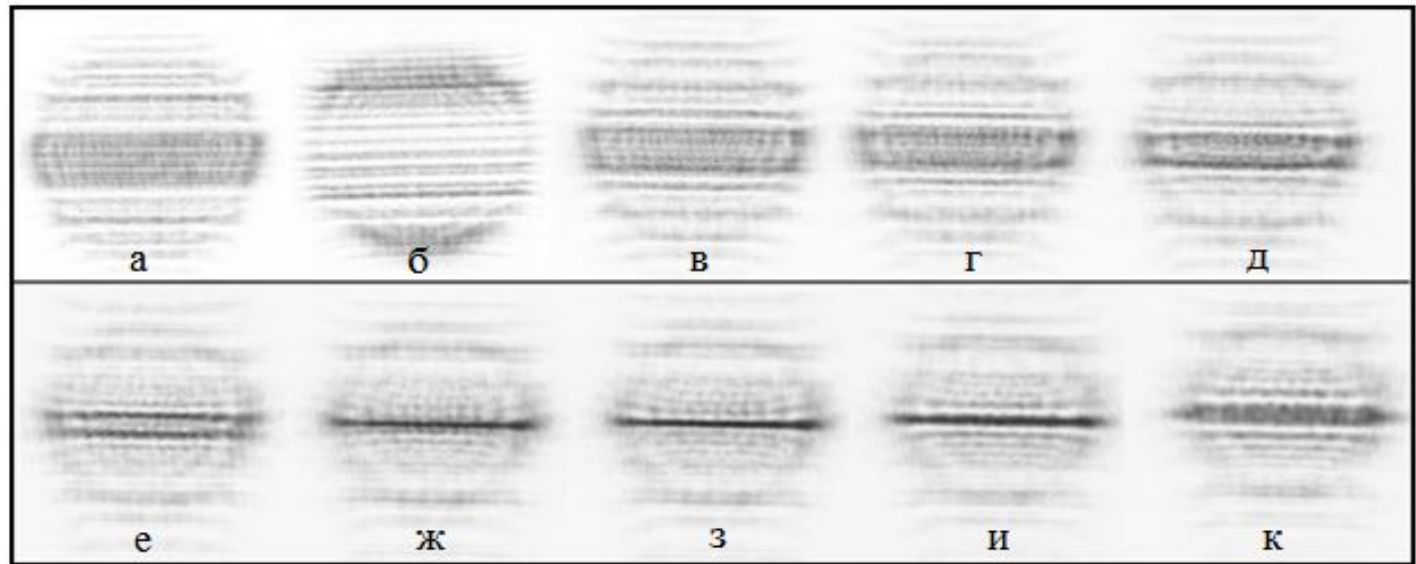
а – видеокамера,  
б - держатель образца,  
в - ирисовая диафрагма,  
г - нейтральный фильтр,  
д - расширитель пучка,  
е - красный лазер ( $\lambda=633\text{нм}$ ).

# Результаты эксперимента линзы с фокусным расстоянием 300мм



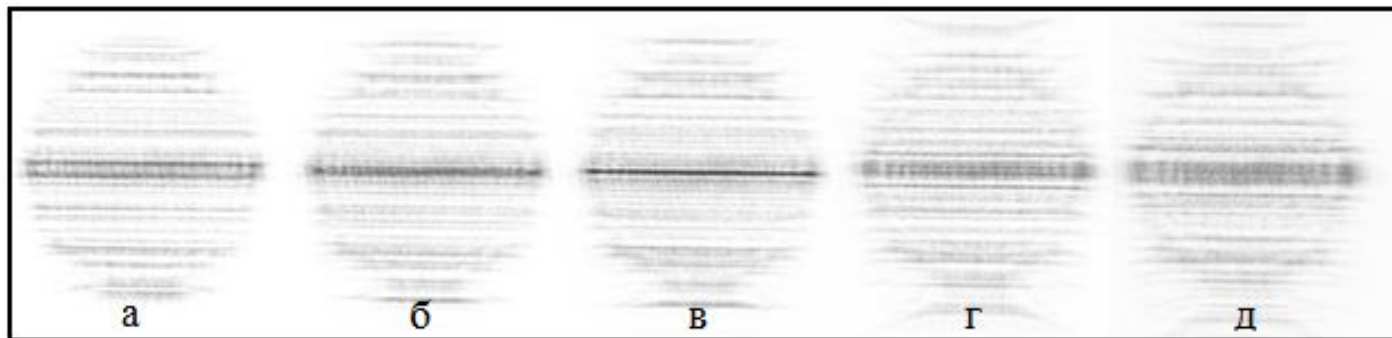
а -  $f=150\text{мм}$ ,  
б -  $f=175\text{мм}$ ,  
в -  $f=200\text{мм}$ ,  
г -  $f=225\text{мм}$ ,  
д -  $f=250\text{мм}$ ,  
е -  $f=275\text{мм}$ ,  
ж -  $f=300\text{мм}$ ,  
з -  $f=325\text{мм}$

# Результаты эксперимента линзы с фокусным расстоянием 200мм



а -  $f=50\text{мм}$ ,  
б -  $f=75\text{мм}$ ,  
в -  $f=100\text{мм}$ ,  
г -  $f=125\text{мм}$ ,  
д -  $f=150\text{мм}$ ,  
е -  $f=175\text{мм}$ ,  
ж -  $f=200\text{мм}$ ,  
з -  $f=225\text{мм}$ ,

# Результаты эксперимента линзы с фокусным расстоянием 50мм



а -  $f=40\text{мм}$ ,  
б -  $f=50\text{мм}$ ,  
в -  $f=75\text{мм}$ ,  
г -  $f=100\text{мм}$ ,  
д -  $f=125\text{мм}$ .

# Заключение

В ходе работы были изготовлены и исследованы три амплитудные цилиндрические дифракционные линзы с разными значениями фокусных расстояний с шагом дискретизации 25 мкм.

1. В программном обеспечении "QUICK-DOE" были рассчитаны и смоделированы распределения интенсивности трех амплитудных цилиндрических дифракционных линз с фокусными расстояниями  $f=50$ , 200, 300 мм.
2. Были изготовлены три амплитудные цилиндрические дифракционные линзы, с использованием технологий фотолитографии и жидкостного травления.
3. Проведены исследования изготовленных амплитудных цилиндрических дифракционных линз методом численного и оптического эксперимента. Можно отметить хорошее согласование численных и оптических экспериментов линзы с фокусным расстоянием  $f=300$  мм и линзы с фокусным расстоянием  $f=200$  мм и некорректную работу линзы с фокусным расстоянием  $f=50$  мм. Экспериментальное исследование линзы с фокусным расстоянием  $f=50$  мм выявило, что шаг дискретизации в 25 мкм, выбранный для изготовления этой амплитудной цилиндрической дифракционной линзы, недостаточен для реализации линз с фокусным расстоянием в 50 мм.





**Благодарю за внимание!**