

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
Университет ИТМО  
Факультет систем управления и робототехники

**ОТЧЕТ**  
**по лабораторной работе № 3**  
по дисциплине  
«Метрология, обеспечение качества и сертификация»  
**Тема: Обработка экспериментальных данных по определению**  
**времени проявления фоторезиста в технологии**  
**фотолитографии на основе регрессионного анализа**

Работу выполнили:  
Нодири Хисравхон  
Руотси Ян

Преподаватель:  
Рассади́на Анна Александровна

Санкт-Петербург  
2025

**Цель работы:**

1. Определить коэффициенты регрессии полинома первого порядка, описывающего модель проявления фоторезиста в технологии фотолитографии.

**Вариант 18**

№ Время проявления  
фоторезиста,  $T_{\text{п}}$ , с

1	28
2	70
3	56
4	20

**Таблица 1. Результаты экспериментального определения времени проявления фоторезиста согласно матрице планирования эксперимента**

Фактор	Нулевые уровни варьирования	Интервалы варьирования
Толщина фоторезиста	$H_0 = 0.45 \text{ мкм}$	$\Delta H = 0.1 \text{ мкм}$
Время экспонирования	$T_{\text{э}0} = 145 \text{ с}$	$\Delta T_{\text{э}} = 60 \text{ с}$
Концентрация щелочи в проявителе	$F_0 = 0.6\%$	$\Delta F = 0.2\%$

**Таблица 2. Факторы, их нулевые уровни и интервалы варьирования**

**Ход работы**

1. Найдём уровни варьирования с помощью формулы  $\Delta x = x_{i0} - x_{i \min} = x_{i \max} - x_{i0}$

$$H_{\min} = H_0 - \Delta H = 0.45 - 0.10 = 0.35 \text{ мкм}$$

$$H_{\max} = H_0 + \Delta H = 0.45 + 0.10 = 0.55 \text{ мкм}$$

$$T_{\text{э min}} = T_{\text{э0}} - \Delta T_{\text{э}} = 145 - 60 = 85 \text{ с}$$

$$T_{\text{э max}} = T_{\text{э0}} + \Delta T_{\text{э}} = 145 + 60 = 205 \text{ с}$$

$$F_{\text{min}} = F_0 - \Delta F = 0.6 - 0.2 = 0.4\%$$

$$F_{\text{max}} = F_0 + \Delta F = 0.6 + 0.2 = 0.8\%$$

2. Составим матрицу планирования дробного факторного эксперимента (ДФЭ) без кодирования значений

№	H, мкм	$T_{\text{э}}, \text{с}$	F, %	$T_{\text{п}}, \text{с}$
1	0.35	85	0.8	28
2	0.55	85	0.4	70
3	0.35	205	0.4	56
4	0.55	205	0.8	20

**Таблица 3. Матрица планирования ДФЭ без кодирования значений**

3. Теперь закодируем значения факторов с помощью формулы  $x_{i\delta} = \frac{(x_i - x_{i0})}{\Delta x_i}$

Очевидно, что все значения выше нулевого уровня кодируются как +1, а все значения ниже нулевого уровня — как -1.

№	h	t	f	$T_{\text{п}}, \text{с}$
1	-1	-1	+1	28
2	+1	-1	-1	70
3	-1	+1	-1	56
4	+1	+1	+1	20

**Таблица 4. Матрица планирования ДФЭ с кодированием значений**

4. Определим коэффициенты регрессии по формулам ниже

$$a_0 = \frac{\sum_{n=1}^N y_n}{N}, \quad a_i = \frac{\sum_{n=1}^N x_{in} y_n}{N}$$

$$a_0 = \frac{28+70+56+20}{4} = 43.5 \text{ с}$$

$$a_1 = \frac{-28+70-56+20}{4} = 1.5 \text{ с}$$

$$a_2 = \frac{-28-70+56+20}{4} = -5.5 \text{ с}$$

$$a_3 = \frac{28-70-56+20}{4} = -19.5 \text{ с}$$

5. Запишем уравнение регрессии с коэффициентами, которые мы получили выше  
Модель проявления фоторезиста может быть записана в виде:

$$T_{\pi} = a_0 + a_1 h + a_2 t_{\text{э}} + a_3 f,$$

где  $h$  — толщина фоторезиста,  $t_{\text{э}}$  — время экспонирования,  $f$  — концентрация щелочи в проявителе.

Запишем модель с коэффициентами, вычисленными на предыдущем шаге:

$$T_{\pi} = 43.5 + 1.5h - 5.5t_{\text{э}} - 19.5f$$

## **Выводы**

Проведённый эксперимент можно отнести к дробным активным факторным и экстремальным экспериментам. В каждом опыте варьировались все независимые переменные, что характерно для активного факторного эксперимента, а цель оптимизации фотолитографии указывает на экстремальный характер. Исследование позволило определить влияние различных факторов на процесс проявления фоторезиста.

Наибольшее влияние на процесс оказала концентрация щелочи в проявителе, наименьшее — толщина фоторезиста. Увеличение толщины фоторезистора приводит к увеличению времени его проявления. В то же время увеличение как времени экспонирования, так и концентрации щёлочи способствует уменьшению времени проявления фоторезиста.