



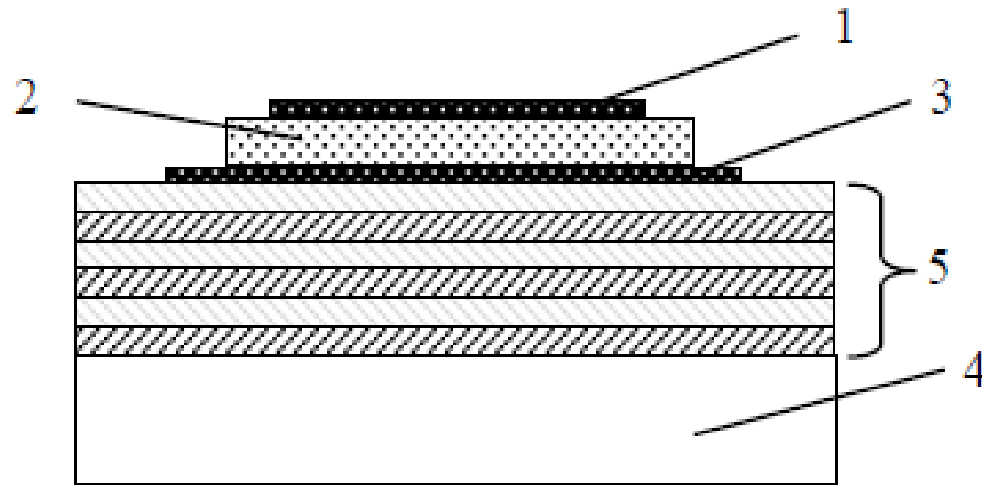
**МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО
ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ
ОМСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
ИМ.Ф.М.ДОСТОЕВСКОГО**

**Исследование механических напряжений пленок
Mo от режимов формирования пленки**

**Выполнил
Студент группы ФРМ-802-О
Чириков Никита Александрович
Научный руководитель
д.ф.-м.н., профессор кафедры ЭФР, заведующий кафедрой ЭФР
Струнин Владимир Иванович**

- **Актуальность темы** - Разработка СВЧ-резонаторов на ОАВ, с пьезоэлектрическим преобразователем, на основе брэгговского отражателя
-
- **Цель работы** - определение оптимальных технологических режимов формирования пленки Mo на основе исследования зависимости механических напряжений от технологических режимов.
-
- **Практическая значимость работы** – связана с разработкой и созданием современной элементной базы микроэлектроники в части изготовления СВЧ резонаторов.

Модель брэгговского отражателя



Конструкция резонатора с акустическим брэгговским отражателем: 1 – верхний электрод; 2 – пьезоэлектрическая пленка; 3 – нижний электрод; 4 – подложка; 5 – пленочные слои брэгговского отражателя.

Достоинства:

- широкополосный отражатель;
- температурная стабильность;
- хорошая механическая прочность;
- подложка не влияет на преобразователь;
- структура монолитна и нечувствительна к микрочастицам и механическим вибрациям;
- возможность создания полосовых фильтров;

Недостатки:

- большое количество тонкопленочных слоев (большие механические напряжения);
- необходимость прецизионного контроля толщины пленок;
- селективное травление слоев.

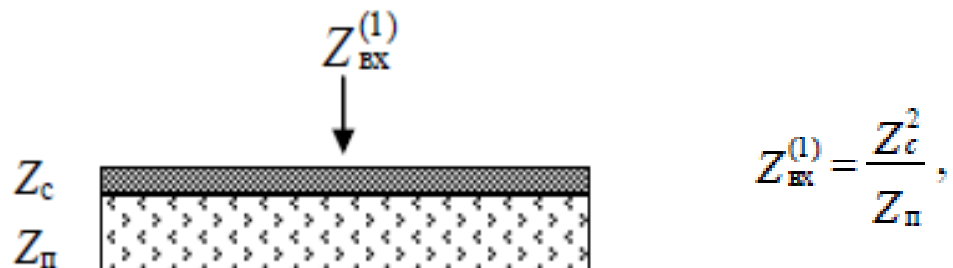
Методика расчета параметров микроэлектронного ОАВ-резонатора с брэгговским отражателем.

$$Z_{\text{вх}}^{(N)} = Z_c \frac{Z_1^{(N-1)} \cos \beta h_c + j Z_c \sin \beta h_c}{Z_c \cos \beta h_c + j Z_1^{(N-1)} \sin \beta h_c}, \quad 1.1$$

$$R = \frac{Z_{\text{вх}}^{(N)} - Z_{\text{пьезо}}}{Z_{\text{вх}}^{(N)} + Z_{\text{пьезо}}} \quad (1.2)$$

$$T = 10 * \lg (1 - |R|^2) \quad (1.3)$$

Схема расположения одного пленочного слоя на подложке.



3Схема расположения двух пленочных слоев на подложке

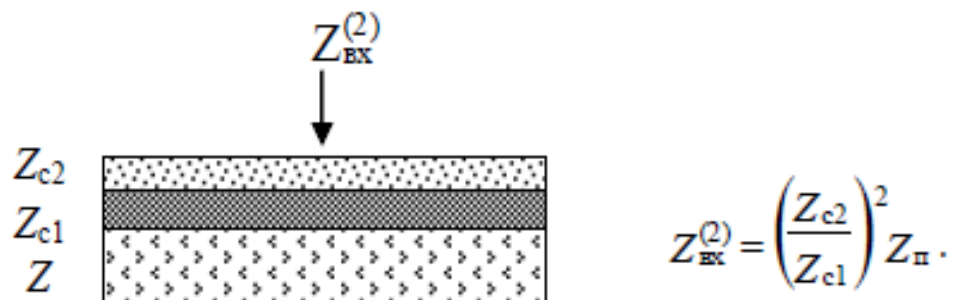
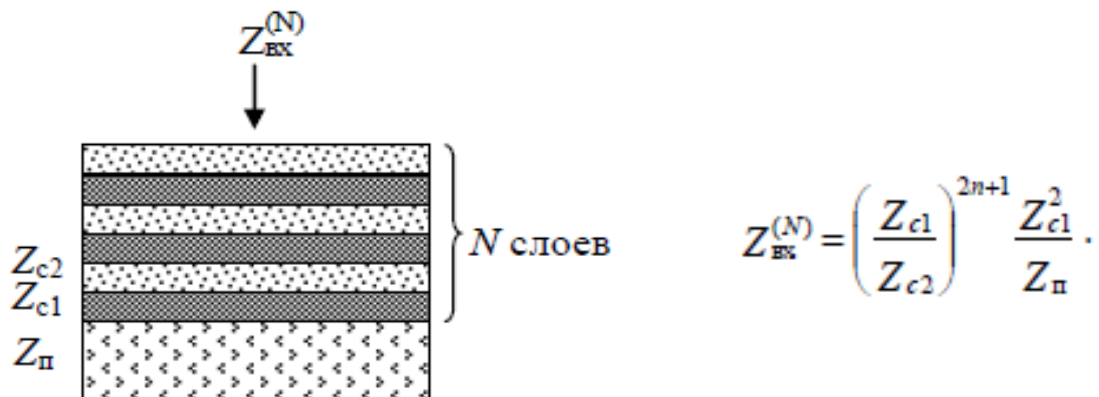
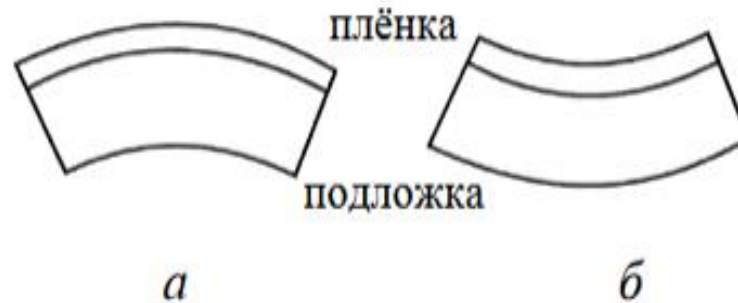


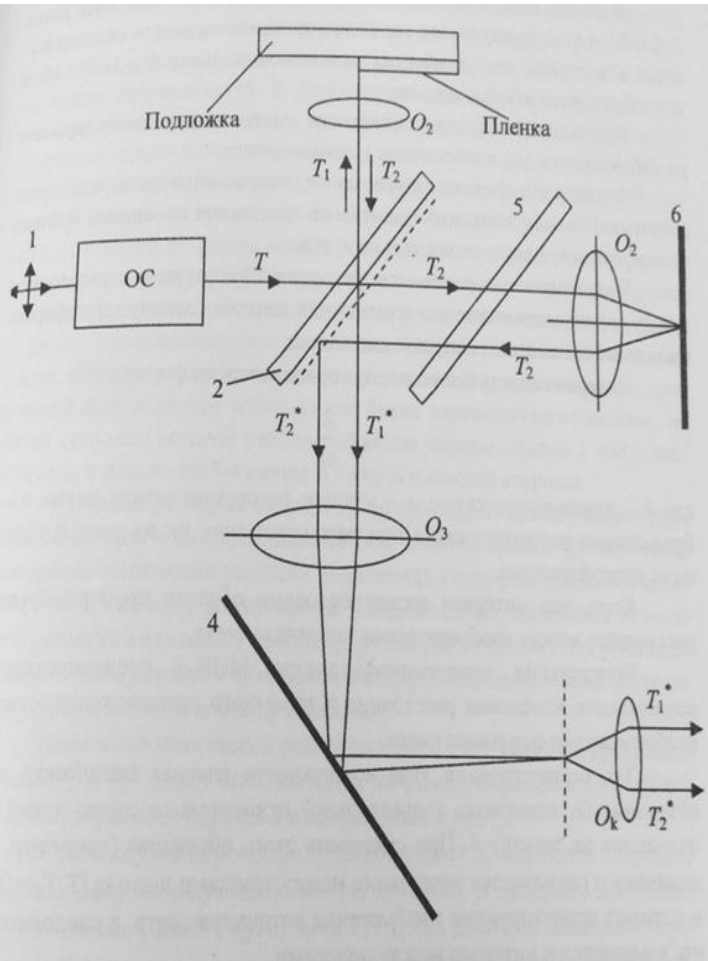
Схема расположения N -го числа пленочных слоев на подложке



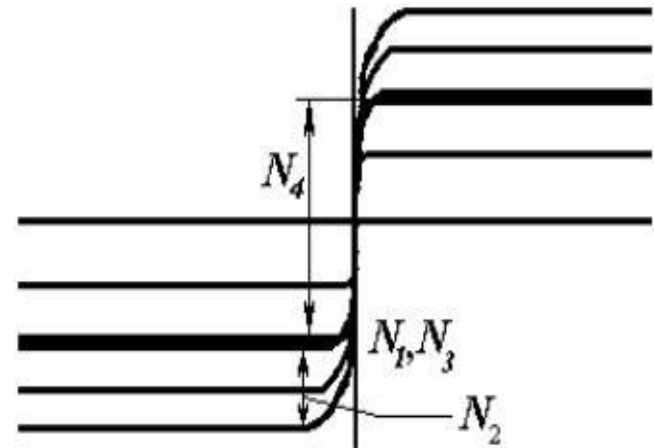
Изучение механизмов появления механических напряжений и их взаимосвязь с технологическими параметрами



Методика измерения толщины тонких пленок на микроинтерферометре МИИ – 4

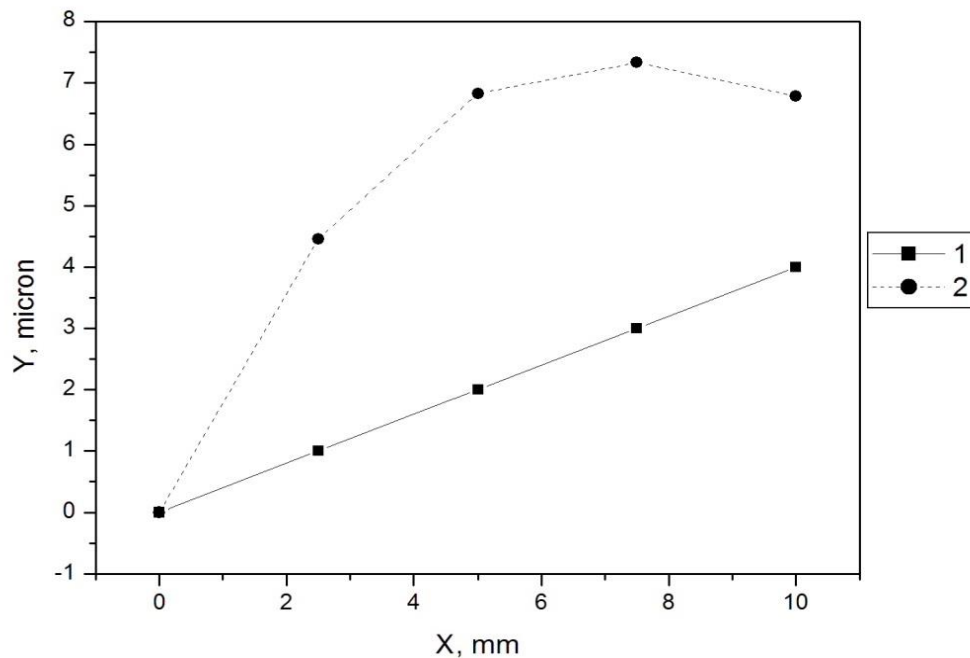


$$\sigma_{\text{вн}} = \frac{\left(\frac{1}{R_f} - \frac{1}{R_s}\right) \cdot E \cdot h_s^2}{6h_f(1 - \gamma)}$$



$$h = 0.273 \frac{N_3 - N_4}{N_1 - N_2} n$$

Методика измерения механических напряжений в тонких пленках на микроинтерферометре МИИ-4



Вывод математического выражения для вычисления радиуса кривизны тонкой пленки.

$$R = \frac{b^2}{2h} \quad b^2 = \frac{x_2^2 + y_2^2}{4}; \quad c^2 = b^2 - x_1^2;$$

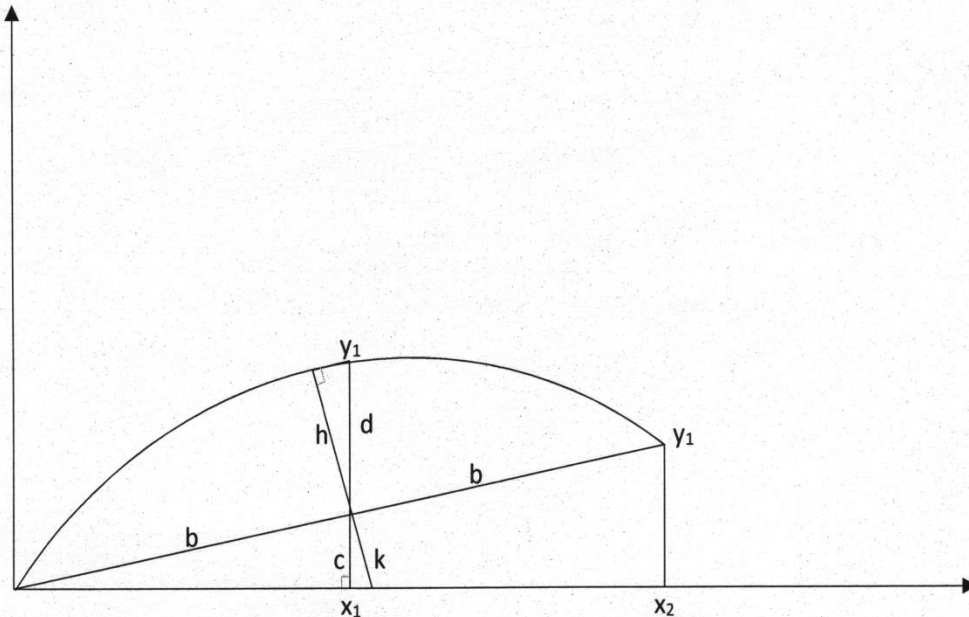
$$c = y_1 - d; \quad \frac{h}{d} = \frac{x_1}{b}; \quad h = x_1 \frac{d}{b};$$

$$d = y_1 - c; \quad h = x_1 \frac{y_1 - c}{b};$$

$$h = x_1 \frac{(y_1 - \sqrt{b^2 - x_1^2})}{b};$$

$$h = \frac{2x_1(y_1 - \sqrt{c^2 + x_1^2 - x_1^2})}{\sqrt{y_2^2 + x_2^2}};$$

$$h = \frac{2x_1(y_1 - c)}{\sqrt{y_2^2 + x_2^2}};$$



$$\frac{c}{x_1} = \frac{y_2}{x_2};$$

$$c = x_1 * \frac{y_2}{x_2};$$







$$h = \frac{2x_1(y_1 - \frac{x_1 y_2}{x_2})}{\sqrt{y_2^2 + x_2^2}};$$

$$R = \frac{(y_2^2 + x_2^2) * \sqrt{y_2^2 + x_2^2}}{4 * 2x_1(y_1 - \frac{x_1 * y_2}{x_2})};$$

Конечная формула имеет вид:

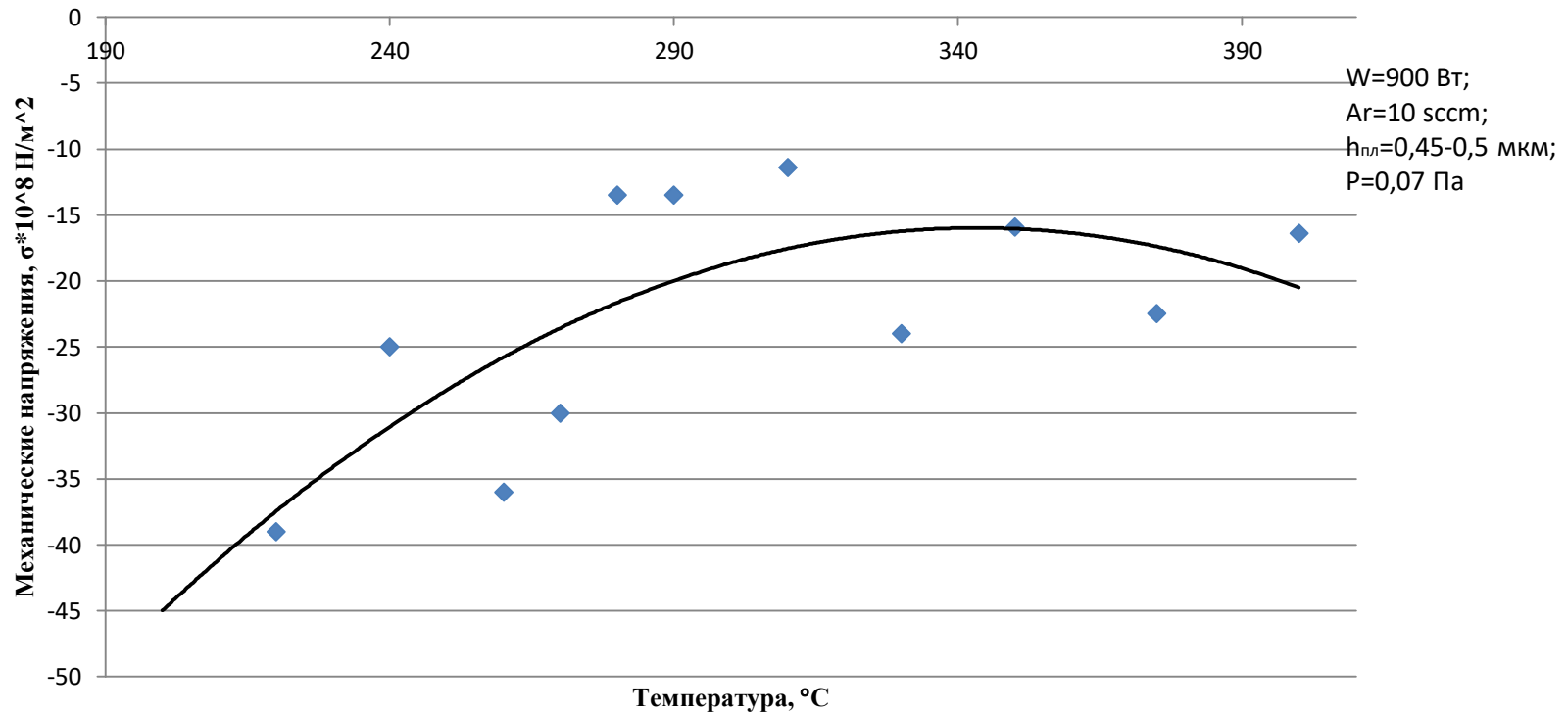
$$R = \frac{(y_2^2 + x_2^2)^{1.5}}{8x_1(y_1 x_2 - x_1 y_2)};$$

Радиусы кривизны

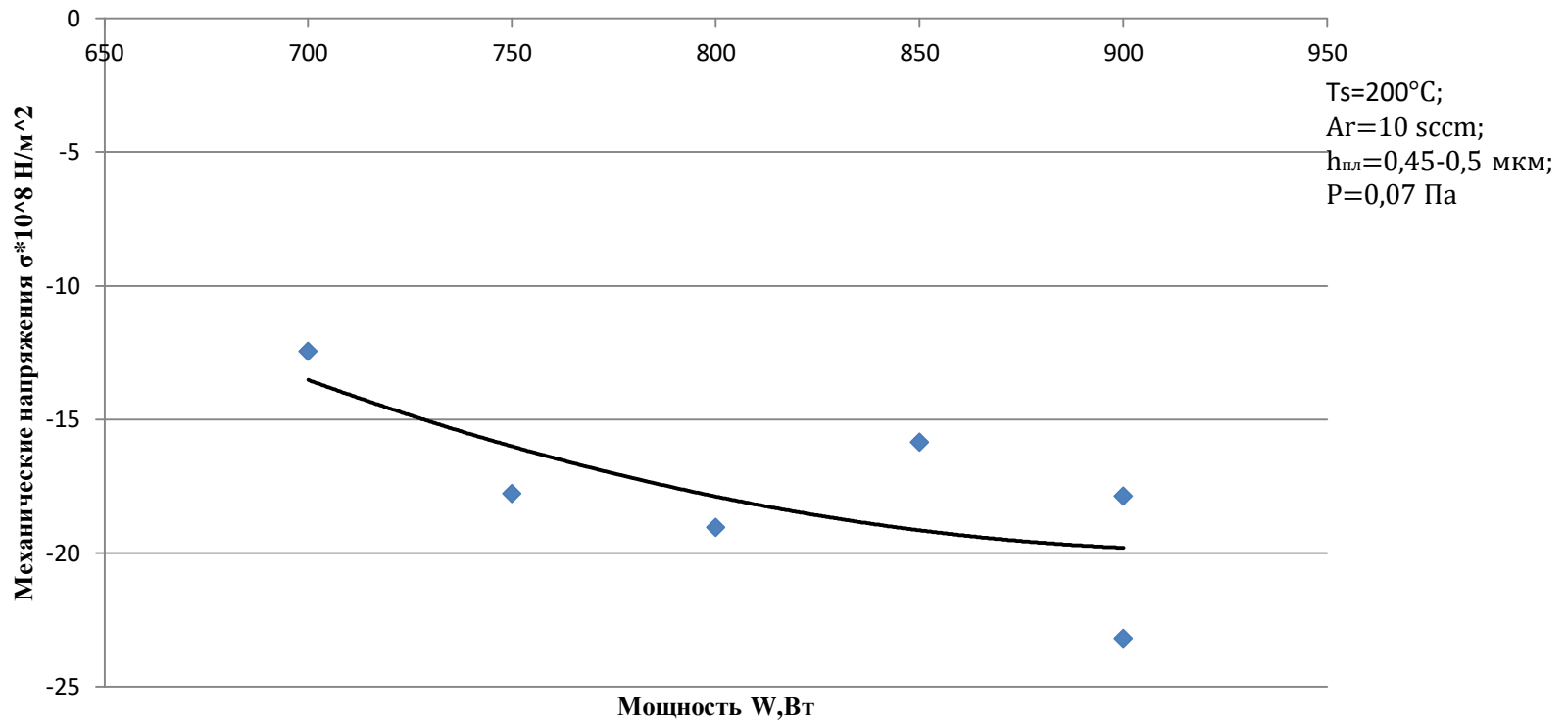
$R = \frac{(y_2^2 + x_2^2)^{1.5}}{8x_1(y_1x_2 - x_1y_2)};$	
$R = \frac{(y_2^2 + x_2^2)^{1.5}}{8x_1(2y_2 - y_2)};$	
$R = \frac{(y_2^2 + x_2^2)^{1.5}}{4x_2(2y_1 + y_2)};$	
$R = \frac{(y_2^2 + x_2^2)^{1.5}}{4x_2(2y_1 + y_2)};$	
$R = \frac{(y_2^2 + x_2^2)^{1.5}}{4(y_2x_1 - x_1y_2)};$	
$R = \frac{(y_2^2 + x_2^2)^{1.5}}{4(y_2x_1 - x_1y_2)};$	

Результаты экспериментов и их обсуждение

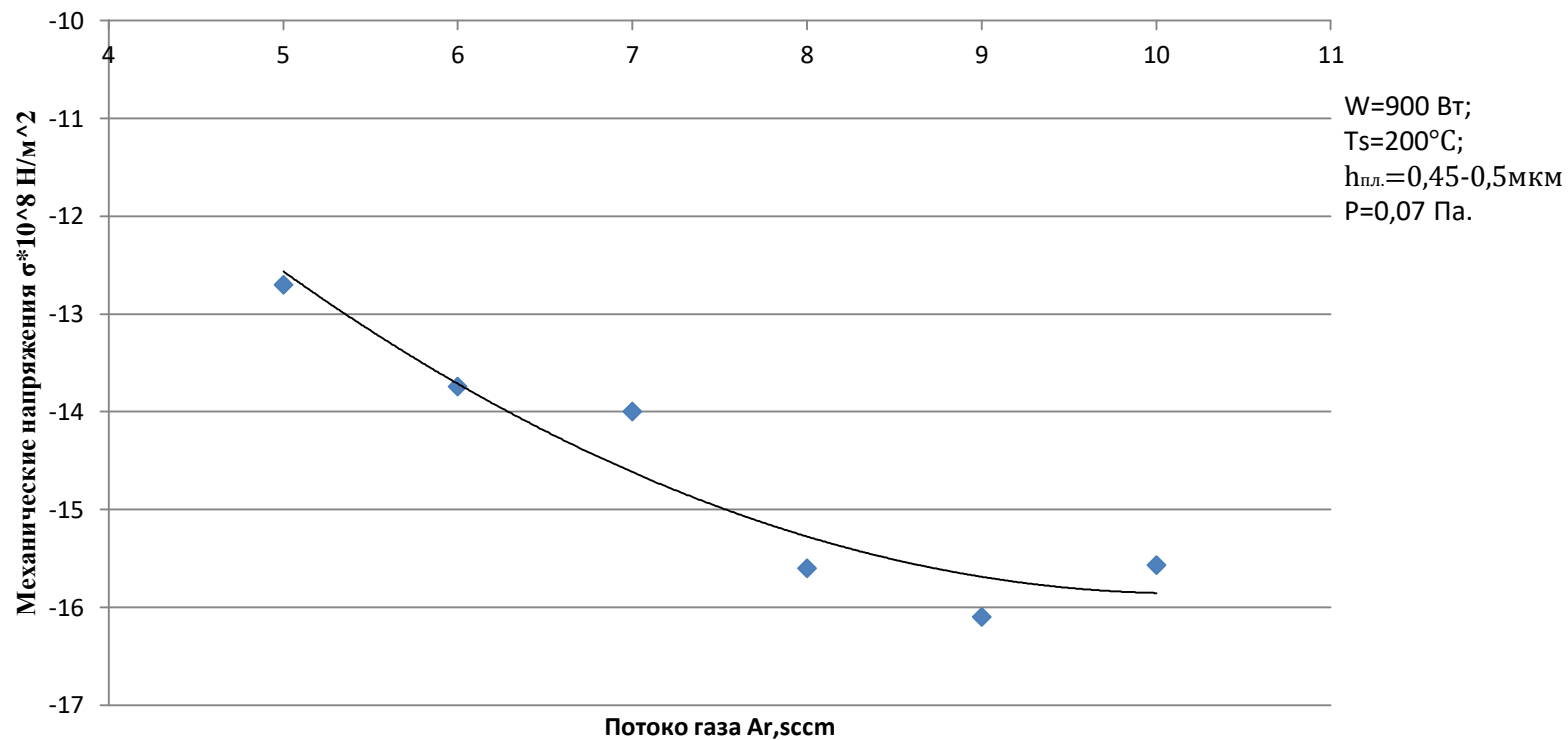
Механические напряжения пленок Mo, в зависимости от температуры подложки



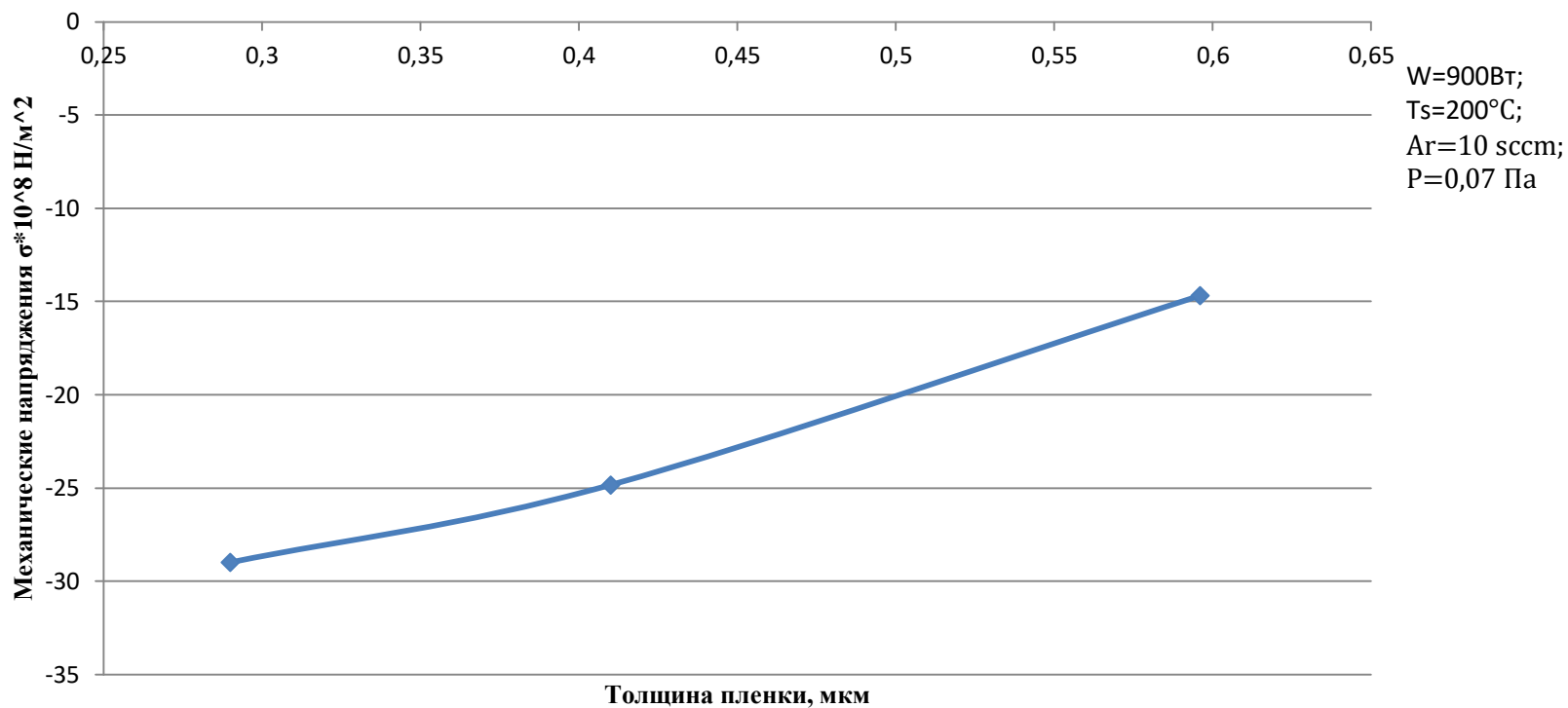
Механические напряжения пленок Мо в зависимости от мощности на мишени



Механические напряжения пленок Мо в зависимости от потока газа



Механические напряжения пленок Мо в зависимости от толщины пленки



Выводы:

- **1. Изучена структура резонатора на основе пьезоэлектрических пленок с Брэгговским отражателем**
- **2. Освоена методика расчета параметров микроэлектронного ОАВ-резонатора с брэгговским отражателем**
- **3. Изучен механизм появления механических напряжений и их взаимосвязь с технологическими параметрами.**
- **4. Освоена методика измерения механических напряжений в тонких пленках на микроинтерферометре МИИ-4**
- **5. Выведены математические выражения для вычисления радиуса кривизны тонких пленок.**
- **6. На основе зависимостей механических напряжений от технологических режимов осаждения пленок Мо, определены оптимальные режимы напыления, а именно:**
 - *Температура подложки 340-360°C*
 - *Подаваемая мощность на мишень 700 Вт*
 - *Поток аргона 5 ссст*

**СПАСИБО ЗА
ВНИМАНИЕ**