



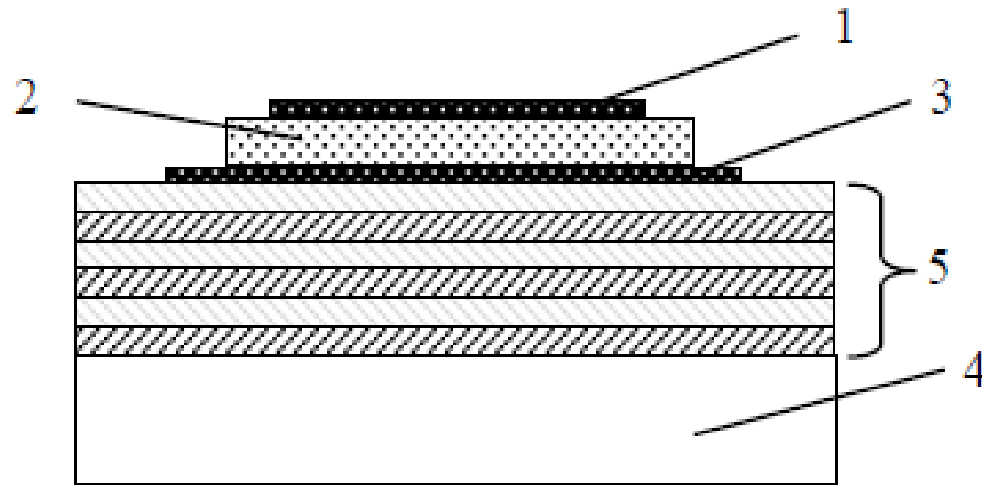
**МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ  
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ  
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО  
ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ  
ОМСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ  
ИМ.Ф.М.ДОСТОЕВСКОГО**

**Исследование механических напряжений пленок  
AlN 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 AlN 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

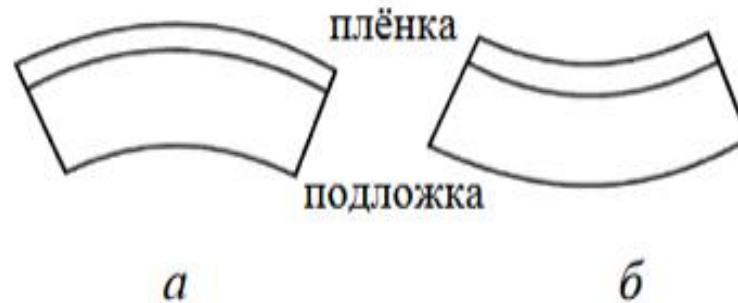
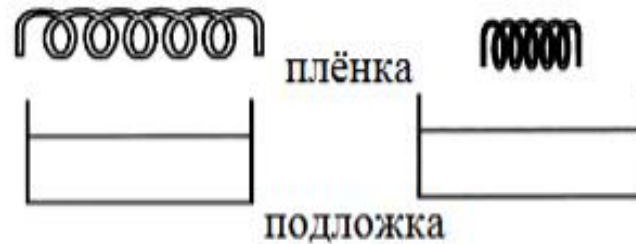


Конструкция резонатора с акустическим брэгговским отражателем: 1 – верхний электрод; 2 – пьезоэлектрическая пленка; 3 – нижний электрод; 4 – подложка; 5 – пленочные слои брэгговского отражателя.

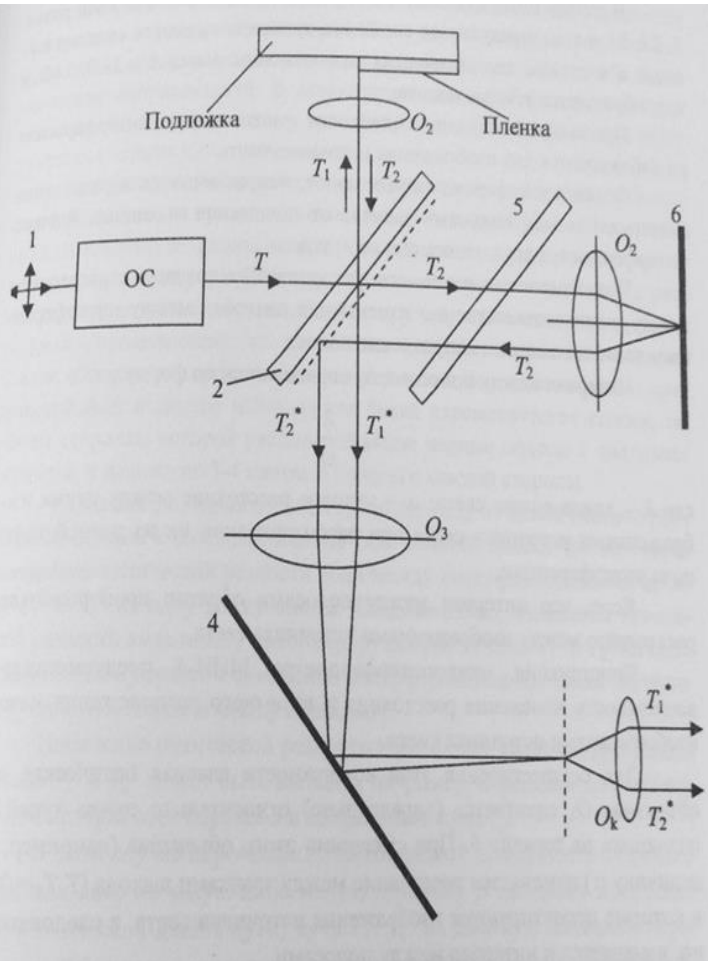
# Материалы, используемые в качестве преобразователя в микроэлектронных ОАВ-резонаторах с брэгговским отражателем.

Материал	Акустический импеданс, 10 <sup>6</sup> кг/м <sup>2</sup> ·с	Скорость продольной акустической волны, м/с	Электромеханический коэффициент связи, k <sup>2</sup> , %	Температурный коэффициент частоты, 10 <sup>-6</sup> /К
ZnO	36	6350	9,15 8,5	-60
AlN	34	10500-11000	6,5	-25
ЦТС	29,82	4600 4570	35	35-65 (-213...+333) К

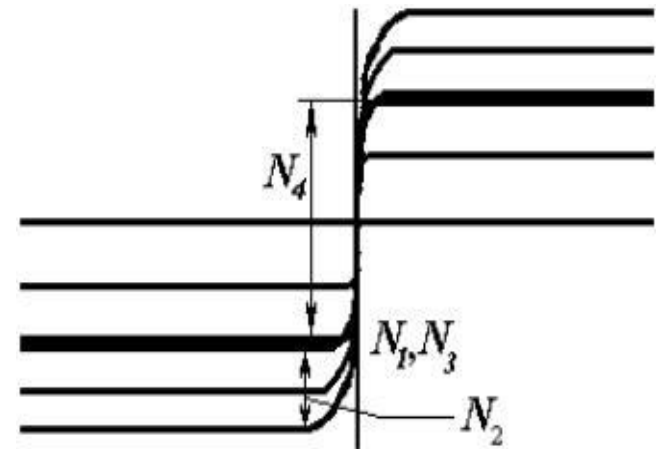
# Изучение механизмов появления механических напряжений и их взаимосвязь с технологическими параметрами



# Методика измерения толщины тонких пленок на микроинтерферометре МИИ – 4

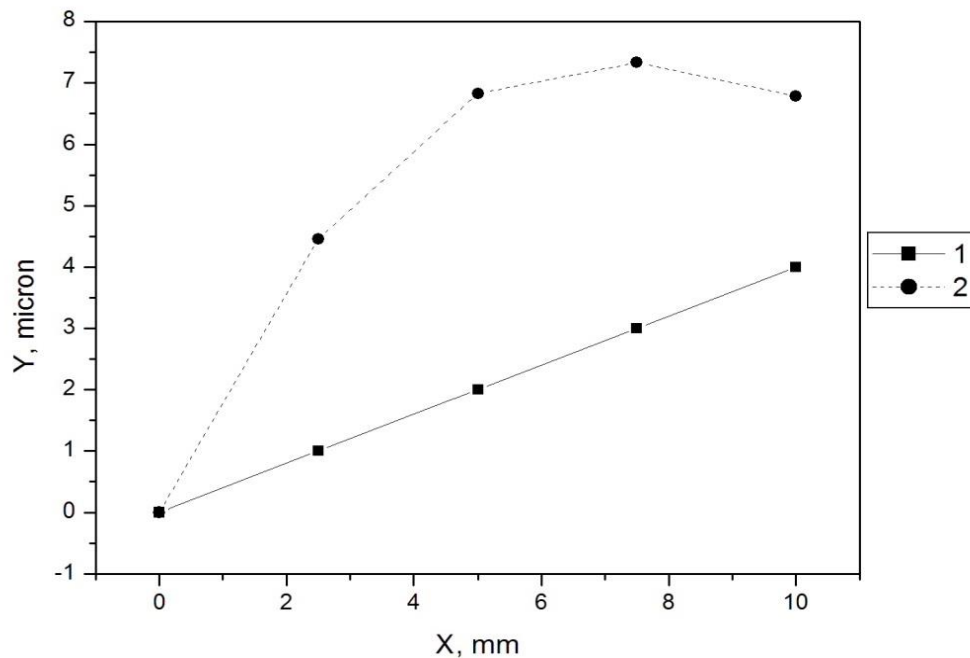


$$\sigma_{\text{вн}} = \frac{\left(\frac{1}{R_f} - \frac{1}{R_s}\right) \cdot E \cdot h_s^2}{6h_f(1 - \gamma)}$$



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

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



# Вывод математического выражения для вычисления радиуса кривизны тонкой пленки.

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

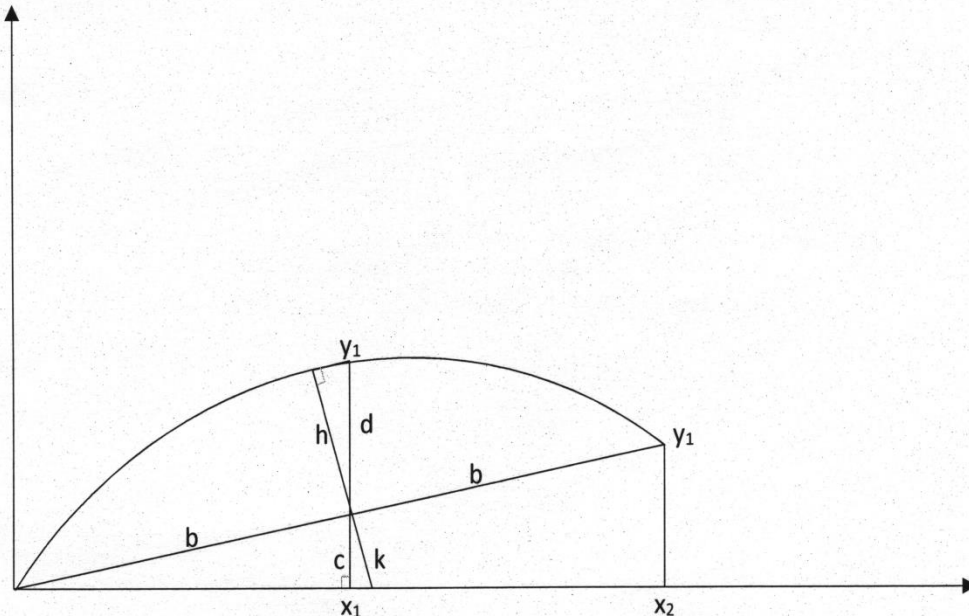
$$c = y_1 - d; \quad \frac{h}{d} = \frac{x_1}{b}; \quad h = x_1 \frac{d}{b};$$

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

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

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

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





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

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







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

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

Конечная формула имеет вид:

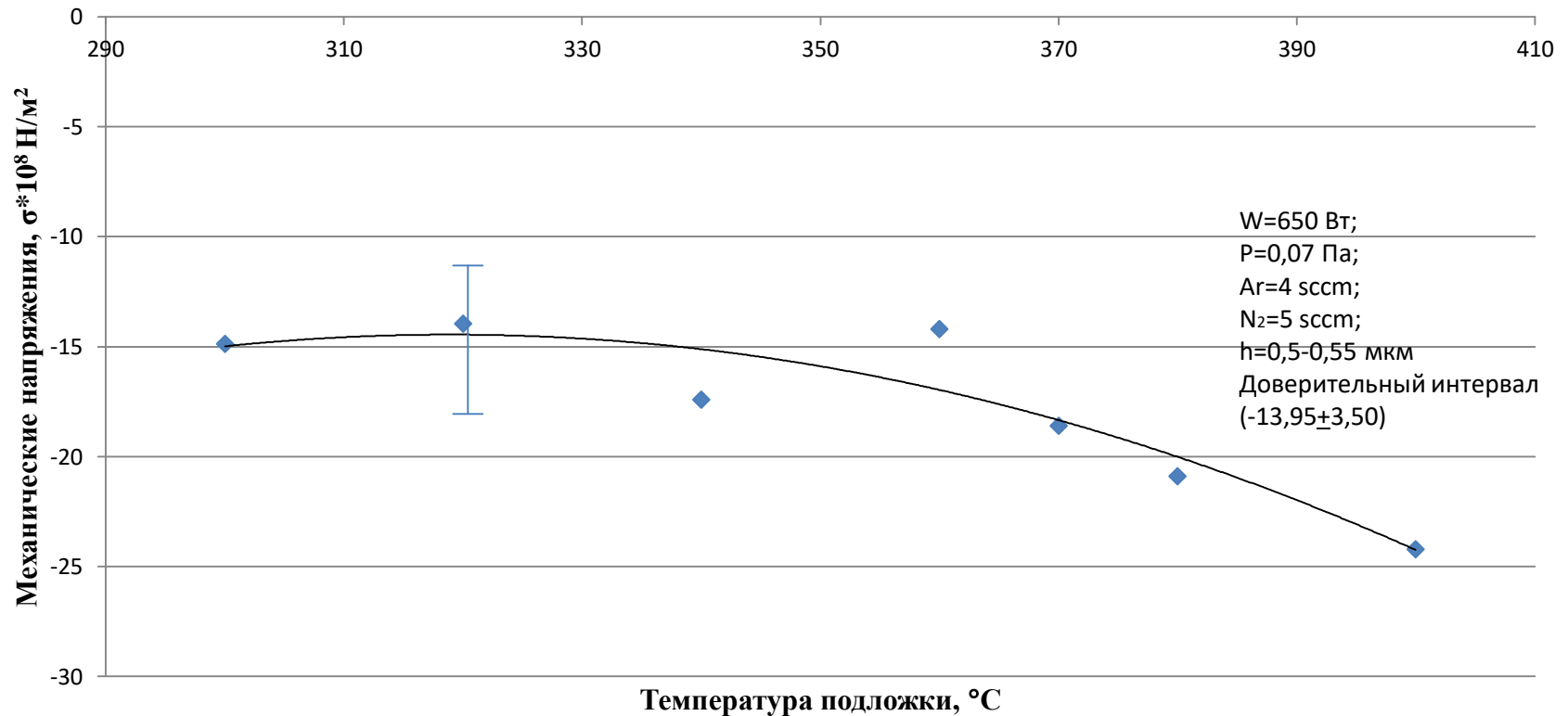
$$R = \frac{(y_2^2 + x_2^2)^{1.5}}{8x_1(y_1 x_2 - x_1 y_2)};$$

# Радиусы кривизны

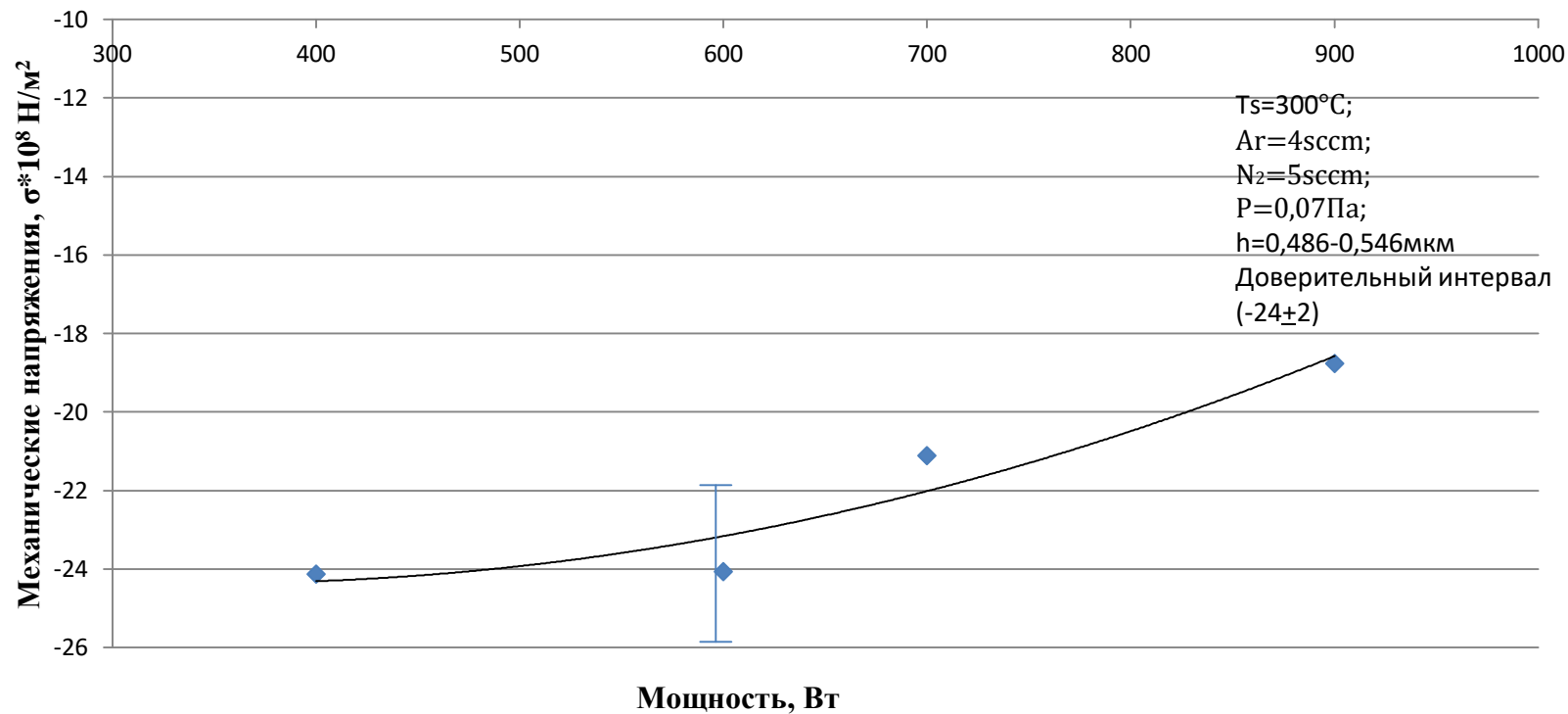
$R = \frac{(y_2^2 + x_2^2)^{1.5}}{8x_1(y_1x_2 - x_1y_2)};$	
$R = \frac{(y_2^2 + x_2^2)^{1.5}}{8x_1(2y_2 - y_2)};$	
$R = \frac{(y_2^2 + x_2^2)^{1.5}}{4x_2(2y_1 + y_2)};$	
$R = \frac{(y_2^2 + x_2^2)^{1.5}}{4x_2(2y_1 + y_2)};$	
$R = \frac{(y_2^2 + x_2^2)^{1.5}}{4(y_2x_1 - x_1y_2)};$	
$R = \frac{(y_2^2 +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

# Результаты экспериментов и их обсуждение

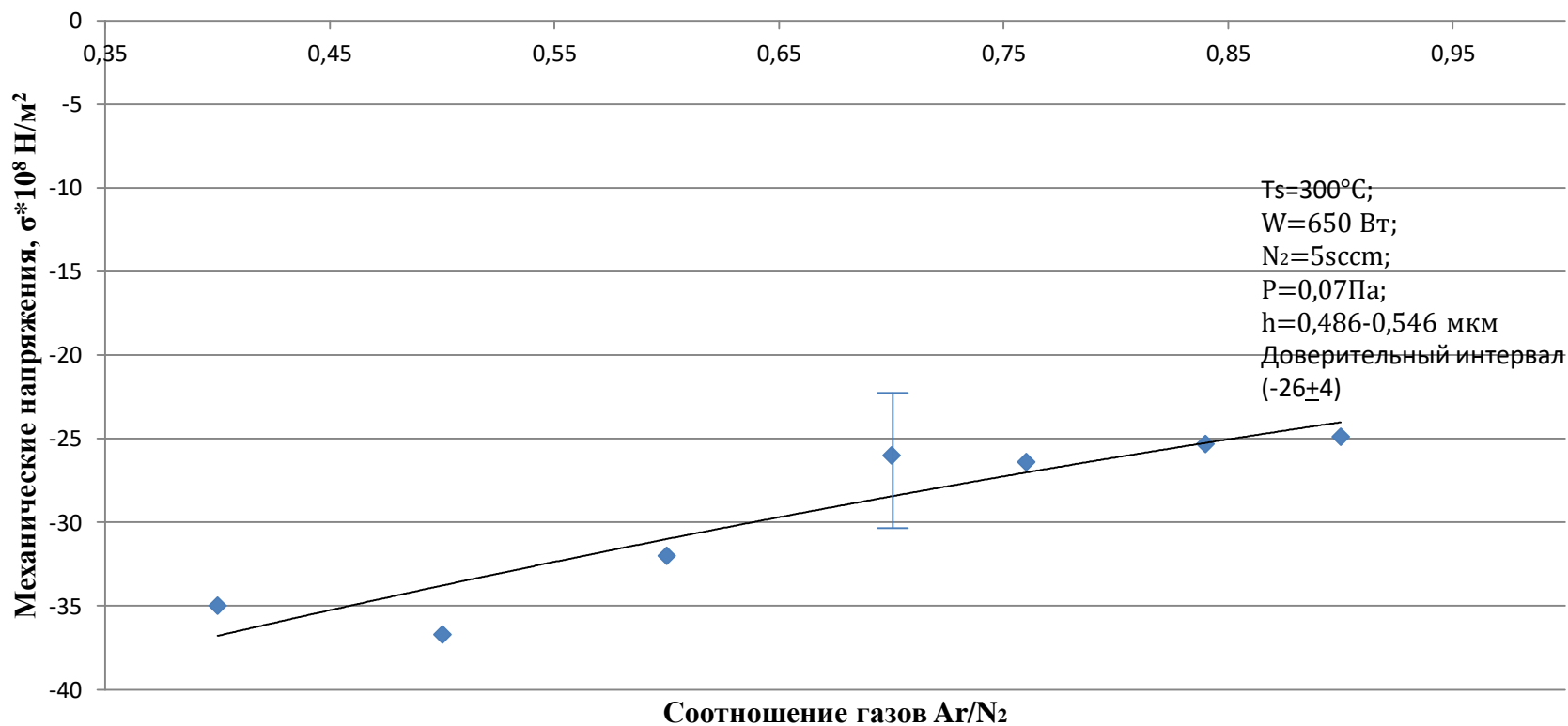
## Зависимость механических напряжений пленок AlN в зависимости от температуры подложки



## Механические напряжения пленок AlN от мощности на мишени



## Зависимость механических напряжений пленок AlN в зависимости от соотношения потока газов аргона и азота



# Выводы:

1. Выведены математические выражения для вычисления радиуса кривизны тонких пленок
2. Были сформированы пленки AlN на ситалловых подложках СТ 50-1.1 толщиной 0,486-0,546 мкм. При режимах:
  - $T=300-400^{\circ}\text{C}$
  - $W=400-900\text{ Вт}$
  - $\text{Ar}/\text{N}_2 = 2,5/5 - 4,5/5\text{ sccm}$
3. Получены зависимости механических напряжений, пленок AlN, от температуры, мощности, соотношения потоков газа. Показано, что оптимальными режимами напыления являются:

Температура подложки 300-340 °C

Подаваемая мощность на мишень 900 Вт

Соотношение газов аргона к азоту 4/5 sccm, соответственно

4. Определено, что при увеличении температуры сжимающие механические напряжения увеличиваются. Это может быть связано с образованием мелкозернистой структуры, что приводит к увеличению механических напряжений.
5. Показано, что при увеличении мощности и увеличении концентрации аргона в камере уменьшается относительное содержание азота в камере, тем самым приводя к увеличению концентрации алюминия в относительных единицах, что так же приводит к избытку количества алюминия и приводит к появлению фазы отличающейся AlN.

**СПАСИБО ЗА  
ВНИМАНИЕ**