

МИНОБРНАУКИ РОССИИ
федеральное государственное бюджетное образовательное
учреждение высшего образования
«Омский государственный университет им. Ф.М. Достоевского»

Физический факультет

Кафедра экспериментальной физики и радиофизики

«Методика измерения пьезоэлектрических свойств пленок AlN»

Научный руководитель:

д.ф.-м.н., профессор Струнин В.И.

Выполнил:

магистрант 1-го курса, Куклев А.Ю.

Актуальность и цель работы

Актуальность исследований обусловлена тем, что нитрид алюминия занимает особое место среди полупроводниковых материалов, в следствии сочетания таких параметров как высокая теплопроводность, коэффициент электромеханической связи, скорость звука. Все эти свойства, а также низкий коэффициент теплового расширения делает нитрид алюминия перспективным материалом в акустоэлектронных устройствах (резонаторы, датчики и др.).

Целью работы является разработка методики измерения пьезоэлектрических свойств пленок AlN, основанной на прямом пьезоэлектрическом эффекте.

Подготовка образцов

В работе использовалась установка нанесения многокомпонентных покрытий методом магнетронного напыления мишени. На ситалловую подложку 20x12 мм напылялся слой алюминия (в качестве нижнего электрода) толщиной 0,2 мкм и размером 18x12 мм. Затем с использованием специальной технологической оснастки напылялся слой нитрида алюминия толщиной 1 мкм и диаметром – 8 мм.

Пленки AlN напылялись при мощности $W = 650$ Вт и соотношении газов $N_2/Ar = 10/4$. Температура подложки $T = 390$ °С. Топология образца представлена на рис. 1.

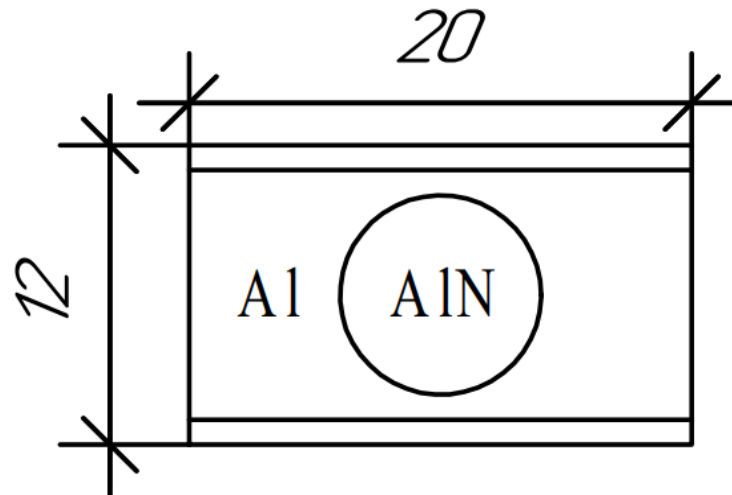


Рис. 1 - Топология образца

Методика эксперимента

Для проведения измерений была разработана конструкция из стеклотекстолита. Конструкция представляет из себя плату, на которую установлена консольная балка. В балке проделано отверстие для медного цилиндра, который выступает в качестве верхнего электрода и воспринимает на себя нагрузку, заданную твердомером.

Принципиальная схема конструкции представлена на рис. 2.

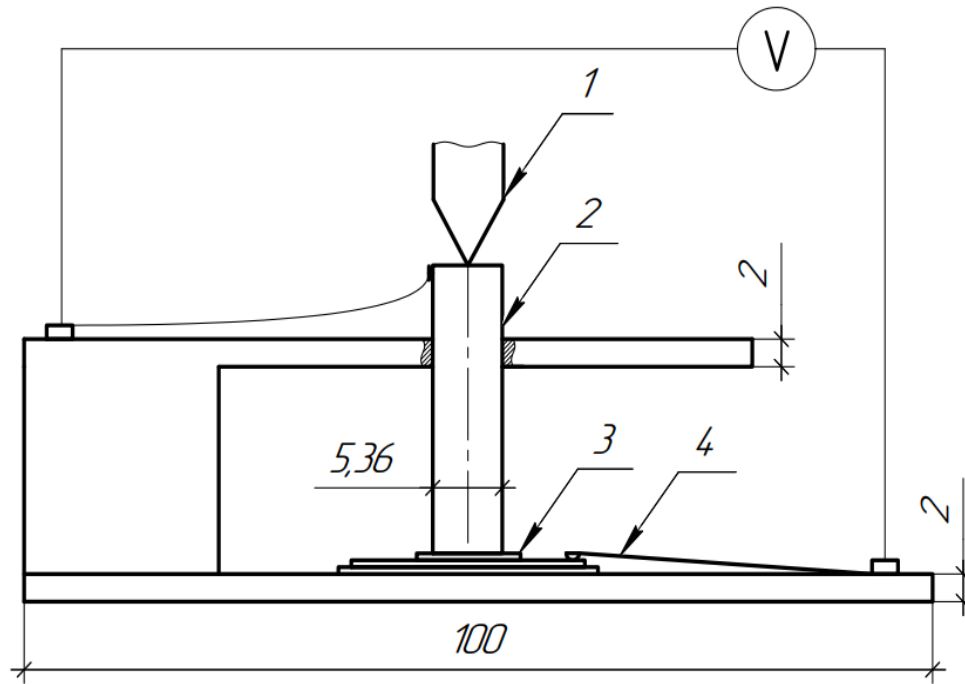


Рис. 2 - Принципиальная схема разработанной конструкции:
1 – индентор; 2 – верхний электрод (из медного цилиндра); 3 – образец; 4 – нижний электрод.

Методика эксперимента

Для фиксации исследуемого образца на нижнюю плату из стеклотекстолита наносилась клейкая лента с посадочным гнездом для ситалловой подложки размером 20x12 мм (рис. 3).

Разрабатываемая методика измерения пьезоэлектрических свойств основывается на прямом пьезоэлектрическом эффекте. Суть методики заключается в том, что на образец (пленка AlN) с использованием микротвердомера HV-1000 подается заданная нагрузка. В следствии прямого пьезоэлектрического эффекта на электродах образуется разность потенциалов, фиксирующаяся вольтметром. Для измерения напряжения в работе использовался цифровой вольтметр АКИП-2021.

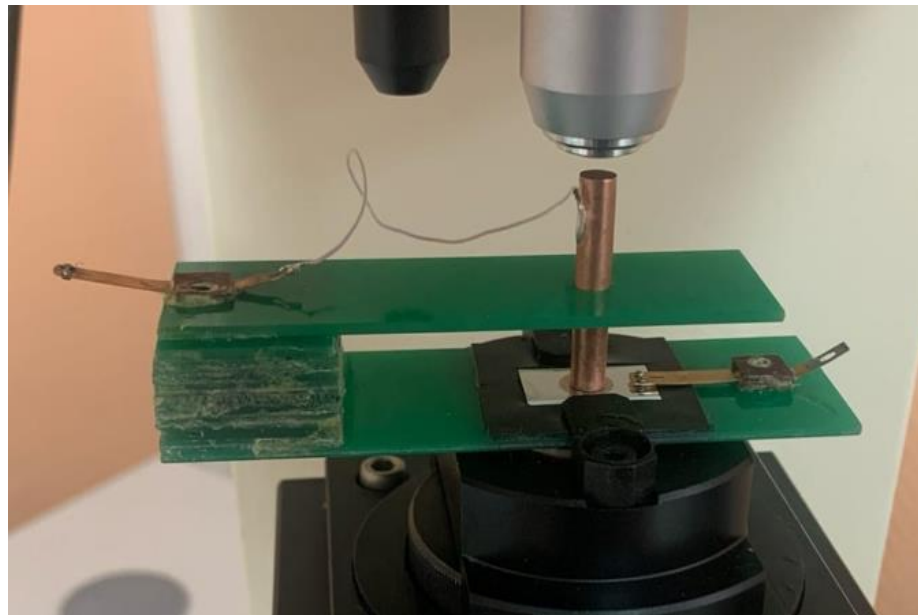


Рис. 3 - Фото конструкции, закрепленной на предметном столике твердомера HV-1000

Методика эксперимента

Существует четыре пьезоэлектрические постоянные [1]:

Пьезомодуль d_{ij} (пьезоэлектрический коэффициент заряда или относительной деформации) – отношение механической деформации к приложенному электрическому полю или индуцированный электрический заряд на механическое напряжение. Значение этого коэффициента для большинства пьезоэлектриков находится в диапазоне $10^{-12} \dots 10^{-11}$ Кл/Н.

Пьезомодуль e_{ij} (пьезоэлектрический коэффициент механического напряжения) - отношение развиваемого механического напряжения к приложенному электрическому полю.

Пьезомодуль g_{ij} (пьезоэлектрическая постоянная давления) – отношение полученного электрического напряжения к приложенному давлению.

Пьезомодуль h_{ij} (пьезоэлектрическая постоянная деформации) - отношение полученного электрического напряжения к внешнему изменению толщины (создаваемой деформации).

Расчет пьезомодуля g_{33} производился по формуле 1:

$$g_{33} = \frac{U}{d \cdot P}; (1)$$

где U – полученное напряжение (В), d – толщина пленки (м), P – приложенное давление (Па).

Пьезомодули d_{33} и g_{33} связаны между собой через абсолютную диэлектрическую проницаемость соотношением [2]:

$$d_{33} = g_{33} \cdot \varepsilon_a; (2)$$

где g_{33} – пьезоэлектрическая постоянная давления (В·м/Н), ε_a – абсолютная диэлектрическая проницаемость $\{\varepsilon_a = \varepsilon_0 \cdot \varepsilon = 8,85 \cdot 8,5 \cdot 10^{-12}$ [Ф/м или (Кл/В*м)]}.

Результаты и их обсуждение

Данные расчета сведены в таблицу 1.

Таблица 1 - Данные расчета

Заданная нагрузка	Приложенное давление	Толщина пленки	Полученное напряжение	Пьезоэлектрическая постоянная давления	Пьезоэлектрический коэффициент заряда
F, Н	P, Па	d, м	U, мВ	g_{33} , (мВ·м)/Н	d_{33} , Кл/Н · 10 ⁻¹²
0,98	43555,55	1·10 ⁻⁶	1,1	25,255	1,904
1,96	87111,11		1,4	16,071	1,212
2,94	130666,66		2,3	17,602	1,327
4,9	217777,77		3,4	15,612	1,177

Зависимость пьезомодуля g_{33} от прикладываемой нагрузки представлена на рис. 4.

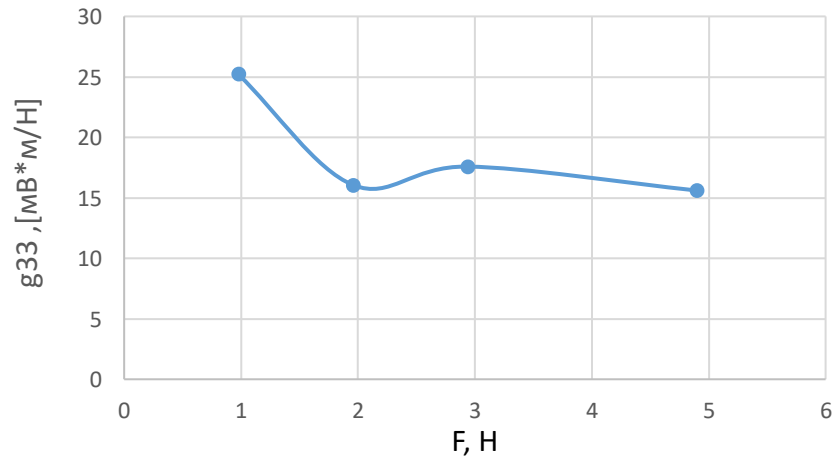


Рис. 4 - Зависимость пьезомодуля g_{33} от прикладываемой нагрузки

Сравнение с данными СМП

Данные для сравнения были усреднены и сведены в таблицу 2.

Таблица 2 – Сравнение результатов

Образец	Температура подложки	Давление в камере	Соотношение $\frac{N_2}{Ar}$	Методика	Пьезоэлектрический коэффициент заряда
№	$T_s, ^\circ C$	P, Па	sccm	-	$d_{33}, \text{ Кл/Н} \cdot 10^{-12} (\text{пм/В})$
152 (Al 236)	390	0,07	5/4	СМП	(1,934)
153 (Al 237)				СМП	(1,421)
161 (Al 245)				СМП	(0,826)
167 (Al 254)		0,1	10/4	Разработанная	1,405

Заключение

Разработана методика измерений пьезоэлектрических свойств пленок AlN. Методика основывается на явлении прямого пьезоэлектрического эффекта, т.е. при подаче нагрузки на пленку AlN на электродах образуется разность потенциалов, фиксирующаяся вольтметром. Представлена схема измерения пьезоэлектрических свойств с использованием микротвердомера HV-1000.

Максимальное значения пьезомодуля $d_{33} = 1,904 \text{ Кл/Н} \cdot 10^{-12}$.

Список литературы

1. Инженерные решения.

[Электронный ресурс] URL: <https://engineering-solutions.ru/ultrasound/piezomaterials>

2. Пьезокерамические материалы НКТБ "Пьезоприбор".

[Электронный ресурс] URL: <https://ivtipt.ru/pm>

Спасибо за внимание!



Прямой и обратный пьезоэлектрический эффект

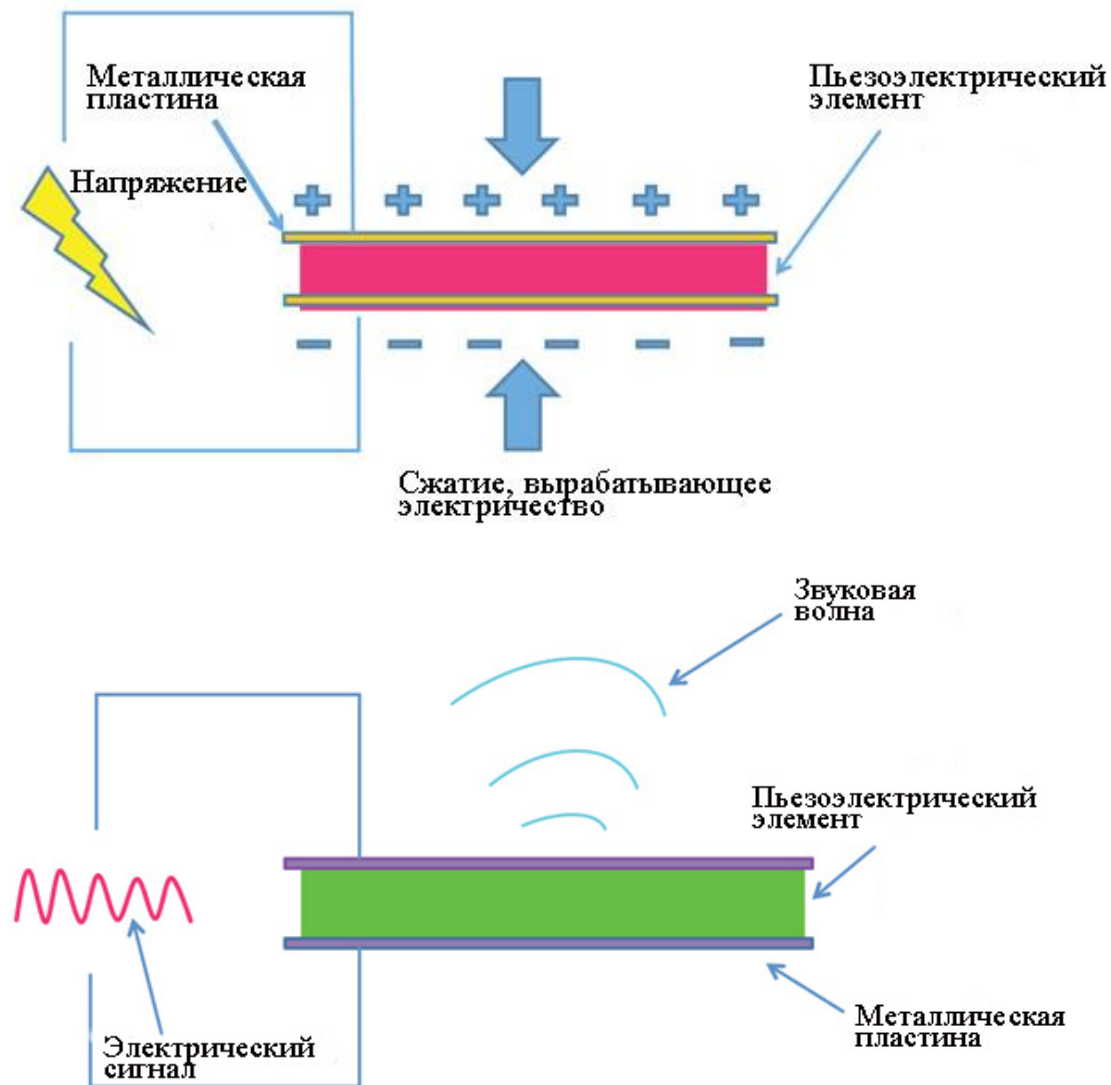


Рис. 1 - Прямой и обратный пьезоэлектрический эффект