

МЕХАНИЧЕСКАЯ ПРОЧНОСТЬ ТОНКИХ ПЛЕНОК TmSe, TmS И LaBi

З. У. Джабуа, А. В. Гигинейшвили

Грузинский технический университет
Департамент инженерной физики
Тбилиси, Грузия
Z.Jabua@hotmail.com

Принята 20 мая 2015 года

Аннотация

Впервые исследована относительная механическая прочность тонких кристаллических пленок TmSe, TmS и LaBi. Все пленки приготовлены методом вакуумно-термического испарения из двух независимых источников на подложках из монокристаллического кремния, ситалла или лейкосапфира. Показано, что относительная механическая прочность пленок зависит от материала подложки. Исследована относительная механическая прочность пленок TmSe, приготовленных методом вакуумного-термического испарения из двух независимых источников и методом вакуумно-термического испарения из предварительно синтезированного соединения. Показано, что пленки, приготовленные методом дискретного испарения, имеют значительно высокую механическую прочность, чем пленки, приготовленные испарением из двух независимых источников.

В последнее время большое внимание уделяется изучению механических свойств тонких пленок соединений редкоземельных элементов, что вызвано тем, что часто пленки, имеющие интересные электрические, оптические и другие свойства, обладают низкими механическими свойствами, что значительно ограничивает их практическое применение в различных приборах.

Существуют различные способы изучения механических свойств пленок. Из них нами выбран метод полного истирания. Сущность метода заключается в том, что о механической прочности пленки и о степени ее прилипания к подложке можно судить по той работе, которую нужно затратить для того, чтобы полностью стереть пленку с поверхности подложки. Схема соответствующей установки приведена на **Рисунке 1**.

Массивная плита 1, на которой крепится исследуемая плунка 2, элетромотором 7 приводится в поступательное движение взад и вперед. По середине плиты в П-образный стояк 3 перемещается стержень 6, на нижнем конце которого закреплена рабочая поверхность, а на верхней – диск 5, на который укладывается соответствующий груз. Между диском и стояком 3 помещена пружина 4, которая подобрана таким образом, чтобы стержень 6 касался поверхности пленки, но не давит на нее, когда стержень не нагружен. Приспособления 8 являются щупальцами, при соприкосновении с которыми плита меняет направление движения. В коробке 9 вмонтирована схема электрического питания устройства. На конце стержня 6 закреплен кусок замшевого материала толщиной не более 1 мм, на который наносится алмазная паста, стирающая пленку с подложки при

движении плиты 1 с закрепленной на ней исследуемой плёнкой 2. Нагрузка на пленку подбирается таким образом, что самая непрочная пленка стирается с подложки после нескольких десятков прохождении нагрузки (при увеличении числа прохождений ошибка эксперимента увеличивается). Таким образом прочность пленки при постоянной нагрузке практически измеряется числом прохождении, которое требуется для полного истирания пленки с подложки.

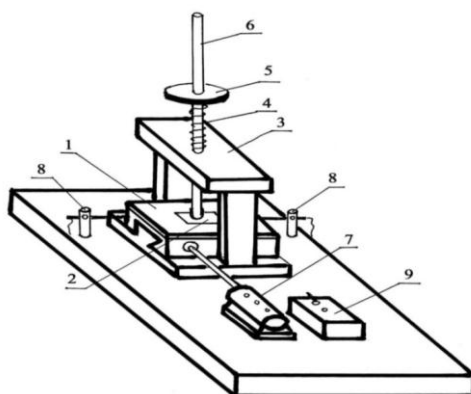


Рисунок 1. Схема установки для изучения механической прочности пленок.

Нами изучена относительная механическая прочность тонких пленок TmS, TmSe, LaBi, приготовленных на подложках из монокристаллического кремния, ситалла или лейкосапфира. Все пленки получены методом вакуумно-термического испарения из двух независимых источников на подложках прямоугольной формы из монокристаллического кремния, ситалла и лейкосапфира. Пленки были однофазными и имели поликристаллическую структуру. Поскольку для описанной методики решающим фактором является толщина пленки, все исследуемые нами пленки имели одинаковую толщину – 0.7 мкм, а нагрузка также была одинаковая и составляла 250 г.

Таблица 1. Число проходов для полного истирания пленок TmSe, TmS и LaBi, напыленных на различных подложках.

Материал плёнки	Толщина пленки, мкм	Нагрузка, г	Число проходов для полного истирания		
			Подложка из кремний	Подложка из ситалла	Подложка из лейкосапфира
TmSe	0.7	250	29 – 33	42 – 45	50 – 59
TmS	0.7	250	41 – 43	54 – 56	70 – 73
LaBi	0,7	250	49 – 52	65 – 68	81 – 84

Как видно из **Таблицы 1** и **Рисунка 2** относительная механическая прочность одного и того же материала на одной и тоже подложке увеличивается с последовательностью TmSe–TmS–LaBi, что, по видимому, вызвано уменьшением разности коэффициентов теплового расширения подложки и материала пленки, напыленной на этой подложке с указанной выше последовательностью. Чем меньше разность между коэффициентами теплового расширения (**Таблица 2**) пленки и подложки, тем меньше дефектов образуются в пленке при охлаждении от температуры напыления до комнатной температуры, что по видимому, существенно влияет на механическую прочность пленки.

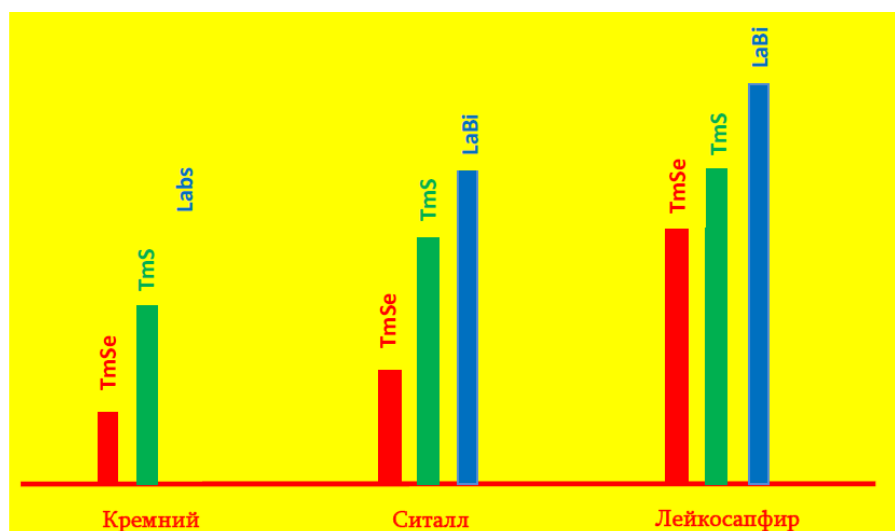


Рисунок 2. Относительная механическая прочность пленок TmSe, TmS и LaBi, напыленных на различных подложках.

Таблица 2. Коэффициенты теплового расширения пленок TmSe, TmS и LaBi и материалов подложки.

Материал	Коэффициент теплового расширения, 10^{-6} , град $^{-1}$	Среднее значение температурного интервала, К	Ссылки
TmSe	18.6	300 – 950	[1]
TmS	14.6	300 – 800	[1]
LaBi	11.9	300 – 980	[2]
Монокристаллический кремний	2.54	300 – 1050	[3]
Ситалл	4.10	300 – 575	[3]
Лейкосапфир	8.10	300 – 575	[3]

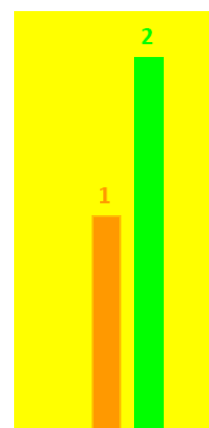
Из **Рисунка 2** также видно, что относительная механическая прочность увеличивается в зависимости от материала подложки с последовательностью монокристаллический кремний – ситалл – лейкосапфир. В частности, механическая прочность пленок напыленных на лейкосапфировую подложку имеют более высокую механическую прочность, чем напыленных на ситалловую подложку, а пленки напыленные на монокристаллический кремний имеют наименьшую прочность. Этот факт, может быть вызван тем, что коэффициент теплового расширения лейкосапфира ближе к коэффициенту теплового расширения напыленного материала, в то время как аналогичная разница для кремния больше, а для ситалла имеет промежуточное значение.

В данной работе также исследована механическая прочность моноселенида тулия, напыленного методом дискретного вакуумно-термического испарения и методом вакуумно-термического напыления из двух независимых источников. В частности на лейкосапфировой подложке приготовили пленки толщиной 0.7 мкм и посчитали количество проходов для полного истирания пленок при нагрузке 250 г (**Таблица 3**).

Таблица 3. Относительная механическая прочность пленок TmSe, приготовленных различной методикой на сапфировой подложке.

Метод приготовления пленок	Состав пленки	Толщина пленки, мкм	Нагрузка, г	Число проходов для полного истирания
Испарение из двух независимых источников	TmSe	0.7	250	67
Дискретное испарение Предварительно Синтезированного соединения	TmSe	0.7	250	115

Рисунок 3. Относительная механическая прочность пленок TmSe, напыленных на лейкосапфировой подложке (толщина пленок 0.7 мкм, пленки приготовлены методами испарения из 1 – двух независимых источников и 2 – предварительно синтезированного материала).



Как видно из **Таблицы 3** и **Рисунка 3** относительная механическая прочность пленок, приготовленных дискретным вакуумно-термическим испарением предварительно синтезированного материала, почти на 40 % больше механической прочности пленок, приготовленных вакуумно-термическим испарением из двух независимых источников компонентов. Такая разница может быть вызвана тем фактом, что как показали рентгенодифрактометрические исследования, кристаллическая решетка пленок приготовленных дискретным испарением более совершенна, чем структура пленок приготовленных испарением из двух независимых источников. Аналогичную картину мы наблюдали для пленок антимоноидов редкоземельных элементов [4].

Ссылки

1. В. Н. Марченко, Г. В. Самсонов. Тепловое расширение некоторых сульфидов РЗМ. ФТТ, 1963, 15, 631-635.
2. С. И. Новикова, Н. Х. Абрикосов. Тепловое расширение некоторых халькогенидов редкоземельных элементов. ФТТ, 1963, 5, 1913-1919.
3. С. И. Новикова. Тепловое расширение твердых тел. 1974, Москва, Наука, 158 стр.
4. З. У. Джабуа. Автореф. дисс. на соиск. уч. степ. докт. техн. наук. 2005, Тбилиси, 16 стр.