

ВЛИЯНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ ПОДЛОЖКИ НА МЕХАНИЧЕСКУЮ ПРОЧНОСТЬ ПЛЕНОК Yb_5Sb_4

З. Джабуа, В. Марчилашвили, А. Гигинейшвили

Грузинский технический университет
Департамент инженерной физики
Тбилиси, Грузия
z.jabua@hotmail.com
vmarchilashvili@gmail.com
kakogigineishvili@yahoo.com

Принята 5 декабря 2021 года

Аннотация

Методом дискретного вакуумно-термического испарения предварительно синтезированного материала приготовлены пленки Yb_5Sb_4 на лейкосапфировой подложке при фиксированных температурах подложки в области 1010 – 1280 К. Методом полного стирания определена механическая прочность приготовленных пленок. Установлено влияние температуры подложки при напылении пленок на их механическую прочность.

Введение

Соединения редкоземельных элементов с сурьмой имеют интересные электрические, магнитные, оптические и другие свойства. Сказанное особенно относится к тонким пленкам этих материалов, свойства которых часто отличаются от свойств объемных материалов. В последнее время большое внимание уделяется изучению механических свойств тонких пленок, поскольку в процессе эксплуатации в пленках могут развиваться внутренние напряжения, релаксация которых может повлиять на их физические свойства [1 – 3].

Целью настоящей работы является изучение влияния температуры подложки при приготовлении пленок состава Yb_5Sb_4 на их механическую прочность.

Экспериментальная часть

Тонкие пленки Yb_5Sb_4 толщиной 1.2 мкм, длиной 8 мм и шириной 6 мм готовили методом дискретного вакуумно-термического испарения предварительно синтезированного материала состава Yb_5Sb_4 . В качестве подложки использовали лейкосапфир. Подложки имели форму прямоугольного параллелепипеда размерами 15×10×1 мм. Как известно, на совершенство приготовленных пленок большое влияние оказывает чистота поверхности подложки. В данной работе подложку обрабатывали сначала в 20%-ом растворе NaOH, потом промыли дистиллированной водой, и проводили травление в растворе состава 30%HCl+60%HNO₃+10%H₂O. Концентрации

HCl и HNO₃ составляли 99.8%. После химической обработки подложку промывали дистиллированной водой. Ею переносили в вакуумную камеру и проводили отжиг при температуре ~ 1000 К в течении 1 ч в вакууме порядка 10⁻⁶ мм рт. ст.

Непосредственно перед напылением проводили бомбардировку поверхности подложки электронным пучком в течении 1 – 2 мин. При приготовлении пленок вакуум в рабочей камере составлял ~ 10⁻⁶ Па. Температура испарителя была равна ~ 2400 К, расстояние от испарителя до подложки – 85 мм. Скорость напыления равнялась ~ 40 – 45 Å/с. Температура подложки в разных опытах менялась в пределах 980 – 1300 К.

Фазовый состав и кристалличность приготовленных пленок изучались рентгенодифракционными и электронографическими методами. Диффрактограммы снимали на установке ДРОН-2 при излучении Cu K_α с никелевым фильтром в режиме непрерывной записи со скоростью 1°/мин. Электронограммы снимали на установке марки УЭМВ при ускоряющем напряжении (75 – 100)·10³ В в режиме «отражения». Состав пленок определяли с помощью рентгеновского микрозондового анализа на установке Camebax-Microbeam с использованием ЭВМ PDP-11/73.

Механическую прочность приготовленных пленок измеряли на установке, которая аналогична описанной в работе [4]. Схема установки приведена на **Рисунке 1**. О прочности пленки можно судить по той работе, которая необходима для ее стирания с подложки. Исследуемая пленка ставится в Нишу 2. Мотором 7 пленка перемещается вперед и взад. На пленку давит Стержень 6, на нижнем конце которого закреплен замшевый материал толщиной ~ 1 мм. На нем наносится алмазная паста, которая стирает пленку с подложки при движении Плиты 1.

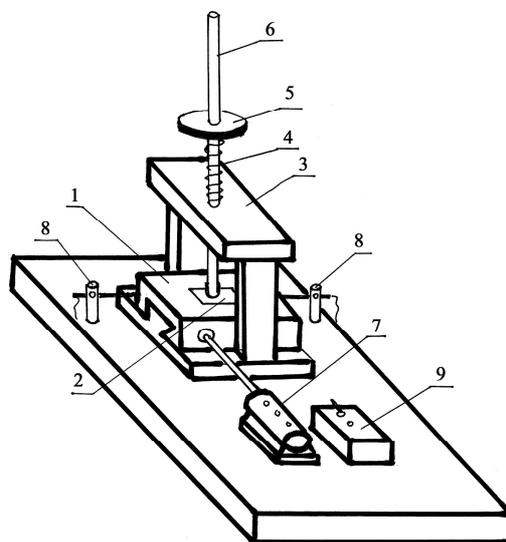


Рисунок 1. Схема установки для исследования относительной механической прочности. 1 – плита, 2 – ниша для исследуемой пленки, 3 – стойка, 4 – пружина, 5 – диск, 6 – стержень, 7 – электродвигатель, 8 – шупальца и 9 – блок электропитания.

На Диск 5 стержня кладутся грузы таким образом, что пленка стирается с подложки после нескольких проходов нагрузки. Таким образом прочность пленки при постоянной нагрузке измеряется числом проходов, которое требуется для полного истирания пленки с подложки.

При исследовании зависимости механической прочности пленок Yb_5Sb_4 от температуры подложки эксперименты были проведены на пленках одинаковой толщины, равной 1.2 мкм, при одинаковых нагрузках на пленку, равной 300 г. Пленки приготовлены при температурах подложки начиная с 1080 К и кончая 1280 К через каждые ~ 30 – 40 К. Другие параметры напыления были одинаковыми в пределах ошибки эксперимента.

Результаты и обсуждение

Эксперименты показали, что при температурах подложки ниже 980 К пленки имеют плохо сформированную структуру, а выше 1300 К являются двухфазными: содержат Yb_4Sb_3 и YbSb . В интервале температур 1010 – 1280 К пленки однофазны и имеют состав, соответствующий Yb_5Sb_4 .

Пленки напыленные при температуре подложки в указанных пределах имеют ромбическую структуру с параметрами решетки: $a = 8.11$, $b = 15.95$ и $c = 24.34 \text{ \AA}$, что хорошо согласуется с данными для объемных кристаллов [5]. Согласно рентгеновскому микроанализу, пленки содержат 55.6 ат.% Yb и 44.4 ат.% Sb.

По произведенным измерениям построена графическая зависимость прочности пленок Yb_5Sb_4 от температуры подложки при приготовлении пленок (Рисунок 2). Прочность пленок, полученных при температуре подложки 1010 К принята за единицу. Как видно из графика прочность возрастает с увеличением температуры подложки примерно до 1200 К. А при дальнейшем повышении температуры до 1280 К, прочность возрастает медленнее и кривая как-бы переходит в состояние насыщения.

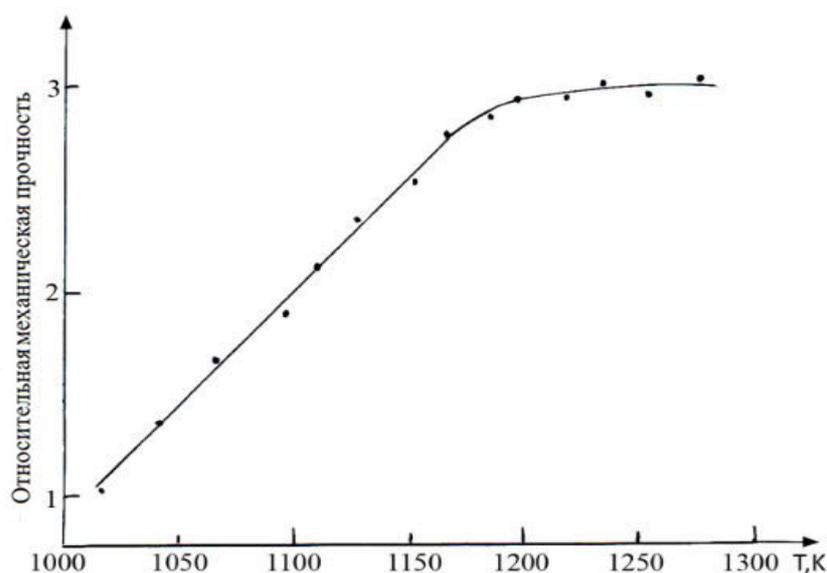


Рисунок 2. Зависимость относительной механической прочности пленок Yb_5Sb_4 от температуры подложки при напылении пленок.

Если при температуре подложки в 1080 К для стирания пленки при нагрузке на трущуюся пленке в 300 г нужно произвести в среднем 31 стираний, то при температуре 1280 К число стираний доходит до 98.

Увеличение механической прочности пленки, по видимому, объясняется как резким увеличением прочности прилипания, так и теми изменениями в структуре пленки и подложки, которые сопутствуют повышению температуры.

Заключение

Методом стирания изучена зависимость механической прочности пленок Yb₅Sb₄ от температуры подложки при напылении. Показана, что с увеличением температуры подложки в области 1010 – 1200 К механическая прочность линейно увеличивается почти в три раза, а в области 1200 – 1280 К достигает насыщения и остается постоянной. Высказано предположение, что увеличение прочности связана как с улучшением адгезии так и кристаллическим совершенством структуры пленок.

Ссылки

- [1] А. В. Панин, А. Р. Шугуров, К. В. Оскомов. Исследование механических свойств тонких пленок Ag на кремниевой подложке методом наноиндентирования. Физ. твер. тела, 2006, 47, 1973-1977.
- [2] M. Ruru, O. Satin, S. Ozarstan, A. E. Ormetin. Fabrication and mechanical and electrical characterization of rare earth permanent magnet SmCo₅ films. J. Alloys Comp., 2017, 694, 726-732.
- [3] И. Табатадзе, З. Джабуа. Относительная механическая прочность монотеллурида эрбия. Nano Studies, 2016, 13, 79-82.
- [4] К. Д. Синельников, И. Н. Шкляревский. Зависимость механической прочности алюминиевых покрытий от температуры стекла подложки. Тр. Харьковского гос. унив., 1950, 2, 9-13.
- [5] F. Bodnar, H. Steinfink. The phase equilibria and crystal chemistry of the intermediate phases in the ytterbium–antimony system. Inorg. Chem., 1967, 6, 1951-1957.