

Анализ изменения акустических характеристик аморфных металлических покрытийЮ. К. Алешин^{1,*}, Д. М. Ксенофонтов¹, М. А. Чоба², В. Н. Платонов³, Ю. В. Ануфриев⁴¹Московский государственный университет имени М.В.Ломоносова, физический факультет, Россия, 119991, Москва, Ленинские горы, д. 1, стр. 2²Московский государственный университет имени М.В.Ломоносова, химический факультет, Россия, 119991, Москва, Ленинские горы, д. 1, стр. 3³Федеральное государственное бюджетное учреждение науки ИОФРАН, Россия, 119991, Москва, ул. Вавилова, 38⁴Федеральное государственное бюджетное учреждение науки ИНМЭ РАН, Россия, Москва, ул. Нагатинская, д. 16а, корп. 11

(Статья поступила 02.12.2014; Подписана в печать 10.12.2014)

Аморфные металлические пленки в технологическом плане наиболее экологичны и позволяют использовать материалы в широком диапазоне применений. Изменение фазового состава подобных стекол и возможность неразрушающего измерения их акустических характеристик является темой для данного экспериментального исследования.

PACS: 43.58.+z

УДК: 53.082.4

Ключевые слова: опто-акустика, металлические пленки, фазовая структура.

В начале 60-х годов XX века было начато активное изучение металлических сплавов, у которых отсутствовала кристаллическая структура [1]. Металлы и сплавы с неупорядочным расположением атомов называются аморфными металлическими стеклами. Формирование аморфной структуры металлов и сплавов приводит к фундаментальным изменениям магнитных, электрических, механических, сверхпроводящих и других свойств. Термодинамически устойчивым твердым состоянием вещества при низких температурах является кристаллическое состояние. Однако в зависимости от свойств материала кристаллизация может потребовать больше или меньше времени — молекулы должны успеть при охлаждении вещества «выстроиться». Иногда это время бывает столь большим, что кристаллическое состояние практически не реализуется. Как правило аморфное состояние образуется при быстром охлаждении расплава. Например, расплавляя кристаллический кварц и затем быстро охлаждая расплав, получают аморфное кварцевое стекло. Однако иногда даже самое быстрое охлаждение недостаточно быстро для того, чтобы помешать образованию кристаллов. В природе аморфное состояние (например: опал, обсидиан, янтарь, смолы) встречается гораздо реже, чем кристаллическое. В аморфном состоянии могут находиться некоторые металлы и сплавы, а также полупроводники и полимеры. Структура веществ в аморфном состоянии характеризуется ближним порядком взаимодействия звеньев или сегментов макромолекул, быстро уменьшающимся по мере их удаления друг от друга.

Одним из основных преимуществ аморфных металлических сплавов является их очень высокая коррозионная стойкость [1], которая у некоторых аморфных металлических сплавов на несколько порядков выше,

чем у лучших нержавеющих сталей. Во многих агрессивных средах (морской воде, кислотах) аморфные металлы вообще не подвергаются коррозии. Например, скорость коррозии аморфного сплава, в котором содержится железо, хром и никель, в растворе соляной кислоты, практически равна нулю, а скорость коррозии классического коррозионностойкого сплава железа, хрома и никеля, находящегося в поликристаллическом состоянии, в такой же среде составляет более 10 мм/год. Предполагается, что основная причина высокой коррозионной стойкости аморфных сплавов заключается в отсутствии специфических дефектов кристаллической решетки — дислокаций и границ между зернами. Аморфные металлы обладают очень высокой твердостью и прочностью, в среднем металл в аморфном состоянии прочнее металла в кристаллическом состоянии в 5–7 раз. Так же металлические стекла обладают весьма высокой вязкостью. Для современных технологических процессов важно контролировать физическое состояние металлических поверхностных пленок, учитывая динамический характер изменения их структуры. Таким образом, приходим к практике сквозного по времени контроля за фазовым состоянием пленки для проверенного технологического использования материала. Все вышесказанное приводит к следующей постановке задачи экспериментального изучения процессов соединения состояний металлических пленок:

- получить контролируемую по толщине и составу металлическую пленку аморфного состава на металлических подложках;
- экспериментально освоить методически четкое определение состояния пленки металла при различных методах отжига;
- провести экспериментальное изучение и анализ изменения акустических характеристик аморф-

*E-mail: vovur@mail.ru

ных и поликристаллических пленок одного химического состава;

- предложить и экспериментально отработать методику определения особенностей фазового состояния пленок неразрушающими методами.

Нами применялся изученный в предыдущих работах оптико-акустический метод, основанный на возбуждении ультразвука с помощью импульсного лазерного излучения [2]. При использовании коротких лазерных импульсов в твердом теле могут возбуждаться частоты акустических волн в диапазоне от десятков кГц до 10^{11} Гц, что позволяет исследовать слои толщиной до десятков нанометров. Этот метод является неразрушающим методом исследования тонких пленок. Акустические волны достаточно слабо затухают с расстоянием, что позволяет использовать их для исследования неоднородностей на больших глубинах. Проанализировав полученные результаты, при учете постоянства толщины пленки, нами сделаны выводы о том, что акустическая проводимость пленки в аморфном и поликристаллическом состояниях различаются в 1,5 раза, что позволяет диагностировать полное изменение внутренней структуры неразрушающим методом. Результаты были подтверждены независимыми электроннозондовыми методами [2], а также проведена визуализация сканирующим электронным микроскопом.

Стойкий эффект дает возможность экспериментального исследования акустических характеристик бинарного объемного фазового состава металлических пленок. Нами, по отработанной методике нанесения аморфной пленки, изготовлены два образца, отличающихся по толщине. Размеры отличались примерно на порядок. Измерения толщин проводилось с помощью растрового электронного микроскопа Quanta 3D FEG фирмы FEI (Holland) методом вырезания «шурфа» в пленке на полную глубину (рис. 1). Точность измерения приведена на рисунке.

Проведены исследования оптикоакустического отклика и рассчитаны акустические характеристики (скорость и проводимость) (рис. 2).

Образец 1. Толщина слоя покрытия составила 27,2 мкм. Двойное время пробега в пленке — $(21,6 \pm 0,2)$ нс. Скорость звука — (2030 ± 18) м/с.

Образец 2. Толщина слоя покрытия составила 270 мкм. Двойное время пробега в пленке — $(256,8 \pm 0,2)$ нс. Скорость звука — (2111 ± 18) м/с.

Проведен ряд измерений, что дало возможность оценить точность измерения скорости звука в пленке. Ощутимая разница в результатах позволяет сде-

лать предположение о том, что при большой толщине аморфной пленки начинает сказываться процесс перехода метастабильного состояния (аморфное) в более стабильное (поликристаллическое). Основное воздействие связано с давлением поверхностного натяжения пленки, что приводит к частичному внутреннему изменению фазового состава материала. Дальнейшие исследования смогут определить при каких внешних

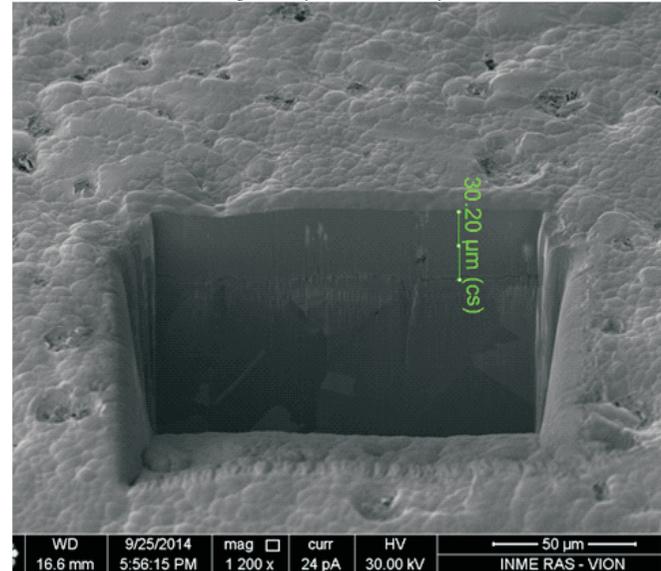


Рис. 1: Метод вырезания «шурфа» для измерения толщины металлической пленки

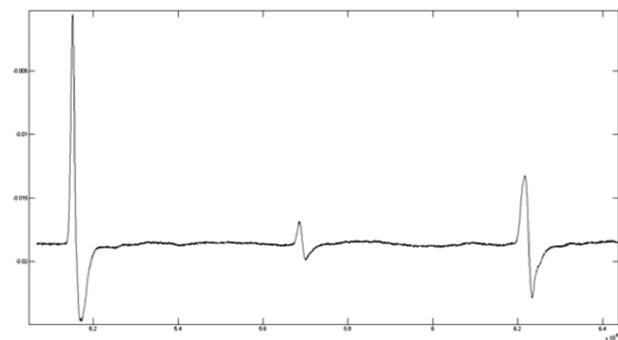


Рис. 2: Оптикоакустический отклик с преобразователя ПЛУ-60П-03 для аморфной пленки на металлической подложке

условиях можно с уверенностью говорить, что аморфное состояние единственное по всему объему пленочного покрытия.

[1] Золотухин И. В. Аморфные металлические сплавы. 1997.
[2] Аleshин Ю. К. Васильев, А. Б., Карabutov(мл) А. А., Сафо-

нов В. А., Чоба М. А. Учен. зап. физ. фак-та Моск. ун-та. № 5, 135048. (2013).

The analysis of changes in acoustic characteristics of amorphous metallic films

Yu. K. Aleshin^{1, a}, D. M. Ksenofontov¹, M. A. Choba², V. N. Platonov³, Yu. V. Anufriev⁴

¹Lomonosov Moscow State University, Faculty of Physics, Lengory, bldg 1, str. 2, Moscow, Russia

²Lomonosov Moscow State University, Chemistry Department, str. 3, bldg 1, Lengory, Moscow, Russia

³Prokhorov General Physics Institute RAS, Vavilov Str., 38, Moscow, Russia

⁴Institute of Nanotechnology Microelectronics RAS, off. 107, bldg 32A, Leninsky prst., Moscow, Russia

E-mail: ^avovur@mail.ru

Amorphous metallic film in terms of technology is the most environmentally friendly and allow you to use the materials in a wide range of applications. The change of the phase composition of these glasses and the possibility of non-destructive measurement of acoustic characteristics is the theme for this experimental study.

PACS: 43.58.+z

Keywords: Keywords: opto-acoustics, metal film, the phase structure.

Received 02.12.2014.

Сведения об авторах

1. Алешин Юрий Константинович — канд. физ.-мат. наук, доцент; тел.: +7-495-939-30-40, vovur@mail.ru.
2. Ксенофонтов Дмитрий Михайлович — аспирант
3. Чоба Мария Алексеевна — канд. хим. наук, старший научный сотрудник.
4. Платонов Валерий Николаевич — канд. физ.-мат. наук, младший научный сотрудник.
5. Ануфриев Юрий Владимирович — канд. техн. наук, научный сотрудник.