

ПАРАМЕТРЫ АННИГИЛЯЦИИ ПОЗИТРОНОВ В НАНОРАЗМЕРНЫХ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ МНОГОСЛОЙНЫХ СИСТЕМАХ Zr\Nb

*Р.С. Лантев, к.т.н., доц.,
А. Ломыгин, аспирант гр. А1-08
Томский политехнический университет, 634050, г.Томск, пр.Ленина,30,
E-mail: lomyginanton141@gmail.com*

Многослойные покрытия, состоящие из чередующихся друг с другом и слоев, благодаря своим уникальным характеристикам идеально подходят для ряда структурных и электронных применений, открывают новые горизонты в природном и промышленном мире. В частности, возможность указать свойства отдельных, дискретных слоев, а также интерфейс, с высокой точностью, обеспечивает высокий уровень контроля над механическими, тепловыми и электрическими свойствами композита, а именно, прочностью, твердостью, защитными свойствами от того или иного воздействия [1, 2, 3].

Наноразмерные металлические системы (НМС) Zr/Nb были осаждены на монокристаллическую подложку Si (110) методом магнетронного распыления с толщиной отдельных слоев около 100 ± 10 (ZrNb100) нм. Общая толщина покрытий составляла $1,05 \pm 0,05$ мкм. После осаждения подложки с многослойными покрытиями Zr/Nb были разрезаны на пластины 10×10 мм и облучены перпендикулярным пучком H^+ с энергией 1750 кэВ в течение 15, 30 и 120 мин при ионном токе около 2 мкА. Таким образом, доза облучения находилась в диапазоне от $3,4 \cdot 10^{15}$ до $3,4 \cdot 10^{16}$ ионов/см². Бездефектные эталонные образцы были исследованы с помощью метода ПАС доплеровское уширение аннигиляционной линии (ДУАЛ) с использованием переменной энергии позитронов в ОИЯИ ЛЯП в г. Дубна. Использовался моноэнергетический поток позитронов диаметром 5 мм с интенсивностью 10^6 e⁺/s. Диапазон энергий имплантированного позитрона составлял от 0,1 кэВ до 30 кэВ. Аннигиляционное γ -излучение регистрировалось детектором H_rGe с энергетическим разрешением 1,20 кэВ, интерполированным для энергии 511 кэВ. Полученные спектры ДУАЛ были проанализированы путем извлечения параметров S и W из линии аннигиляции и энергетического спектра фотонов, соответственно. Первый из них определяется как отношение площади под центральной частью линии 511 кэВ к общей площади ниже этого пика. Он оценивает участие пар позитрон-электрон с малым импульсом, происходящим главным образом при открытых объемных дефектах в кристаллической структуре. В основном более высокое значение этого параметра отражает большую концентрацию дефектов.

На рисунке 1 изображена зависимость S и W параметра от энергии позитронов для облученных и исходных НМС Zr/Nb с толщиной индивидуальных слоев 100 ± 10 нм (ZrNb100).

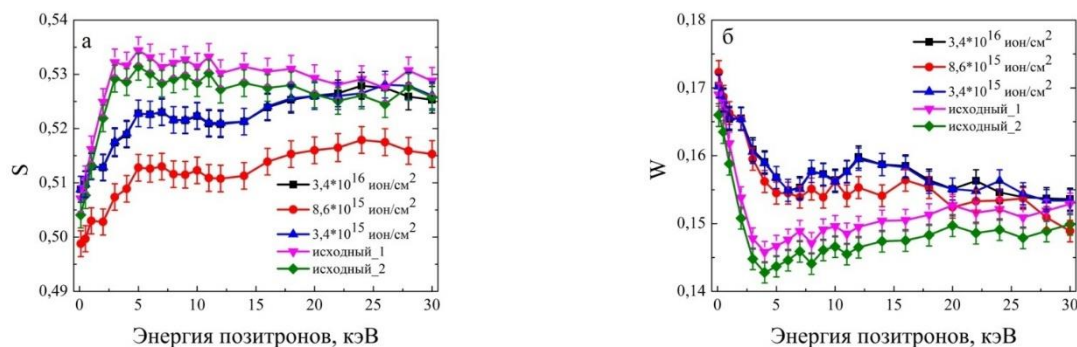


Рис. 1. График зависимости S (а) и W (б) параметров от энергии позитронов для облученных и исходных НМС ZrNb100

Как видно из рисунка 1а, значение S параметра облученных образцов отличается от исходных, если исходные образцы и облученный образец с максимальной дозой $3,4 \cdot 10^{16}$ ионов/см² находится на одинаковом уровне с учетом погрешности, то образцы с дозой облучения $3,4 \cdot 10^{15}$ ионов/см² и $8,6 \cdot 10^{15}$ ионов/см² имеют меньшее значение S параметра. На рисунке 2 изображена зависимость $S = f(W)$ для облученных и исходных НМС ZrNb100.

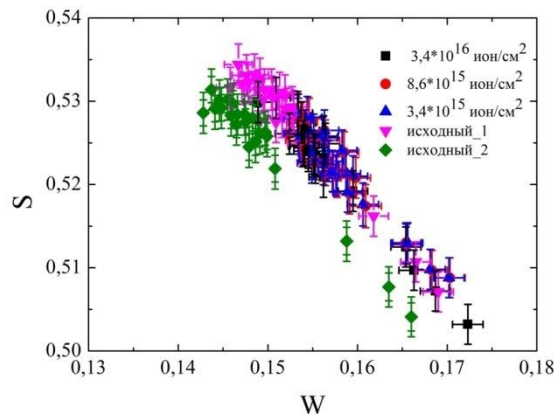


Рис. 2. График зависимости $S = f(W)$ для облученных и исходных НМС ZrNb100

Как видно из рисунка 2, зависимость $S = f(W)$ имеет линейный характер, что говорит о том, что при облучении возникает один тип дефектов.

Некогерентные границы раздела присутствующие в наноразмерных многослойных покрытия являются стоком дефектов. Также данные границы имеют высокие механические характеристики за счет ограничения в распространении дислокаций. В результате проделанной работы можно сделать следующие выводы:

- исследование распределение дефектов в облученных НМС Zr/Nb показало, что дефектная структура образцов находится примерно на одинаковом уровне вне зависимости от дозы облучения с учетом погрешности измерений;
- анализ дефектной структуры методом ДУАЛ показал, что во всем диапазоне энергий имплантированных позитронов наблюдается тенденция к уменьшению значения S -параметра ДУАЛ с увеличением дозы облучения;
- в исследованных НМС Zr/Nb до и после облучения протонами сохраняется один преобладающий центр захвата позитронов – избыточный свободный объем вблизи границы раздела в окрестности циркония.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда (проект № 20-79-10343).

Список литературы:

1. Callisti M., Lozano-Perez S., Polcar T. Structural and mechanical properties of γ -irradiated Zr/Nb multilayer nanocomposites // *Materials Letters*. – 2016. – Vol. 163. – P. 138–141
2. Laptsev R., Lomygin A., Krotkevich D., Syrtanov M., Kashkarov E., Bordulev Yu., Seimek K., Kobets A. Effect of Proton Irradiation on the Defect Evolution of Zr/Nb Nanoscale Multilayers // *Metals*. – 2020. – Vol. 10. – №. 4. – Article number – 535, P. 1–12
3. Laptsev R., Svyatkin L., Krotkevich D., Stepanova E., Pushilina N., Lomygin A., Ognev S., Seimek K., Uglov V. First-Principles Calculations and Experimental Study of H⁺-Irradiated Zr/Nb Nanoscale Multilayer System // *Metals*. – 2021. – Т. 11. – №. 4. – Article number – 627, P. 1–17