# Правила оформления тезисов симпозиума «Нанофизика и наноэлектроника»

*Разметка страницы*

Поля: верхнее 2 см нижнее 2,5 см

левое 2 см правое 2 см

Ориентация: книжная

До нижнего колонтитула 1,5 см

Заголовок, авторы, институт и аннотация набираются на полный формат (1 колонка).

Текст тезисов набирается в 2 колонки (см. ОБРАЗЕЦ на след. странице):

Колонки одинаковой ширины, по **8,2** см.

Промежуток (межколонник) **0,6** см.

Набирается гарнитурой **Arial**:

Заголовок – 14 размер, жирным, прямым, отступ слева – 0,6 см, выравнивание влево.

Авторы – 11 размер, жирным, прямым, отступ слева – 0,6 см, выравнивание влево.

Место работы (институт) – 8 размер, светлым, прямым, отступ слева – 0,6 см, выр-ние влево.

Аннотация – 8 размер, светлым, прямым, отступ слева – 1,2 см, выравнивание по ширине.

Внутренние заголовки – 10 размер, жирно, отступ слева – 0,6 см.

Набирается гарнитурой **Times New Roman:**

Весь основной текст – 10 размер, светлый, по ширине, абзацный отступ **0,6 см.**

Подрисуночные подписи – 9 размер, светлый (рекомендация: 1 или 2 строки выделяются по центру, если больше – по ширине).

Слово *Таблица* лучше курсивом, название таблицы прямо, все в прографке 9 размером.

Литературу 10 размером с выступом 0,6 см.

Наименования физических величин – по ГОСТу, сокращенные – только у цифр, всегда прямо, в тексте на русском языке – русские наименования физ. величин: нм, Гц, с, км…

Химические элементы – всегда прямо.

*Печать сборника – черно-белая, цветные рисунки в виде исключения, когда непонятно иначе!*

*ОБРАЗЕЦ, приведенный на стр. 2 – 4, рекомендуется использовать вместо стилевого файла.*

*Объём тезисов не более двух страниц!*

# Влияние кремниевых прослоек на структурные и отражательные характеристики Ni/Ti многослойных зеркал

Е. С. Антюшин1\*, Н. И. Чхало1, В. Н. Полковников1, Ю. А. Вайнер2, Р. М. Смертин2

1Институт физики микроструктур РАН, ул. Академическая, д. 7, д. Афонино, Кстовский р-н, Нижегородская обл., 603087  
2Например, какой-то другой институт, другой город, улица и др. \*evgenyantyushin@ipmras.ru

В работе рассмотрено влияние буферных слоев Si на величину переходных слоев в системе Ni/Ti. Показано улучшение уровня переходного слоя при добавлении буферных слоев. Наибольшее влияние добавление буферного слоя Si оказывает при осаждении на границу Ti-on-Ni. При добавлении буферных слоев Si на обе границы одновременно происходит значительное уменьшение уровня переходных границ со значений σ (Ti-on-Ni) = 0,71 нм.

## Введение

Холодные и ультра-холодные нейтроны широко используются для структурных исследований твердого тела. Имея сравнимую длину волны с рентгеновской дифракцией, нейтроны позволяют проводить уникальные исследования, недоступные рентгену.   
В частности, они чувствительны к low-Z materials, в то время как структурные исследования тонкопленочных систем в рентгене практически не возможны. Наличие собственного магнитного момента позволяет широко применять нейтронные методы для исследования магнитных материалов.

Основной проблемой нейтронно-физических исследований является относительно невысокие интенсивности нейтронных потоков, даже для самых современных строящихся источников [1]. Поэтому ключевое значение для эффективного использования нейтронных источников отводится к нейтронно-оптическим компонентам, обеспечивающим транспортировку, коллимацию, фокусировку и монохроматизацию нейтронных пучков. Как и в случае зеркальной рентгеновской оптики, для нейтронов наблюдается явление полного внешнего отражения. Для увеличения рабочих углов, и соответственно апертуры зеркал, используются многослойные интерференционные покрытия. Среди пар материалов широкое распространение получила система Ni/Ti [2].

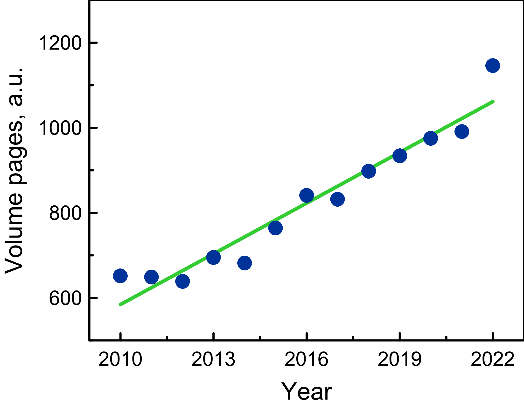
В суперзеркалах число пленок может превышать тысячу, а индивидуальные толщины пленок изменяются в широких пределах, от десятков до сотен ангстрем. Для большинства многослойных систем, особенно состоящих из пленок Металл1/Металл2, характерен рост шероховатости гетерограниц, как с увеличением толщины пленок, так и по мере роста многослойного стека. Поэтому для повышения эффективности отражения зеркал активно используются различные методы «инженерии интерфейсов». Одним из таких методов, который рассматривается в данной работе, является добавление буферных слоев на границы раздела материалов системы. В качестве буферных слоев использовался Si и осаждался на одну границу раздела материалов Ni и Ti и на обе границы раздела одновременно.

Многослойные структуры Ni/Ti без буферных слоев Si и с буферными слоями на границах раздела изготавливались методом магнетронного распыления при постоянном токе (*I*Ni = 0,6 A, *I*Ti = 0,8 A, *I*Si = 0,2 A) в среде чистого Ar (99,999) при давлении ~0,1 Па. Зеркала осаждались на гладкие (величина среднеквадратичной шероховатости ~0,2 нм) кремниевые пластины, применяемые в микроэлектронике. Структурные параметры зеркал определялись с использованием расширенной модели по данным малоугловой рентгеновской дифракции (длина волны 0,154 нм). Измерения на длине волны 0,154 нм проводились на лабораторном дифрактометре Philips X'Pert PRO.

## Результаты

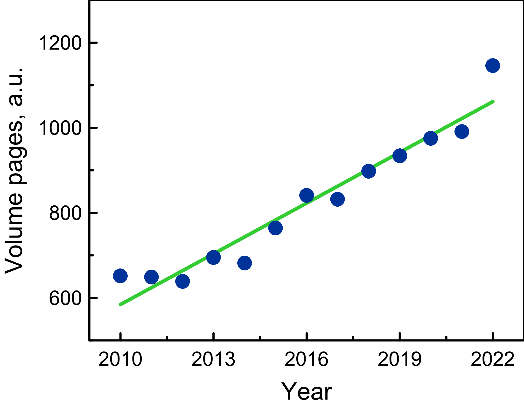
Период исследуемых зеркал Ni/Ti и Ni/Ti с буферными слоями Si составлял *d*~10 нм. Соотношение толщин материалов Ni : Ti ~ 1 : 1. Толщина буферных слоев Si ~0,3 нм. Добавление толщины Si происходило путем уменьшения толщины слоя Ti при сохранении значения периода системы. На рис. 1 приведены картины малоугловой рентгеновской дифракции от образцов Ni/Ti, Ni/Ti с буферными слоями Si на одной границе раздела и Ni/Ti с буферными слоями Si на обеих границах раздела одновременно.

Исходно от системы Ni/Ti без буферных слоев, наблюдаются только шесть брегговских максимумов. При добавлении буферных слоев количество брегговских максимумов увеличивается вплоть до десяти, а также увеличиваются интенсивности пиков отражения. Данные изменения свидетельствуют об улучшении качества границ раздела в системе.

****

**Рис. 1.** Малоугловая рентгеновская дифракция   
от образцов Ni/Ti, Si/Ni/Ti, Ni/Si/Ti и Si/Ni/Si/Ti

В табл. 1 приведены значения переходных границ в системе Ni/Ti без буферных слоев Si и с буферными слоями Si, полученные в результате моделирования кривых отражения на длине волны 0,154 нм. Пример моделирования кривых отражения приведен на рис. 2.

****

**Рис. 2.** Пример подгонки кривой отражения

*Таблица 1.* Значения переходных границ в системе Ni/Ti   
с буферными слоями Si и без буферных слоев

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Структура | σ(Ni-on-Ti), нм | σ(Ti-on-Ni), нм |
| Sub[Ni/Ti] | 0,52 | 0,71 |
| Sub[Ni/Ti/Si] | 0,5 | 0,49 |
| Sub[Ni/Si/Ti] | 0,54 | 0,49 |
| Sub[Si/Ni/Si/Ti] | 0,45 | 0,44 |

Как можно наблюдать, значения ширин переходных границ при добавлении буферных слоев Si в системе Ni/Ti изменились значительно: с σ(Ni-on-Ti) = 0,52 нм до σ(Ni-on-Ti) = 0,45 нм и σ(Ti-on-Ni) = 0,71 нм до σ(Ti-on-Ni) = 0,44 нм.

## Выводы

Добавление буферных слоев Si на границы раздела материалов в системе Ni/Ti позволило улучшить ширины переходных границ: Ni-on-Ti с σ = 0,52 нм до σ = 0,45 нм и Ti-on-Ni с σ = 0,71 нм до σ = 0,44 нм. Такое улучшение физических характеристик системы позволит увеличить эффективность оптических компонент для нейтронных применений.

## Финансирование

Работа выполнена при поддержке гранта РНФ   
№ 21-72-30029.

## Литература

1. H. Danared, M. Eshraqi and M. Jensen // Proceedings of HB-2016. 2016. P. 6–8.
2. M. Ay, C. Schanzer, M. Wolff and J. Stahn // Nucl. Instr. Meth. A. 2006. V. 562. P. 389–392.