



## ИЗУЧЕНИЕ МЕХАНИЗМОВ ОБРАЗОВАНИЯ МНОГОСЛОЙНЫХ СТРУКТУР, ОБРАЗУЮЩИХСЯ НА ПОВЕРХНОСТИ КРИСТАЛЛОВ, И ИХ ФИЗИКО- ХИМИЧЕСКИХ СВОЙСТВ

Ахмедов Акбар Акрамович<sup>1</sup>,  
Турсунов Алишер Равшан ўғли<sup>2</sup>

<sup>1</sup>ТКТИ асс Шахрисабз филиали

G-mail: akbarakramovich1111@gmail.com,

<sup>2</sup>ТКТИ асс.Шахрисабз филиали

G-mail: alishertursunov260@gmail.com

<https://doi.org/10.5281/zenodo.6529103>

### ИСТОРИЯ СТАТЬИ

Принято: 01 май 2022 г.

Утверждено: 10 май 2022 г.

Опубликовано: 14 май 2022 г.

### КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА

ion-termik bug'lanish, past  
energiyasi ion  
implantatsiyasi, termofizik  
xususiyatlar,  
nanokristallar,  
atomlarning tebranishlari.

### АННОТАЦИЯ

*Bir necha nanometr qalinlikdagi turli materiallar qatlamlaridan tashkil topgan yupqa qatlamlar va ko'p qatlamli nanostrukturalar juda istiqbolli nanoobyektlardir. Nanokristallarning tuzilishi va ular orasidagi interfeyslar: Yupqa plyonkalar va nanostrukturalarni olish jarayonining samarali usuldan foydalanish va o'rganishda termofizik (va fizik) xususiyatlarni dasturlash va ko'p qatlamli nanostrukturalarni muhandislik dasturlarida qo'llash ko'rsatilgan.*

Тонкие пленки и многослойные наноструктуры, состоящие из слоев различных материалов с толщиной в несколько нанометров, являются достаточно перспективными нанообъектами. Для получения тонких пленок и наноструктур существует большое количество методов, при котором наибольшее распространение получили такие методы, как:

- термическое испарение в вакууме (резистивным и высокочастотным нагревом, нагревом электронным лучом или лазером);
- ионным распылением (катодным, ионно-плазменным или магнетронным);
- ионно-термическим испарением [1].

- низкоэнергетическая ионная имплантация [2].
- ионно-молекулярное осаждение [3].

Спектр технических применений нанообъектов достаточно широк: лазеры, термоэлектрические устройства, устройства памяти на основе гигантского магнетосопротивления, зеркала для рентгеновского излучения, функциональные покрытия и т.д. Основным достоинством многослойных наноструктур является возможность программирования их физических свойств, и за последнее время в этом направлении достигнуты впечатляющие успехи. Вместе с тем в практике получения многослойных структур существенная роль



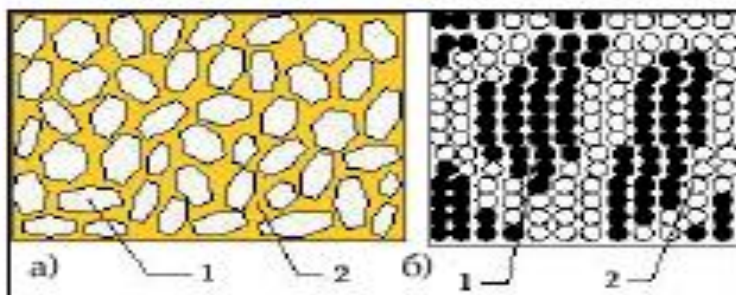
принадлежит интуитивному подходу, а количественные оценки в ряде случаев весьма ограничены. Во многом это обусловлено отсутствием завершённых стройных физических теорий сложных гетерофазных систем, какими являются многослойных наноструктуры.

Переход от микро- к наноструктурным покрытиям позволит существенно улучшить их свойства [4], поскольку:

а) происходит изменение свойств самого кристаллического образования;  
б) возникает разветвленная структура границ раздела нанокристаллов внутри пленки (рисунок 1а). Так как в нанокристаллах (рисунок 1б) количество находящихся внутри структуры атомов соизмеримо с их числом на поверхности, то в ней отсутствуют дислокации и внутренние напряжения. Кроме того, расстояние между нанокристаллами соответствует размеру нескольких монослоев, в результате чего между ними проявляются эффекты квантового взаимодействия. Наноккомпозитные покрытия (nc-TiN/a-BN, nc-TiAlN/a-Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub>), состоящие из нанокристаллов, находящихся внутри аморфной (BN, Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub>) или металлической (Cu, Ni) матриц (см. рисунок 1а), обладают высокой твердостью и износостойкостью [5]. Интерес к наноструктурным пленкам с размерами кристаллов менее 100 нм связан с их высокими коррозионной, износо- и термостойкостью, улучшенными антифрикционными характеристиками. Нанесение таких защитных покрытий на обрабатываемые инструменты и

детали машин значительно увеличивает их срок службы. Подобные материалы перспективны также для создания био- совместимых покрытий на имплантах, формирования функциональных покрытий различного назначения, в том числе оптических [6]. В случае создания многокомпонентных наноструктурных покрытий PVD-метод универсальнее [7], поскольку можно получать более широкий спектр покрытий (нитриды, карбиды, бориды металлов) и процесс осаждения покрытий может быть выполнен при более низкой, чем в CVD-процессе, температуре подложек (рисунок 2). Возможность создания наноразмерных объектов с помощью современных технологий и вероятность в будущем производства устройств с этими объектами в компонентной базе требуют изучения их физических свойств. Работа с наноразмерными объектами уже привела и может привести в будущем к открытию новых физических явлений, которые, возможно, приведут к новым технологиям и техническим устройствам.

В работе [8] показано, что исследование (экспериментальное и теоретическое) теплофизических свойств многослойных наноструктур является важной задачей. Среди теплофизических свойств существенная роль принадлежит фононным (связанным с колебаниями атомов в кристаллической решётке) теплофизическим свойствам. Так в полупроводниковых многослойных наноструктурах при



1 – нанокристалл, 2 – промежуточный слой.

Рисунок 1. Нанокристаллическое покрытие: а) – структура, б) – атомная структура нанокристаллов и границ раздела между ними:

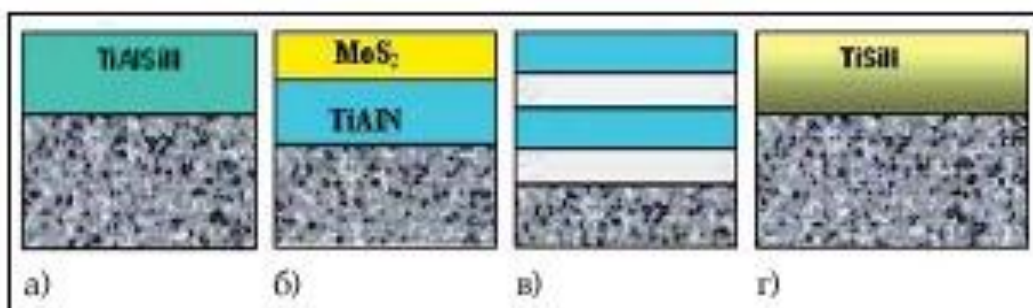


Рисунок 2. Покрытия: а) – однослойные, б) – двухслойные, в) – многослойные, г) – градиентные.

определённых условиях, свободные электроны локализуются в слоях с энергетически более низкой зоной проводимости, что обеспечивает электронную теплопроводность вдоль слоев и фононную теплопроводность по нормали к слоям. Кроме этого, фононная составляющая в термодинамических свойствах твёрдых тел много больше электронной составляющей. Фононные теплофизические свойства многослойных наноструктур определяются: объёмными свойствами слоев, зависящими от толщины и

наличия дефектов в слоях, свойствами межслойных границ (границ зёрен для поликристаллических слоев), зависящими от условий сопряжения кристаллических решёток слоев и природы связи между ними, условиями распространения упругих мод в системе. Изучение перечисленных выше моментов необходимо для программирования теплофизических (и физических) свойств и дальнейшего использования, многослойных наноструктур в инженерных приложениях.



## Литературы:

- [1]. A.L. Stepanov,\*, V.I. Nuzhdin, V.F. Valeev, V.V. Vorobev, A.M. Rogov, Y.N. Osin «Study of silicon surface implanted by silver ions», *Vacuum* 159 (2019) 353–357.
- [2]. D.N.Leong, M.A.Harry, K.J.Reeson, and K.P.Homewood, "On the origin of 1.5 $\mu$ m luminescence in ion beam synthesis  $\beta$ -FeSi<sub>2</sub>". *Appl. Phys. Letters*. V.68, 1649 (1996)
- [3]. В.А.Гриценко, «[Атомная структура аморфных нестехиометрических оксидов и нитридов кремния](#)» *УФН*, **178** 727–737 (2008).
- [4]. К.В.Карабельников, П.А.Карасев, А.И.Титов, ФТП, Т.47, 206 (2013).
- [5]. А.А.Алексеев, Д.А.Олянич, Т.В.Утас, В.С.Котляр, А.В.Зотов, А.А.Саранин, ЖТФ, , Т.85, вып.10, 94 (2015).
- [6]. Ю.А. Ницук, М.И. Киосе, Ю.Ф. Вакстон, В.А. Смынтына, И.Р. Яцунский // ФитП, 2019, Т.53, вып.3. С. 381-387.
- [7]. S.B. Donaev, F. Djurabekova, D.A. Tashmukhamedova, B.E. Umirzakov «Formation of nanodimensional structures on surfaces of GaAs and Si by means of ion implantation», *Physics Status Solidi (C) Current Topics in Solid State Physics*, V.12. Issue 1-2, January 2015, P.89-93.
- [8]. 2. D. Wang and Z.-Q. Zou, *Nanotechnology* **20**, 275607 (2009).