

УДК 39.23.234:538.975:546.621

И. И. Ташлыкова-Бушкевич

**БИГАУССОВА МОДЕЛЬ НАНОТОПОГРАФИИ  
И ГИДРОФИЛЬНО-ГИДРОФОБНЫЙ БАЛАНС ТОНКИХ ПЛЁНОК  
СПЛАВОВ Al–Me (Me=Mn; Fe; Ni)**

*Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники,  
ул. П. Бровки, 6, 220013 Минск, Беларусь  
[iya.itb@bsuir.by](mailto:iya.itb@bsuir.by)*

Для задач микро- и нанoeлектроники, оптоэлектроники и солнечной энергетики требуется не просто синтез металлических покрытий, а проектирование функциональных поверхностей, физико-химическими свойствами которых – прежде всего смачиваемостью – можно целенаправленно управлять. Это особенно важно для разработки самоочищающихся, антикоррозионных или биосовместимых покрытий. Однако существующие подходы, как правило, недостаточно учитывают ключевую роль наноморфологии, ограничиваясь химическим составом и дискретными параметрами шероховатости [1]. Работы последних лет [2, 3] показали, что классическая модель Венцеля–Касси недостаточна для описания смачивания реальных, статистически неоднородных поверхностей. Бигауссова модель учитывает двойственную природу рельефа – «равнинные участки» и «выступы» [2]. Однако её применение до сих пор ограничивалось механически обработанными или травлёными поверхностями. Для тонкоплёночных систем, полученных методами неравновесного синтеза (в частности – ионно-ассистированного осаждения [3]), эта модель не апробировалась.

Цель исследования – установить закономерности влияния нанотопографии, описываемой бигауссовой моделью, на смачиваемость тонкоплёночных систем Al–Me/стекло (Me = Mn, Fe, Ni). Впервые бигауссова модель применена для количественного описания нанорельефа плёнок Al и сплавов Al–Me, осажденных при ассистировании собственными ионами со скоростью «кристаллизации» (охлаждения атомных каскадов)  $\sim 10^{12}$ – $10^{13}$  К/с. Ранее связь параметров бигауссовой модели ( $\sigma_1/\sigma_2$ ,  $A_{ni}$ ) с режимом смачивания (Венцеля, Касси, гибридный Касси–Венцеля) для описания морфологической неоднородности не исследовалась.

Установлена тесная связь субмикронной конусообразной морфологии и смачивающих свойств пленок Al и сплавов Al–Me толщиной менее 100 нм. При осаждении Al и его сплавов гидрофильность стеклянной подложки снижается, краевые углы контакта  $\theta$  составляют  $70^\circ$ – $82^\circ$ , рис. 1. Обнаружено, что легирование Ni наиболее эффективно способствует гидрофобизации благодаря формированию плотной мелкомасштабной наноструктуры, тогда как введение Fe при длительном осаждении обуславливает смешанный режим смачивания, что позволяет целенаправленно управлять адгезией покрытий. Влияние рельефа стеклянной подложки на морфологию пленок определено при исследовании продольных параметров шероховатости и зависит от длительности осаждения сплавов.

Применение модели бигауссовой поверхности позволило выявить закономерности формирования наноструктуры пленок и их влияние на гидрофильно-

гидрофобный баланс поверхности. Смачивание плёнок Al (90 нм) и плёнок сплавов ( $\leq 80$  нм) описывается механизмом Венцеля-Дерягина: обе компоненты рельефа смачиваются водой. При ионно-ассистированном осаждении сплава Al-Fe в течение длительного времени (90 нм) степень негауссовости рельефа минимальна, и поверхность вырождается в гауссову (гибридное состояние Касси-Венцеля): впадины удерживают воздух (состояние Касси), конусообразные вершины смачиваются водой (состояние Венцеля), что увеличивает проникновение воды в углубления поверхности.

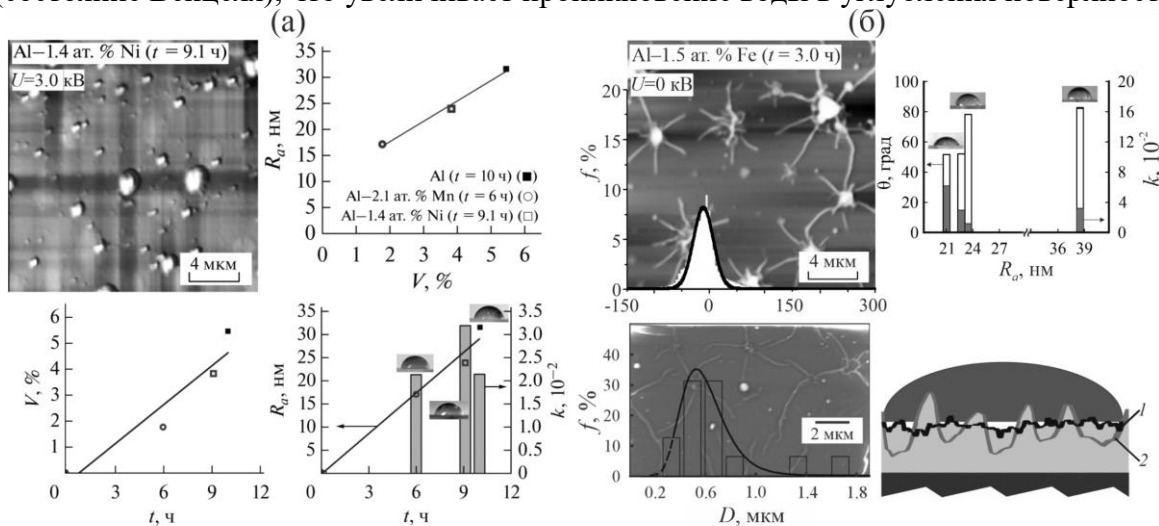


Рисунок 1. Закономерности формирования субмикронной морфологии поверхности плёнок алюминия и его слаболегированных сплавов, осаждённых на стекло: (а) – Al и сплавы Al-Mn и Al-Ni [3]; (б) – сплав Al-Fe [4]

Установленные фундаментальные закономерности структурообразования нанометровых плёнок сплавов алюминия обеспечивают возможность целенаправленного управления процессом осаждения покрытий и физико-химическими свойствами тонкоплёночных структур, включая прогнозирование и модификацию их смачиваемости на основе модели бигауссовой поверхности.

- [1] Wang Y. Effects of two-level surface roughness on superhydrophobicity / Y. Wang, M. You, Q. Sun // *Coatings*. – 2025. – Vol. 15. – № 11. – P. 1269-1.
- [2] Hu S. Bi-Gaussian stratified wetting model on rough surfaces / S. Hu, T. Reddyhoff, D. Puhan, S.-C. Vladescu, W. Huang, X. Shi, D. Dini, Z. Peng // *Langmuir*. – 2019. – Vol. 35. – № 17. – P. 5967.
- [3] Ташлыкова-Бушкевич И. И. Нанорельеф поверхности тонких плёнок сплавов Al-Mn и Al-Ni при ионно-ассистированном осаждении на стекло / И. И. Ташлыкова-Бушкевич, И. А. Столяр // *Поверхность. Рентгеновские, синхротронные и нейтронные исследования*. – 2023. – № 3. – С. 23.
- [4] Ташлыкова-Бушкевич И. И. Формирование субмикронной конусообразной морфологии поверхности нанометровых плёнок сплава Al-Fe при различных условиях ионно-ассистированного осаждения на стекло / И. И. Ташлыкова-Бушкевич // *Поверхность. Рентгеновские, синхротронные и нейтронные исследования*. – 2024. – № 3. – С. 88.