

11;12

## ВЛИЯНИЕ ВНЕШНЕГО ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ПОЛЯ НА ПОВЕРХНОСТНУЮ ДИФФУЗИЮ ВАНАДИЯ ПО ВОЛЬФРАМУ

© Г.Г.Владимиров, Т.П.Нагорская, А.Г.Стародубов

Исследования влияния сильных электрических полей на поведение и свойства адсорбированных частиц вызывают интерес по ряду причин. В первую очередь это связано с возможностью контролируемого воздействия на электронное состояние частицы, что позволяет не только управлять скоростью процессов, но даже изменять их направление [1]. Одним из таких процессов является поверхностная диффузия атомов, изучение которой важно и с практической точки зрения в связи со значимостью этого явления для разрабатываемой в настоящее время нанотехнологии.

Целью настоящей работы являлось изучение влияния внешнего электрического поля на поверхностную диффузию атомов ванадия по вольфраму. Ванадий относится к  $3d$ -металлам, которые являются перспективными для использования в нанoeлектронике.

Исследования проводились в автоэлектронном микроскопе обычно конструкции. Давление остаточных газов по активным составляющим не превышало  $10^{-10}$  Тор. Источником адсорбата служил кусочек ванадия, помещенный в спираль из вольфрам-ренийевого сплава, прогреваемую прямым накалом и предварительно обезгаженную в сверхвысоком вакууме. Концентрация конденсата считалась пропорциональной времени напыления. За монослойное покрытие  $\theta = 1$  принималось такое, при котором работа  $\varphi$  системы адсорбат-подложка достигала постоянного значения, соответствующего  $\varphi$  пленки ванадия. При определении энергии активации поверхностной диффузии  $Q$  считалось справедливым уравнение Аррениуса:  $D = x^2/t = D_0 \exp(-Q/k_b T)$ , где  $x^2$  — среднеквадратичное смещение адслоя за время  $t$  при температуре  $T$  ( $k_b$  — постоянная Больцмана),  $D_0$  — постоянная диффузии.

Для измерения времени миграции при заданной температуре применялся фотоэлектрический метод регистрации, подробно описанный в [2]. В случае автоионных полей для получения изображения использовались подсвечивающие импульсы длительностью 300 мкс и частотой 50 Гц.

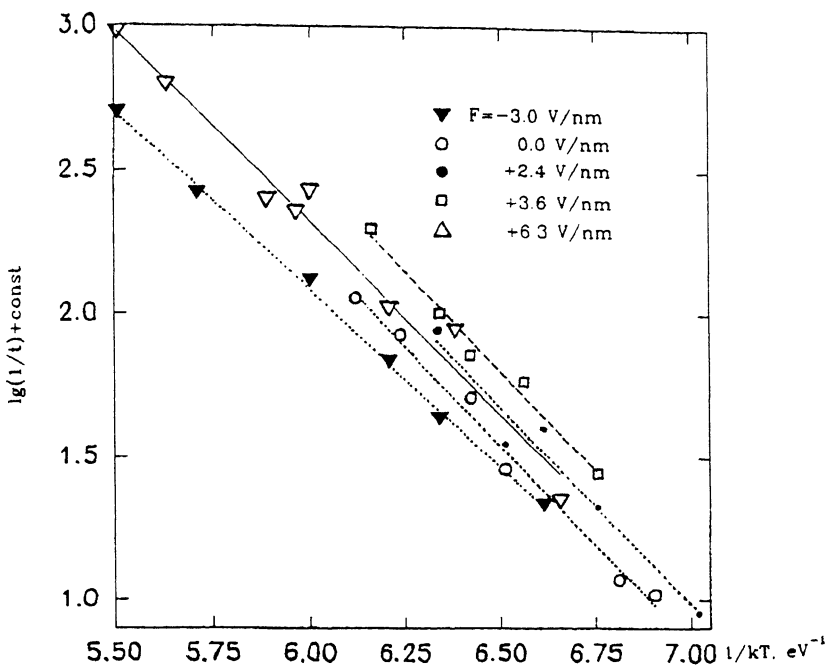


Рис. 1. Зависимость  $\lg(l/t) + \text{const}$  от  $l/k_bT$  при различных напряженностях внешнего поля  $F$ .  $\theta = 0.3$  мнс.

Измерения проводились при температурах в интервале 700–850 К в области грани (116) при диффузии в направлении (112)  $\rightarrow$  (001). Выбранный участок находился на теневой по отношению к источнику стороне, что позволяло считать исходную поверхность свободной от адсорбата. При больших концентрациях адсорбат мигрирует с резкой границей. При уменьшении  $\theta$  граница размывается и при  $\theta \leq 0.3$  она настолько диффузна, что измерения становятся ненадежными.

На рис. 1 представлены экспериментальные зависимости  $\lg(l/t)$  от  $l/k_bT$ , полученные при различных напряженностях внешнего поля. Рассчитанные из этих зависимостей энергии активации поверхностной диффузии атомов ванадия по вольфраму от напряженности поля  $F$  приведены на рис. 2. В отличие от поверхностной диффузии по вольфраму атомов Ti [2], Au [3], Ba [4], молекул SiO [5] уже при малых концентрациях адатомов ванадия наблюдается параболическая зависимость  $Q(F)$ , смещенная в сторону положительных (автоионных) полей. Одновременно наблюдается изменение постоянной диффузии, что можно рассматривать как проявление компенсационного эффекта. Такое поведение  $Q(F)$

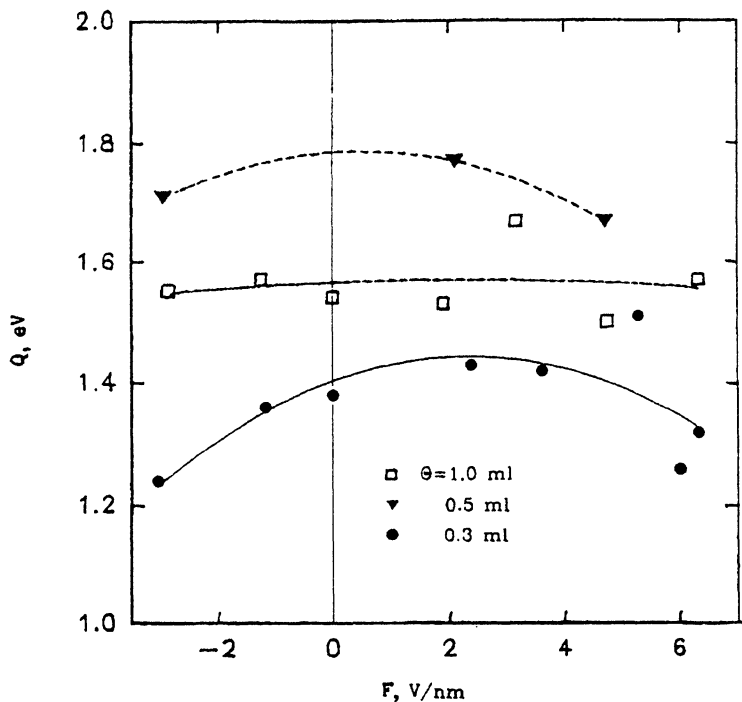


Рис. 2. Зависимость энергии активации  $Q$  от величины внешнего электрического поля  $F$  при различных концентрациях адсорбата  $\theta$ .

в случае малых концентраций, когда можно считать латеральное взаимодействие между частицами малым, принято объяснять наличием у адатома эффективных дипольного момента  $p_{\text{eff}}$  и поляризуемости  $\alpha_{\text{eff}}$ :  $\Delta Q = -p_{\text{eff}}F - \alpha_{\text{eff}}F^2/2$  [4,6]. Их величины зависят сложным образом от электронного состояния адатома в основном и миграционном состояниях:  $p_{\text{eff}} = p_0k_0 - p_mk_m$  и  $\alpha_{\text{eff}} = \alpha_0k_0^2 - \alpha_mk_m^2$ , где  $k$  — коэффициент, связывающий истинное поле, действующее на адатом, с величиной, усредненной по поверхности; индексы 0 и  $m$  отвечают основному и миграционному состояниям соответственно. При такой интерпретации результатов полностью игнорируется изменение энергии поверхности подложки в поле при смещении адсорбированной частицы вдоль нее. Между тем несомненно, экранирование адатомом атомов подложки от внешнего поля должно быть существенно различным в случаях, когда адатом находится в адсорбированном центре и когда он проходит точку, соответствующую максимуму потенциального барьера. Хотя конкретное выражение для изменения энергии атомов подложки написать трудно, очевидно, что оно должно иметь такую же

функциональную зависимость от  $F$ , что и изменение энергии адсорбированного атома. Это приведет к некоторому изменению коэффициента в выражении для  $Q(F)$ . Можно ожидать, что наиболее существенен вклад в величину  $\alpha_{\text{eff}}$ . Исследования явления перестройки острий в сильных электрических полях показали, что процесс не зависит от знака поля [7,8]. Из этого следует, что у атомов подложки отсутствует жесткий дипольный момент, изменение их энергии в присутствии внешнего электрического поля связано только с поляризуемостью. Если воспользоваться таким объяснением, то для  $r_{\text{eff}}$  при  $\theta = 0.3$  мнсл получается отрицательная величина  $-1.6D$ . Такое направление дипольного момента атомов ванадия соответствует наблюдавшемуся в [9] изменению работы выхода при адсорбции  $V$  на рыхлых гранях  $W$  при малых концентрациях адсорбата. Это позволяет заключить, что причиной увеличения  $\varphi$  на этих гранях является не уплотнение атомной структуры, как полагалось в [9], а наличие у адатомов небольшого отрицательного дипольного момента. Величина  $\alpha_{\text{eff}}$  при  $\theta = 0.3$  мнсл имеет величину  $21\text{\AA}^3$ . Это примерно соответствует поляризуемости свободного атома ванадия ( $19\text{\AA}^3$  [10]). Эта величина представляется довольно большой, поскольку ожидается, что у адсорбированных частиц вследствие взаимодействия адатомов с подложкой электронная структура меньше подвержена изменениям под влиянием посторонних полей. Одной из причин может быть то, что в данном случае изучалась поверхностная диффузия по более рыхлой грани, чем в случае ранее исследованных систем.

При больших концентрациях адсорбата характер зависимостей  $Q(F)$  не изменяется, несколько уменьшаются только величины  $r_{\text{eff}}$  и  $\alpha_{\text{eff}}$ , что может быть связано как с взаимодействием адатомов при таких больших концентрациях, так и с уменьшением величины поля, действующего на них.

Работа выполнена в рамках Российской Государственной программы "Поверхностные атомные структуры", проект № 95-1.15.

### Список литературы

- [1] Kreuzer H.J., Wang R.L.C. // *Phil. Magaz.* В. 1994. V. 69. P. 945-955.
- [2] Владимиров Г.Г., Медведев Б.К., Сокольская И.Л. // *ФТТ.* 1970. В. 12. С. 539-544.
- [3] Владимиров Г.Г., Сокольская И.Л. *ФТТ.* 1970. Т. 12. С. 1553-1554.
- [4] Владимиров Г.Г., Лобанова С.С. // *ФТТ.* 1973. Т. 15. В. 11. С. 3169-3172.
- [5] Владимиров Г.Г., Шакирова С.А., Сокольская И.Л. // *ФТТ.* 1970. Т. 12. С. 3378-3380.
- [6] Bassett D.W., Parsley M.J. // *J. Phys. D.* 1969. V. 2. P. 13-16.

- [7] *Сокольская И.Л.* // Поверхностная диффузия и растекание / Ред. Я.Е. Гегузин. М.: Наука, 1969. С. 108–148.
- [8] *Власов Ю.А., Голубев О.Л., Шредник В.Н.* // Изв. АН СССР. Сер. физ. 1988. Т. 52. С. 1538–1543.
- [9] *Бурмистрова О.П., Владимиров Г.Г., Шакирова С.А.* // ФТТ. 1976. Т. 18. С. 2712–2715.
- [10] *Радциг А.А., Смирнов Б.М.* Параметры атомов и атомных ионов. М.: Энергоатомиздат, 1986. 250 с.

Институт физики  
Санкт-Петербургского  
государственного университета

Поступило в Редакцию  
28 марта 1996 г.

---