$$I_{кз} = I_{ph} - I_0\left(\exp\left\{\frac{q(V_s + I_{кз}R_s)}{kT}\right\} - 1\right) - I_r\left(\exp\left\{\frac{q(V_s + I_{кз}R_s)}{akT}\right\} - 1\right) - \frac{V_s + I_{кз}R_s}{R_{sh}}, \quad (3)$$

где I_{ph} – фототок, I_0 – диффузионный ток насыщения, k – постоянная Больцмана, T – температура, I_r – рекомбинационный ток насыщения, a – коэффициент неидеальности p-n-перехода, R_{sh} – шунтирующее сопротивление [1]. В стационарном случае

$$\Delta Q_s \approx \frac{qN_{sf}I_{ph}}{I_{ph} + b}, \quad (4)$$

где N_{sf} – плотность состояний в окрестности уровня Ферми в энергетическом зазоре шириной ~kT, коэффициент β характеризует скорость захвата неравновесных носителей заряда.

Из (1–4) следует, что $I_{кз}$ нелинейно зависит от I_{ph}, причем разность этих величин определяется величиной неравновесного поверхностного заряда. Эта зависимость продемонстрирована на рис. 3. Концентрация излучения X определялась с помощью эталонного ФЭП с глубоким p-n-переходом, у которого $I_{кз} \approx I_{ph0}X$. Исследовались кремниевые ФЭП со структурой p^+-n-n^+ или n^+-p-p^+ типа, глубиной p-n-перехода $w_p \approx 0{,}15$ мкм, текстурированной поверхностью, на которую наносилось пассивирующее просветляющее покрытие SiO_2. Экспериментальная зависимость $I_{кз}(X)$ для исследуемого ФЭП аппроксимировалась по формуле (3). Для этого параметры $I_{ph}=I_{ph0}X$, I_0, I_r, a, R_s, R_{sh} определялись из данных измерений темновых и световых вольтамперных характеристик [2]. Оценка спектральной плотности поверхностных состояний в окрестности уровня Ферми, полученная в результате аппроксимации, дает $N_{sfe}=N_{sf}/kT \sim 4\cdot10^{15}$ эВ$^{-1}$м$^{-2}$.

Таким образом, обнаружен дополнительный механизм потерь тока короткого замыкания, заключающийся в увеличении тока инжекции за счет падения напряжения на p-n-переходе, индуцированного накоплением неравновесного поверхностного заряда, в структурах с субмикронным эмиттером. Для исследуемых ФЭП эти потери лежат в пределах от 9% до 19,7%.

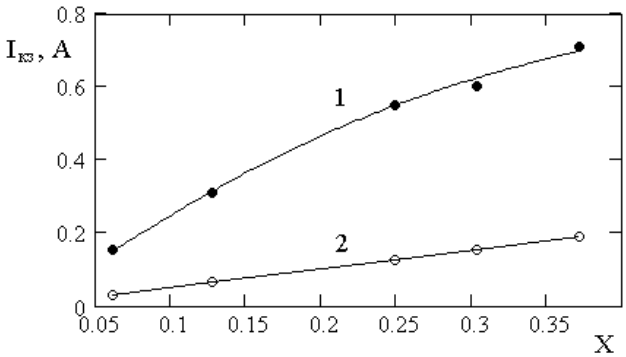

Рисунок 3. Зависимость тока короткого замыкания от концентрации излучения X для исследуемого ФЭП (1) и эталонного ФЭП (2)

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Фаренбрух А., Бьюб Р. Солнечные элементы: Теория и эксперимент. М.: Энергоатомиздат. 1987. - 280 с.

2. Богатов Н.М., Матвеякин М.П., Родоманов Р.Р., Яковенко Н.А. // Автометрия. 2003. Т. 39. № 6. С. 68.

ВОЗБУЖДЕНИЕ Ar I ПРИ ПАРНЫХ СТОЛКНОВЕНИЯХ АТОМОВ АРГОНА В ОСНОВНОМ СОСТОЯНИИ

Курсков С.Ю., Хахаев А.Д.
Петрозаводский государственный университет, Петрозаводск

Данная работа посвящена изучению возбуждения Ar I при взаимодействии атомов аргона низких энергий в условиях однократных столкновений. В ней представлены результаты экспериментального исследования зависимости сечений возбуждения спектральных линий Ar I для переходов между $Ar(3p^5 4s)$- и $Ar(3p^5 np)$-состояниями ($3 \le n \le 6$) от главного квантового числа при энергии соударения 450 эВ (с.ц.м.).

Измерения сечений возбуждения при взаимодействии пучка быстрых атомов с газовой мишенью выполнены методами оптической спектроскопии с помощью автоматизированной установки на базе IBM-совместимого персонального компьютера и программно-управляемой системы КАМАК. Формирование пучка быстрых атомов осуществлялось путем симметричной резонансной перезарядки ионов на собственном газе в каналах вытягивающего электрода газоразрядного источника ионов. Давление газа-мишени в камере столкновений было равно $4.5\cdot10^{-1}$ Па, давление остаточного газа не превышало $3\cdot10^{-4}$ Па. Излучение возбужденных частиц регистрировалось под углом 90^0 к атомному пучку, поэтому возбужденные частицы пучка и мишени не различались. Поляризация излучения не учитывалась.

Впервые получены сечения возбуждения спектральных линий Ar I для $4s'[1/2]^0_1 - np'[1/2]_0$, $4s[3/2]^0_1 - np[1/2]_0$, $4s[3/2]^0_2 - np[5/2]_3$, $4s'[1/2]^0_0 - np'[3/2]_1$, $4s[3/2]^0_2 - np[5/2]_2$, $4s'[1/2]^0_0 - np'[1/2]_1$, $4s[3/2]^0_2 - np[3/2]_1$ и $4s[3/2]^0_2 - np[3/2]_2$-переходов ($4 \le n \le 6$) при указанной энергии столкновения. Эти данные позволили установить вид зависимости сечений возбуждения от главного квантового числа. Зави-

симость сечений возбуждения в сериях может быть представлена следующим образом:

$$\sigma(n) \sim n^{-a},$$

где a характеризует сериальную зависимость и изменяется в интервале от 12 до 17. Величины a для перечисленных переходов в интервале главных квантовых чисел от 4 до 6 приведены в таблице 1 (большой доверительный интервал свидетельствует лишь о том, что кривая $\ln\sigma(n)$ отличается от прямой).

Таблица 1. Величины a для перечисленных переходов в интервале главных квантовых чисел от 4 до 6

Переходы	*a*
$4s'[1/2]^0_1 - np'[1/2]_0$	12±1
$4s'[1/2]^0_0 - np'[1/2]_1$, $4s[3/2]^0_2 - np[3/2]_1$, $4s[3/2]^0_2 - np[3/2]_2$	14±3
$4s'[1/2]^0_0 - np'[3/2]_1$, $4s[3/2]^0_2 - np[5/2]_2$	16±3
$4s\,[3/2]^0_1 - np\,[1/2]_0$, $4s[3/2]^0_2 - np[5/2]_3$	17±3

Эти результаты согласуются с ранее полученными данными для $2p^53p$-$2p^5nd$- и $2p^53s$-$2p^5np$-серий Ne I (3£n£10), а также с данными для системы He-He [1-4]. Отметим также, что если для гелия при малых n максимальное значение параметра a составляет 6, для неона – 12, то для аргона оно достигает 16–17.

На рис. 1 показано поведение сечений возбуждения в сериях для $2^1S - n^1P$-переходов He I (a), $3s[3/2]^0_1 - np[3/2]_1$-переходов Ne I (b) и $4s'[1/2]^0_0 - np'[3/2]_1$- и $4s[3/2]^0_2 - np[5/2]_2$-переходов Ar I (c) при энергии столкновений 450 эВ. Из рисунка видно, как увеличивается наклон кривой $\ln s\ (n)$ при переходе от He к Ar, и, следовательно, возрастает значение a..

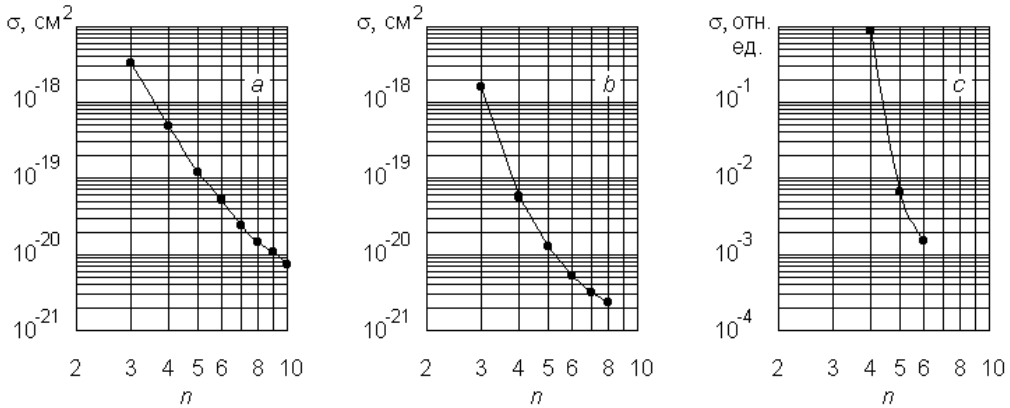

Рисунок 1. Сечения возбуждения в сериях для $2^1S - n^1P$-переходов He I (a), $3s[3/2]^0_1 - np[3/2]_1$-переходов Ne I (b) и $4s'[1/2]^0_0 - np'[3/2]_1$- и $4s[3/2]^0_2 - np[5/2]_2$-переходов Ar I (c) при энергии столкновений 450 эВ

Очевидно, что при малых n результаты по Ar (также как и по Ne, и по He) противоречат известным теоретическим данным. Последнее указывает на необходимость развития теории взаимодействия многоэлектронных атомов, т. к. существующие представления не описывают наблюдаемых закономерностей.

Учитывая ранее полученные нами данные, можно также утверждать, что с увеличением атомной массы и числа электронов сталкивающихся атомов величина a при малых n возрастает.

Работа выполнена при поддержке Американского фонда гражданских исследований и развития (CRDF) (проект PZ-013-02) и Министерства образования РФ (грант E00-3.2-240).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Kurskov S.Yu., Petrov Yu.B., Safronov Yu.A. Investigation of optical emission in binary low-energy Ne-Ne collisions // Electronic and Atomic Collislons: Abstracts of Contributed papers of the 21 International Conference on Physics of Electronic and Atomic Collision. Sendai, 1999. V. 2. P. 785.

2. Курсков С.Ю., Хахаев А.Д. Сериальные закономерности в спектрах возбуждения Ne I при парных столкновениях атомов неона // Молекулярная физика неравновесных систем: II Всерос. науч. конф.: Сб. тр. Иваново: Изд-во ИвГУ, 2000. С. 55–59.

3. Курсков С. Ю., Хахаев А. Д. Спектроскопическое исследование процессов возбуждения в пучке атомов гелия // Известия АН

СССР. Серия физическая. 1989. Т. 53. В. 9. С. 1689–1698.

4. Kurskov S.Yu., Khakhaev A.D. Excitation of atomic levels in pairing interactions of He atoms // 22nd EGAS. 1990. V. 2. P. 716–718.

ВЛИЯНИЕ АДСОРБЦИИ ОРГАНИЧЕСКИХ СОЕДИНЕНИЙ НА ЭЛЕКТРОФИЗИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ПОВЕРХНОСТЕЙ Si, Ge И GaAs

Наконечников А.В.
Северо-Осетинский государственный университет им. К.Л.Хетагурова, Владикавказ

Повышенный интерес к исследованию процессов адсорбции органических соединений на поверхности материалов электронной техники обусловлен двумя обстоятельствами: во-первых, технология изготовления приборных структур микроэлектроники предусматривает обработку материалов в различных органических соединениях и их адсорбция в дальнейшем может оказать значительное влияние на функциональные характеристики приборных структур; во-вторых, молекулы ряда органических соединений, обладая дипольным моментом, могут приводить к тем же специальным эффектам (снижение сродства к электрону подложки), что и адсорбция щелочных металлов с последующим их окислением. В таком случае технология изготовления ряда приборных структур (электронно-оптических преобразователей, фотоэлектронных умножителей), использующих эмиттеры с отрицательным электронным сродством, может быть упрощена и стать менее дорогой.

В работе исследована адсорбция таких органических соединений, как этанол, бутанол, изоамиловый спирт на реальной поверхности германия, кремния и арсенида галлия различных типов проводимости. Изучалось воздействие адсорбции на термодинамическую работу выхода и поверхностную фотопроводимость указанных полупроводников. Адсорбция проводилась как при комнатной температуре, так и при подогреве.

В процессе адсорбции органических молекул на поверхности Si отмечалось снижение работы выхода на образцах обоих типов проводимости. Адсорбция этанола снижает работу выхода на 0,37 эВ, бутанола на 0,22 эВ, изоамилового спирта на 0,13 эВ. Максимальное снижение работы выхода наблюдалось при экспозиции 20 мин. При подогреве адсорбата отмечается большее снижение работы выхода (для этанола на 0,43эВ, бутанола на 0,28 эВ, изоамилового спирта на 0,18 эВ) и за более короткое время -15 минут. Величина уменьшения работы выхода в случае адсорбции на кремнии с дополнительным окислением гораздо ниже. В случае этанола это снижение составляет 0,09эВ, бутанола 0,08 и изоамилового спирта - 0,05 эВ. Подогрев адсорбата не приводит в данном случае к значительным изменениям. Данный факт свидетельствует о том, что поверхностные атомы кремния связаны атомами кислорода и поэтому адсорбционная активность поверхности уменьшается, что указывает на наличие помимо физической адсорбции ещё и химической.

Измерения поверхностной проводимости показали, что адсорбция этанола на поверхности Si p-типа приводит к снижению фотопроводимости с 137 $Ом^{-1}$ $см^{-1}$ до 117 $Ом^{-1}$ $см^{-1}$, адсорбция бутанола снижает поверхностную проводимость до 60 $Ом^{-1}$ $см^{-1}$. Такая же картина имеет место и на поверхности Si. покрытого окисной плёнкой. Для германия вне зависимости от типа проводимости было обнаружено снижение работы выхода практически на одну и ту же величину. Имея значение в начальный момент 4.58 эВ. работа выхода снижается до 4,44 эВ при адсорбции этанола, до 4,37 эВ -бутанола и 4,35 эВ - изоамилового спирта. Подогрев адсорбата не приводит к изменению работы выхода на образцах p-типа, но снижает её в образцах n-типа (до 4,24 эВ при адсорбции бутанола и до 4,09 эВ –изоамилового спирта).

Для GaAs установлено, что наибольшее влияние адсорбция органических молекул оказывает на образцах электронной проводимости. Адсорбция этанола снижает работу выхода с 4,65 эВ до 4,55 эВ, бутанола до 4,53эВ, изоамилового спирта до 4,43 эВ. Подогрев адсорбата усиливает эффект снижения работы выхода на 0,1 эВ.

На основании полученных результатов можно заключить, что адсорбция алифатических молекул на реальной поверхности полупроводников приводит к положительному заряду на поверхности и снижению работы выхода электрона. Наибольшего эффекта это достигается на образцах электронной проводимости. На реальной поверхности Ge и GaAs наибольшее снижение работы выхода вызывает адсорбция молекул со значительными величинами дипольного момента (бутанол, изоамиловый спирт). На поверхности же Si наибольшее снижение работы выхода вызывает адсорбция этанола. Это может быть связано либо с тем, что на оксидной плёнке (поверхность кремния более активна к кислороду) происходит не молекулярная адсорбция, а диссоциативная (влияние дипольного момента незначительно), либо с тем, что на окисленной поверхности число ненасыщенных связей гораздо ниже, а площади, занимаемые одной адсорбированной молекулой, увеличиваются с увеличением числа атомов в углеводородной цепи соединения.

Адсорбция неполярных органических соединений (циклогексан) приводит лишь к незначительным изменениям работы выхода.

МЕТОДЫ ТЕОРИИ ДЕТЕРМИНИРОВАННОГО ХАОСА В ИССЛЕДОВАНИИ НЕРЕГУЛЯРНОЙ ДИНАМИКИ ФИНАНСОВЫХ РЫНКОВ

Первадчук В.П., Тренин Ю.Б.
Пермский государственный технический университет

Работа посвящена исследованию и построению математических моделей финансовых рынков с использованием методов теории детерминированного хаоса. Целью настоящей работы является моделирование динамики и краткосрочное прогнозирование финансовых рынков.

В рамках исследования разрешается вопрос о корректности применения теории детерминированно-