

НАВЕДЕННАЯ ПОЛЯРИЗАЦИЯ АДСОРБИРОВАННЫХ МОЛЕКУЛ
В ИНТЕНСИВНОМ СВЕТОВОМ ПОЛЕ*О. М. Артамонов и Ю. И. Асаханов*

Описано экспериментально наблюдаемое явление изменения оптических характеристик слоя молекул ацетона, спирта и окиси углерода, адсорбированных на поверхности молибдена при освещении плоскополяризованным пучком света газового лазера. Дано краткое описание экспериментальной методики и результатов. Подчеркивается необходимость учета этого явления в практике эллипсометрических измерений.

В последние годы интенсивно развивается эллипсометрический метод исследования состояния поверхностей твердых тел [1]. Оптические характеристики поверхности и тонких прозрачных и поглощающих пленок вычисляются исходя из данных, полученных при анализе изменения поляризации светового пучка при отражении от исследуемой поверхности [2, 3].

Наиболее широко распространенная методика экспериментального определения эллипсометрических параметров (так называемый метод Арчера) связана с изменением азимута плоскости поляризации падающего на исследуемую поверхность линейно поляризованного света [4]. В настоящей работе показано, что при определенных условиях изменение направления поляризации падающего на поверхность освещающего пучка приводит к изменениям оптических характеристик поверхностной пленки, что необходимо учитывать при применении эллипсометрической методики. Экспериментально явление проявляется в том, что при изменении азимута поляризации падающего пучка стационарное состояние поляризации отраженного света, соответствующее новому значению азимута поляризации падающего линейно поляризованного света, устанавливается не сразу, а в течение нескольких минут.

Методика эксперимента

Экспериментальная методика и конструкция высоковакуумного эллипсометра описаны ранее [5]. В данной работе ртутная лампа была заменена газовым лазером ЛГ-55 с мощностью пучка порядка 2—3 мвт и $\lambda=6328$ А. Непосредственно после лазера пучок проходил через четвертьволновую пластинку, азимут которой подбирался таким образом, чтобы получить световой пучок с круговой поляризацией, который использовался для работы эллипсометра [5]. Далее луч последовательно проходил поляризатор, высоковакуумную камеру с исследуемой поверхностью, компенсатор, в качестве которого использовалась четвертьволновая пластинка, анализатор и попадал в регистрирующее устройство с ФЭУ. Состояние поляризации отраженного луча измерялось подбором азимутов компенсатора и анализатора при фиксированном азимуте поляризации падающего, величина которого обычно выбиралась равной 45° относительно плоскости падения. Вблизи положения полной компенсации изменение эллиптичности поляризации отраженного луча вызывает соответствующее изменение интенсивности света, попадающего в регистрирующий ФЭУ. Это использо-

валось в ряде случаев для качественного наблюдения кинетики изменения оптических параметров поверхности, например, во время адсорбции газов. Образцы представляли собой оптически полированные диски поли-монокристаллов Мо (100) диаметром около 1 см и толщиной около 1.5 мм. Образцы обезгаживались высокотемпературным прогревом в вакууме порядка 10^{-8} тор до тех пор, пока их оптические постоянные не стабилизировались на определенном уровне, соответствующем комнатной температуре. Затем производился напуск паров ацетона или спирта до давления порядка 10^{-2} тор и поверхность покрывалась равновесным слоем адсорбированных молекул.

Экспериментальные результаты

На рис. 1 представлена запись изменения во времени регистрируемого ФЭУ светового потока, полученная следующим образом. Интервал времени до значения t_1, t_1' соответствует стационарному значению тока ФЭУ для равновесного слоя адсорбированного ацетона на поверхности при давлении 10^{-2} тор. Далее отраженный луч перекрывался и производилась выдержка исследуемой поверхности при измененном азимуте плоскости поляризации падающего луча. В момент времени t_2 поляризатор устанавливался в прежнее положение и регистрировалось изменение параметров отраженного луча. Зависимость 2 на рис. 1 отличается тем, что во время релаксации сигнала производилась частичная компенсация эллиптичности отраженного луча подбором азимутов компенсатора и анализатора.

Возможность компенсации свидетельствует о том, что изменение интенсивности светового потока на выходе анализатора вызвано изменением состояния поляризации отраженного пучка, а не возникновением деполаризованной компоненты в отраженном от поверхности пучке. Величина первоначального выброса тока ФЭУ или амплитуда релаксации интенсивности пучка характеризует (со сделанными ранее оговорками) состояние поляризации отраженного пучка и зависит от времени выдержки поверхности при измененном азимуте поляризации падающего пучка, величин угла изменения азимута, интенсивности падающего пучка, температуры образца, количества и сорта адсорбированных молекул. Зависимость амплитуды релаксаций от интенсивности падающего светового пучка представлена на рис. 2. Наличие сильной зависимости амплитуды релаксации от интенсивности пучка позволяет наблюдать кинетику изменения оптических параметров слоя также без смены азимута плоскости поляризации падающего луча, например, перекрывая на определенное время падающий световой пучок или вводя нейтральные фильтры. В последнем случае состояние поляризации отраженного пучка в течение нескольких

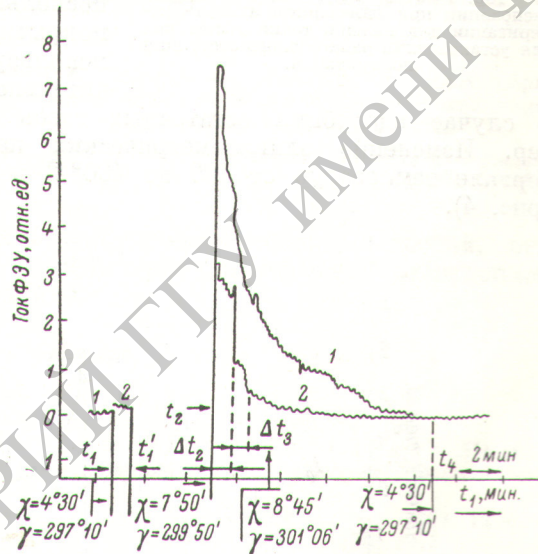


Рис. 1. Изменение интенсивности отраженного светового пучка после смены азимута поляризации падающего.

Выдержка производилась при изменении азимута поляризатора с $+45^{\circ}$ на -45° относительно плоскости падения. Анализатор и четвертьволновая пластинка в положении компенсации. 2 — частичная компенсация эллиптичности отраженного пучка в моменты времени Δt_2 и Δt_3 . Значения эллипсометрических параметров χ и γ даны для соответствующих моментов времени.

минут принимает значение, соответствующее данной интенсивности освещающего пучка. Интересно отметить качественную закономерность: время установления устойчивого состояния поляризации в случае увеличения интенсивности пучка в несколько раз меньше, чем в случае уменьшения интенсивности освещающего пучка (рис. 3).

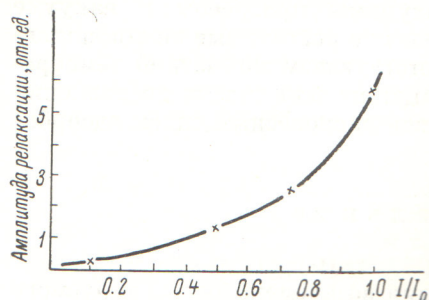


Рис. 2. Зависимость амплитуды релаксации эллипсометрических параметров от интенсивности падающего луча.

Равновесный слой молекул ацетона C_2H_6O на поверхности $Mo(100)$ при давлении 10^{-2} тор. $I = 6 \cdot 10^{15}$ кв./см².сек. Величина экспозиции при измененном азимуте поляризации для каждой точки достаточна для установления равновесного состояния поляризации.

в случае адсорбции остаточных газов носит более сложный характер. Изменение эллипсометрических параметров наблюдается в интервале температур от 100 до 400° С и носит немонотонный характер (рис. 4).

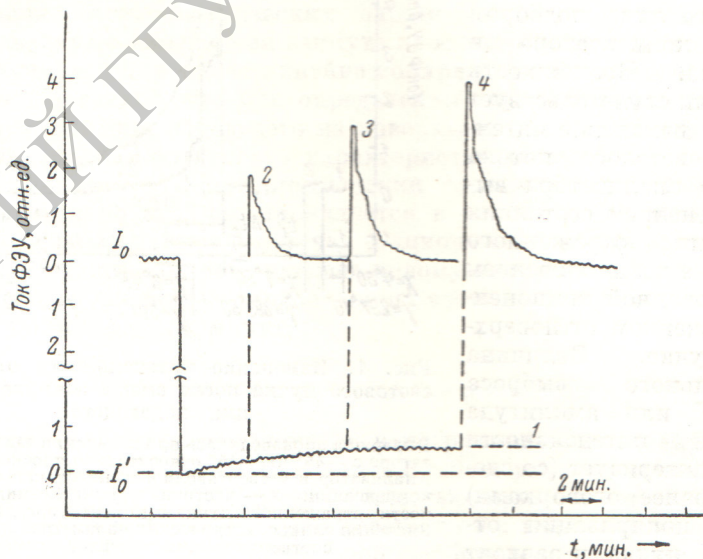


Рис. 3. Изменение амплитуды релаксации при ослаблении интенсивности падающего луча нейтральным фильтром $K=0.6$.

Равновесный слой молекул ацетона C_2H_6O при давлении 10^{-2} тор. I_0 соответствует устойчивому состоянию поляризации при интенсивности порядка $6 \cdot 10^{15}$ кв./см².сек. 1 — установление устойчивого состояния поляризации отраженного луча при введении фильтра $I_0=0.6I_0$; 2+4 — релаксационные зависимости в соответствующие моменты времени при удалении ослабляющего фильтра.

На основании проведенных экспериментальных наблюдений можно утверждать, как нам кажется, что при освещении поверхности, покрытой слоем адсорбированных молекул, достаточно интенсивным пучком плоско-

поляризованного света, происходят обратимые изменения оптических характеристик слоя. Наиболее близок к наблюдаемому явлению обратимый ориентационный фотодихроизм в вязких растворах сложных органических соединений [6-8]. Формальная оценка изменения толщин поверхностной пленки, по данным Друдэ [4], для соответствующих экспериментальных изменений эллипсометрических параметров приводит к абсурдным результатам. Разумное объяснение результатам эксперимента можно дать, предполагая наличие оптической анизотропии адсорбированных на поверхности молекул и возможности пространственной ориентации молекул при облучении плоскополяризованным световым пучком. Механизм пространственной ориентации, пока еще неясный, должен учитывать характер связи адсорбированной молекулы с поверхностью. Описанное явление необходимо принимать во внимание в практике проведения эллипсометрических измерений, оно также представляет самостоятельный интерес при изучении электронной структуры адсорбированных молекул.

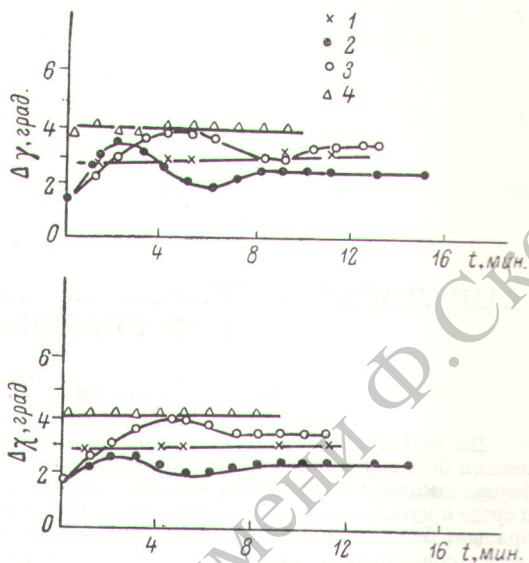


Рис. 4. Зависимость эллипсометрических параметров от времени после экспозиции при измененном азимуте поляризации.

1 — 60, 2 — 200, 3 — 400° С. 4 соответствует давлению порядка 10^{-6} тор при всех указанных температурах.

Литература

- [1] G. A. Bootsma, F. Meyer. Surf. Sci., 18, 123, 1969.
- [2] K. H. Zainger, A. G. Revers. R. C. A. Rev., 25, 85, 1964.
- [3] Л. В. Семеновко, К. К. Свиташов, А. И. Семеновко. Некоторые проблемы физики и химии полупроводников. Изд. «Наука», Новосибирск, 1972.
- [4] F. McCrackin, J. Colson. J. Res. Nat. Bur. Std., 67A, 363, 1963.
- [5] О. М. Артамонов, Ю. И. Асалханов. ПТЭ, 1, 198, 1973.
- [6] Б. С. Непорент, О. В. Столбова. Опт. и спектр., 10, 294, 1961.
- [7] О. В. Столбова. ДАН СССР, 175, 865, 1967.
- [8] А. М. Макушенко, Б. С. Непорент, О. В. Столбова. Опт. и спектр., 31, 557, 741, 1971.

Поступило в Редакцию 4 февраля 1972 г.