

УДК 535.51

К. К. Свиташев, С. И. Чикичев

(Новосибирск)

ОПТИЧЕСКАЯ ЭЛЛИПСОМЕТРИЯ НА ПОРОГЕ 21-го ВЕКА

Уже не один десяток лет термином «оптическая эллипсометрия» принято обозначать оптический метод, позволяющий количественно характеризовать различные процессы, происходящие на границе раздела двух сред, включая перестройку атомной структуры этой границы, протекающие на ней химические реакции, явления адсорбции и десорбции различных атомов и молекул, эпитаксиальный рост, образование переходных слоев и т. п. Суть метода состоит в точной количественной фиксации изменения поляризации предварительно полностью поляризованного (как правило, эллиптически) светового луча при его отражении от исследуемой границы [1, 2]. Определение «оптическая» имеет целью отделить эллипсометрию в оптической области спектра от уже созданной радиоэллипсометрии [3] и только еще нарождающейся рентгеноэллипсометрии. При этом под оптической областью спектра в широком смысле этого слова мы понимаем инфракрасную, видимую и ультрафиолетовую части спектра электромагнитных излучений. Выделение такой области обусловлено не только близостью соответствующих участков спектра, но и сходством методов и приборов, применяемых для исследований и технических приложений во всем этом широком диапазоне длин волн. Исторически большинство оптических методов и приборов были разработаны главным образом при изучении видимого света (линзы и зеркала для формирования излучения; призмы, дифракционные решетки, интерференционные приборы для исследования спектрального состава излучения и т. д.) [4]. Оптическая область спектра простирается от условной границы между инфракрасным и радиоизлучением ($\lambda = 2$ мм) до не менее условной границы между коротковолновым ультрафиолетовым и мягким рентгеновским излучением ($\lambda = 10$ нм).

Отметим основные особенности метода оптической эллипсометрии.

1. Измерительным инструментом в оптической эллипсометрии является световой луч. В результате этим методом может быть исследован или проконтролирован весьма широкий круг разнообразных границ раздела двух сред, включая химически агрессивные среды, среды, нагретые до высоких температур, и т. п. Единственное условие применимости метода оптической эллипсометрии — возможность зафиксировать изменение состояния поляризации светового луча в результате его отражения от исследуемой или контролируемой границы раздела сред.

2. При правильном выборе спектрального состава и интенсивности светового луча, используемого в качестве зонда в методе оптической эллипсометрии, этот луч не оказывает сколько-нибудь заметного влияния на исследуемую или контролируемую систему. Таким образом, оптическая эллипсометрия является не только неразрушающим, но и невозмущающим методом исследования и контроля.

3. Метод оптической эллипсометрии обладает высокой чувствительностью к весьма слабым эффектам, имеющим место на границе раздела сред. Так, Арчер и Гобели [5] еще тридцать лет назад при исследовании хемосорбции

кислорода на поверхности кремния эллипсометрическим методом смогли измерить адсорбционные покрытия с точностью до 0,02 монослоя. В настоящее время этот параметр улучшен более чем на порядок.

4. Как правило, функциональные связи между величинами, непосредственно измеряемыми методом оптической эллипсометрии (так называемыми поляризационными углами Ψ и Δ), и параметрами границы раздела конкретных сред, которые интересуют исследователя или технолога, не являются простыми. Однако современная вычислительная техника сделала возможной точную интерпретацию результатов эллипсометрических измерений в реальном масштабе времени.

5. Современные приборы, предназначенные для проведения измерений методом оптической эллипсометрии (оптические эллипсометры и спектро-эллипсометры), являются достаточно простыми и весьма надежными приборами, стоимость которых не слишком высока. При решении целого ряда задач оптический эллипсометр может оказаться наиболее дешевым и надежным контрольно-измерительным прибором.

Перечисленные особенности оптической эллипсометрии привели к тому, что на глазах одного поколения исследователей этот метод превратился из лабораторной экзотики в один из основных методов контроля базовых технологических процессов в целом ряде отраслей промышленности, и прежде всего в микроэлектронике как самой наукоемкой сфере тончайших и точнейших технологий [6].

Заметим, наконец, что состояние поляризации является сугубо квантовым внутренним свойством каждого отдельного фотона, поэтому начало экспериментального изучения и использования квантовых свойств следует отнести к опытам Э. Бартолина [7] по двулучепреломлению света в кристаллах исландского шпата, выполненным еще в конце 17-го века. Так что у оптической эллипсометрии богатая и славная многовековая история, и можно с уверенностью утверждать, что ее ждет не менее блестящее будущее.

Надеемся, что знакомство читателей с настоящим выпуском журнала «Автометрия», посвященным оптической эллипсометрии, будет способствовать дальнейшему расширению круга практических приложений этого уникального метода исследования и контроля.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Azzam R. M. A., Bashara N. M. Ellipsometry and Polarized Light. North-Holland Publ. Comp., 1977.
2. Ржанов А. В., Свиташев К. К., Семенов А. И. и др. Основы эллипсометрии. Новосибирск: Наука, 1979.
3. Конев В. А., Кулешов Е. М., Пунько Н. Н. Радиоволновая эллипсометрия. Минск: Наука и техника, 1985.
4. Сивухин Д. В. Общий курс физики. Т. 4. Оптика. М.: Наука, 1985.
5. Archer R. J., Gobel G. W. Measurement of oxygen adsorption on silicon by ellipsometer // J. Phys. Chem. Sol. 1965. 26. P. 343.
6. Barna G. G., Loewenstein L. M., Henck S. A. et al. Dry etch processes and sensors // Sol. State Technol. 1994. N 1. P. 47.
7. Избранные труды классиков физической оптики. Т. 1. Поляризация света. Новосибирск: Наука, 1992.

Поступила в редакцию 6 декабря 1996 г.