

УДК 53.084

Моделирование системы крепления эллипсометра с использованием САД

Александр В. Ефремов*

Сергей Г. Овчинников

Сергей Н. Варнаков

Николай Н. Косырев

Институт физики им. Л.В.Киренского СО РАН,

Академгородок 50, Красноярск, 660036,

Россия

Получена 18.12.2009, окончательный вариант 25.01.2010, принята к печати 20.02.2010

Рассматривается задача автоматизированного проектирования системы крепления плеч эллипсометра, являющегося частью установки молекулярно-лучевой эпитаксии с магнитооптическим эллипсометрическим комплексом. Показана возможность проектирования, управляемого заданными ограничивающими условиями. При помощи системы автоматизированного проектирования с использованием математического моделирования была найдена оптимальная форма крепления плеч эллипсометра. Было определено ускорение, возникающее при типичных перегрузках камеры, при этом максимальное отклонение луча на приемнике анализатора не превышало допустимого для проведения измерений отклонения.

Ключевые слова: САД, математическое моделирование, эллипсометр, моделирование перегрузок, метод конечных элементов.

Введение

В настоящее время остро стоит вопрос анализа и контроля структуры и свойств поверхностей тонких пленок ввиду их перспективного применения в устройствах наноэлектроники и спинтроники. Одним из методов такого анализа является метод in-situ эллипсометрии, который позволяет на основании данных об изменении поляризации отраженного от образца света, не нарушая структуры поверхности, производить исследование и контроль ее свойств в течение технологического процесса [1]. Также известен метод магнитооптического эффекта Керра, который, обладая схожей схемой измерения, позволяет получать сведения о магнитных свойствах исследуемого материала [2]. На основании работ по проведению подобных измерений в существующей установке молекулярно-лучевой эпитаксии "Ангара" ([3], [4], [5] и др.) было принято решение создать новый комплекс, который бы обладал возможностями проведения эллипсометрических измерений, наблюдения экваториального эффекта Керра, а также проведения технологического процесса напыления тонких пленок. Для реализации этого проекта необходимо было решить ряд прикладных задач, которые рассмотрены в настоящей статье.

*sabbah@rambler.ru

1. Схема установки и постановка задачи

В качестве основной камеры установки была выбрана существующая камера комплекса спектроскопических измерений (рис. 1). На основе этой камеры была создана трехмерная модель в САД-системе (Computer-Aided Design System — Система автоматизированного проектирования).



Рис. 1. Общий вид установки молекулярно-лучевой эпитаксии с магнитооптическим эллипсометрическим комплексом

Основной задачей стало размещение и закрепление основных блоков эллипсометрической системы, блока поляризатора и блока анализатора. Блоки эллипсометрической системы были размещены на плоских платформах, при этом крепление осуществляется четырьмя винтами, а за юстировку отвечают четыре установочных винта. Для крепления платформы к камере в обоих случаях были применены конструкции в виде косынок, испытывающие основное усилие при перегрузке. Косынки крепления поляризатора приварены к хомуту, который в свою очередь крепится к камере за счет винтовых соединителей. Косынки крепления анализатора имеют установочные пяты со стороны камеры, которые также крепятся винтами.

Выбранная конфигурация крепления плеч эллипсометра должна была обладать необходимой устойчивостью к перегрузкам для проведения воспроизводимых измерений. Эллипсометр, разрабатываемый для комплекса, обладает характеристиками эллипсометра ЛЭФ-757, в котором луч в анализаторе разделяется на два пучка [6]. Поскольку диаметр пятна луча на приемнике сигнала в анализаторе составляет 3–4 мм, необходимо было обеспечить стабильность конструкции при перегрузках, при которой отклонение луча в анализаторе не превышало бы 1 мм, что составляет 25–30 % диаметра пятна и позволяет передать достаточное количество света для разделенных пучков.

С целью определения оптимальной формы крепления плеч эллипсометра был проведен ряд последовательных экспериментов, которые представляли собой математическое моделирование для получения необходимых параметров.

2. Проведение экспериментов

2.1. Определение ускорения типичных перегрузок

Для моделирования типичных перегрузок и определения ускорения была использована следующая схема (рис. 2).

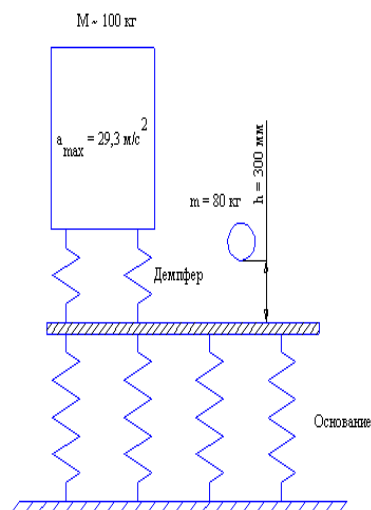


Рис. 2. Общий вид установки молекулярно-лучевой эпитаксии с магнитооптическим эллипсометрическим комплексом

Масса камеры установлена на полу, между камерой и полом действует демпфирующее устройство, которое позволяет снизить частоту колебаний нагрузок. Пол в свою очередь также демпфирован естественным образом за счёт упругих свойств материалов, на которые он опирается (дерево, бетон, земля). В качестве моделирующей нагрузки было использовано массивное тело, которое под действием силы тяжести падает и ударяется об пол. Параметры моделирующей нагрузки ($m = 80$ кг, $h = 300$ мм) были выбраны таким образом, чтобы реализовать максимальную шаговую нагрузку на пол, производимую человеком в лаборатории.

В результате эксперимента на влияние перегрузки было получено максимальное ускорение, действующее на камеру вследствие ударной нагрузки (рис. 3). Ускорение составило $a_{\max} \approx 29,3$ м/с². Этот параметр стал входным для следующего эксперимента, в котором было рассчитано максимальное отклонение поляризатора и анализатора под действием соответствующей перегрузки.

2.2. Моделирование отклонения формы креплений плеч эллипсометра и оптимизация

Было проведено математическое моделирование отклонения формы крепления плеч эллипсометра методом конечных элементов под действием заданного ускорения $a_{\max} \approx 29,3$ м/с² [7]. При этом было принято консольное закрепление плеч эллипсометра и сортамент мате-

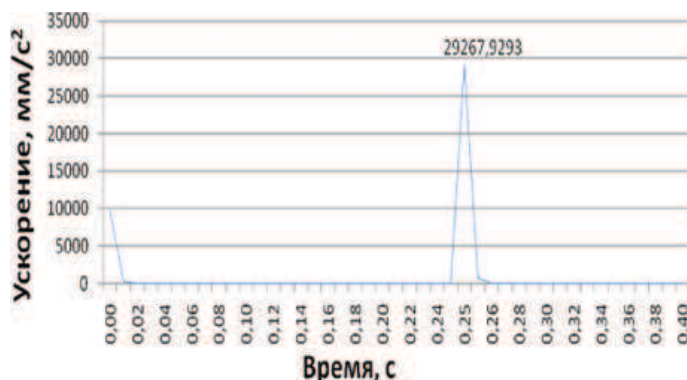


Рис. 3. Отклик по ускорению при ударной нагрузке

риала *сталь нерж. лист 10* был выбран из соображений рациональности. Для креплений в эксперименте существует только одна значимая степень свободы, это вращение с точкой качения в месте крепления плеч на камере, поэтому рассматривалось только азимутальное смещение. После первого этапа моделирования было выяснено, что отклонение луча от нормального положения превышает допустимое значение, необходимо было произвести оптимизацию формы крепления плеч эллипсометра. Было проведено математическое моделирование оптимизации формы косынок, при этом оптимизации подвергались два размера, косвенно определяющих площади косынок крепления анализатора и поляризатора (рис. 4). В качестве входного параметра для оптимизации была выбрана величина отклонения луча

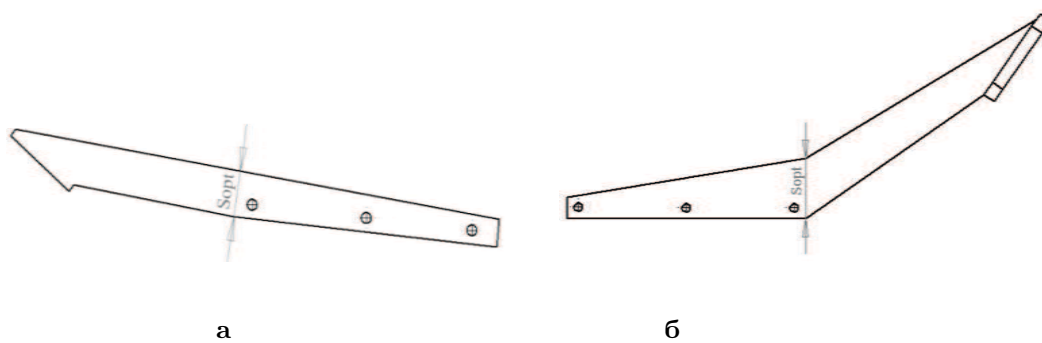


Рис. 4. Оптимизируемые размеры косынок крепления плеч эллипсометра: а — косынка крепления плеча поляризатора; б — косынка крепления плеча анализатора

эллипсометра от нормального положения, равная 1 мм. В результате оптимизации были получены размеры плеч крепления, удовлетворяющие заданным условиям, которые составили: $S_{opt\ pol.} \approx 23,19$ мм; $S_{opt\ an.} \approx 38,78$ мм. После округления размеров до больших значений $S_{opt\ pol.} \approx 24$ мм, $S_{opt\ an.} \approx 40$ мм было проведено повторное моделирование отклонения формы креплений. Были получены эпюры (рис. 5).

На основании полученных данных были вычислены величины отклонений точек источника луча и приемника луча, которые составили $\Delta_{pol.} \approx 0,090$ мм для источника и

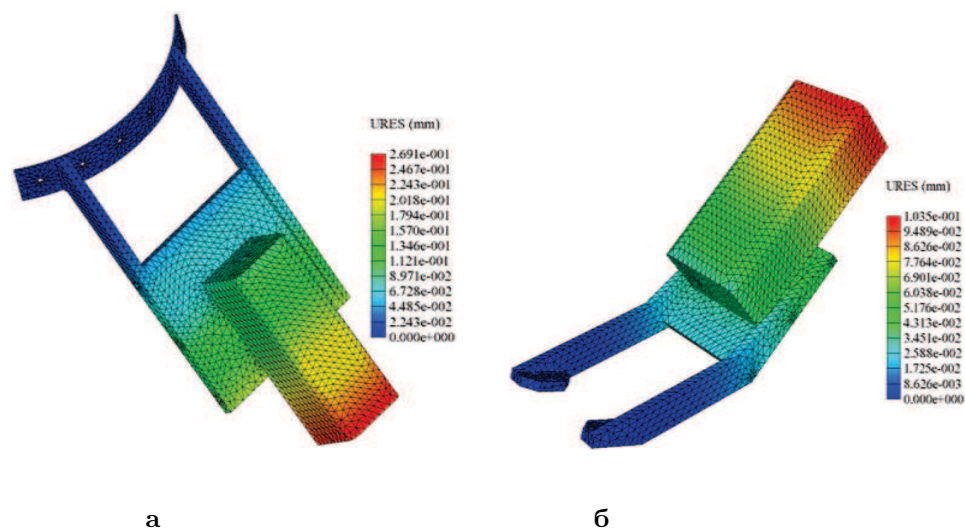


Рис. 5. Эпюры отклонения формы плеч эллипсометра под действием перегрузки $a_{max} \approx 29,3 \text{ м/с}^2$: а — для поляризатора; б — для анализатора

$\Delta_{an.} \approx 0,032 \text{ мм}$ для приемника. С использованием этих значений был построен чертеж хода луча эллипсометра (рис. 6).

Из чертежа видно, что отклонение луча на $0,090 \text{ мм}$ в поляризаторе дает отклонение на $0,952 \text{ мм}$ в анализаторе, к этому отклонению следует добавить также отклонение самого приемника в анализаторе на $0,032 \text{ мм}$, которое произойдет в противоположную сторону. В результате получили суммарное отклонение луча от приемника сигнала $\Delta \approx 0,984 \text{ мм}$, что соответствует заданному ограничению.

3. Заключение

Была решена прикладная задача по моделированию системы крепления плеч эллипсометра для установки молекулярно-лучевой эпитаксии с магнитооптическим эллипсометрическим комплексом. Проектирование было произведено в САД-системе. Показана возможность использования математического моделирования на основе метода конечных элементов при проектировании для оптимизации формы конструкции с учетом заданных условий. Использование САД-системы позволило сократить время на проектирование, уменьшило затраты на макетирование и позволило дать четкое обоснование выбранной формы и размеров системы крепления в соответствии с заданными ограничениями.

Работа выполнена при финансовой поддержке программы ОФН РАН 4, проекта 10 программы Президиума РАН 27, интеграционного проекта СО РАН-ДВО РАН 22, Российского фонда фундаментальных исследований (грант N 07-03-00320), а также Федеральной целевой программы "Научные и научно-педагогические кадры инновационной России" на 2009-2013 годы (Государственный контракт П1464).

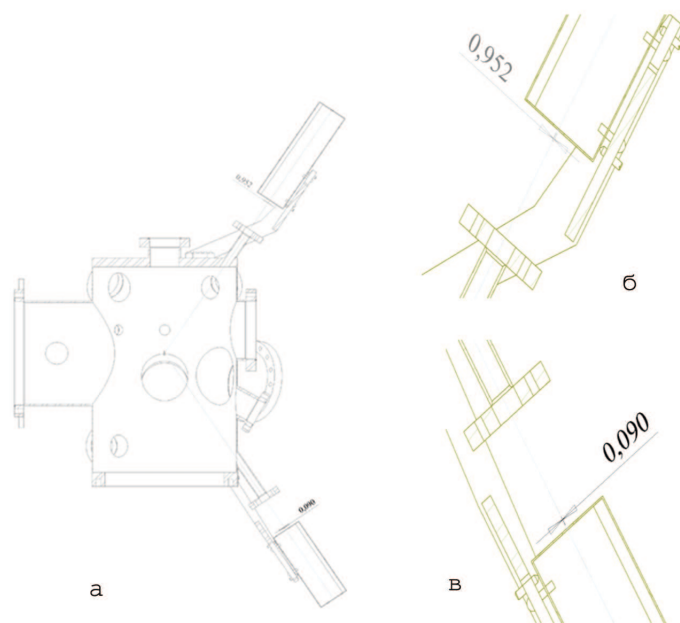


Рис. 6. Чертеж хода луча эллипсометра под действием перегрузки $a_{max} \approx 29,3 \text{ м/с}^2$: а — общий вид; б — приемник луча (увел.); в — источник луча (увел.)

Список литературы

- [1] К.К. Свиташев, А.В. Ржанов, Основы эллипсометрии, Новосибирск, Наука, 1979.
- [2] В.А. Котов, А.К. Звездин, Магнитооптика тонких пленок, М., Наука, 1988.
- [3] V.A. Kolechin, V.N. Zabluda, A.E. Hudyaikov, I.S. Edelman, S.G. Ovchinnikov, N.N. Kosyrev, In situ SMOKE Measurements in ultrahigh vacuum by ellipsometry, Euro-Asian symposium *Magnetism on a nanoscale*, Kazan, 2007, 264.
- [4] С.Г. Овчинников, А.Е. Худяков, Г.В. Бондаренко, Н.Н. Косырев, Исследование in-situ ферромагнетизма при комнатной температуре в магнитных нанослоях, Материалы конференции *Нанопизика и наноэлектроника-2008*, Нижний Новгород, 2008.
- [5] S.N. Varnakov, N.N. Kosyrev, S.G. Ovchinnikov, In situ ellipsometry for monitoring growth of three layer Fe/Si/Fe structure, Euro-Asian symposium *Trends in magnetism*, 2004, 303.
- [6] Пат. 2302623 Российская Федерация, Эллипсометр / С.В. Рыхлицкий, В.А. Швец, Е.В. Спесивцев; опубл. 10.07.2007.
- [7] А.А. Собачкин, Е.В. Одинцов, А.И. Харитонович, Н.Б. Пономарев, А.А. Алямовский, SolidWorks 2007/2008. Компьютерное моделирование в инженерной практике. Санкт-Петербург: БХВ-Петербург, 2008.

Ellipsometer Mounting System Design Using CAD

Alexander V. Efremov
Sergey G. Ovchinnikov
Sergey N. Varnakov
Nikolay N. Kosyrev

Ellipsometer arms mounting is a part of MBE system with magneto-optic ellipsometric complex, for which the automated designing task has been examined. The ability of the limiting conditions driven design has been shown. Using CAD and mathematical modeling the optimal form of ellipsometer mounting arms was found. The acceleration that appears under typical mechanical overloads has been defined, under the condition that the maximum beam deviation of the analyzer did not exceed the admissible deviation for carrying out measurements.

Keywords: CAD, mathematical modeling, ellipsometer, overload modeling, finite element method.