

А. С. ИВАНОВ, В. В. МАНУХОВ, А. Б. ФЕДОРЦОВ, Ю. В. ЧУРКИН

БЫСТРОДЕЙСТВУЮЩИЙ ПРИБОР ДЛЯ КОНТРОЛЯ УГЛОВОЙ ЗАВИСИМОСТИ КОЭФФИЦИЕНТА ОТРАЖЕНИЯ ЛАЗЕРНОГО ЛУЧА

Описаны две оптико-механические схемы, реализующие быстрое изменение угла падения лазерного луча на поверхность неподвижного образца с последующей регистрацией интенсивности отраженного образцом луча. Входящие в состав устройства сферические собирающие линзы или сферические зеркала вместо эллиптических значительно снижают его себестоимость.

Ключевые слова: угол падения луча, лазерная интерферометрия, тонкие пленки.

В ряде экспериментов требуется измерять зависимость коэффициента отражения монохроматического луча от угла его падения на поверхность исследуемого образца. При этом необходимо обеспечить попадание луча в заданную фиксированную точку на поверхности неподвижного образца и максимально сократить время измерений. Полученные результаты могут быть использованы при определении толщины прозрачных и слабопоглощающих пленок [1—7], при лазерно-интерферометрических исследованиях электронных свойств полупроводников [8], при измерении шероховатости поверхности и в ряде других экспериментов.

Одним из устройств, позволяющих измерять угол падения луча лазера на поверхность неподвижного образца, является схема, предложенная профессором Мори [1, 2, 7], в которой лазер и фотоэлемент крепятся на соседних плечах пантографа, а исследуемый образец (пленка) располагается так, что его поверхность находится на оси шарнира, соединяющего эти плечи. Однако при использовании такой схемы минимальное время одного измерения составило около 10 с, т.е. скорость измерения недостаточно высока для решения ряда научных и технических задач, например, при измерении толщины жидких пленок, особенно в случае испарения или растекания. Авторами настоящей работы были предложены устройства [3—5] для изменения угла падения луча лазера на поверхность образца и измерения интенсивности отраженного излучения, единственным подвижным элементом которых является вращающееся плоское зеркало. Устройства позволяют получить рабочий диапазон изменения углов в 65° , основным преимуществом таких устройств является высокое быстродействие: время прохождения рабочего диапазона углов составляет около 1 мс при частоте измерений 50 с^{-1} . Это позволяет применять их при измерении толщины растекающихся или быстро испаряющихся пленок [5], а также контролировать толщину пленок (например, оксидных) при наращивании в режиме реального времени. Кроме того, такие приборы позволяют значительно сократить время контроля толщины образцов, когда необходимо провести измерения в большом числе точек на их поверхности. Однако в этих устройствах использованы сложные в изготовлении эллиптические зеркала, что делает прибор довольно дорогостоящим.

В настоящей статье описываются два разработанных, изготовленных и испытанных устройства, в которых вместо эллиптических зеркал используются сферические линзы или зеркала. Оптико-механическая схема прибора, в котором используются сферические линзы, приведена на рис. 1. Взаимосвязь оптико-механических элементов в устройстве следующая: луч лазера 1 направляется в точку N плоского зеркала 2, которое вращается электродвигателем с постоянной угловой скоростью ω вокруг оси, проходящей на его поверхности через точку падения N луча лазера (ось вращения зеркала перпендикулярна падающему лазерному лучу). Линза 3 и держатель образца 4 установлены так, что измеряемая точка образца 5 пленки

(точка M) является оптически сопряженной точке N . Линза 6 и приемник излучения 7 расположены таким образом, что линза 6 хотя бы частично перекрывает сектор (веер) лучей лазера. Отразившись от зеркала 2 , луч (вследствие непрерывного вращения зеркала 2) скользит по поверхности линзы 3 , все время преломляясь под разными углами в точку M . Отраженный в точке M от образца луч попадает на линзу 6 , пройдя через которую, попадает в точку P (оптически сопряженную точке M), в которой находится фотоприемник 7 . Сигнал с фотоприемника подается на вход регистрирующего устройства (например, осциллографа).

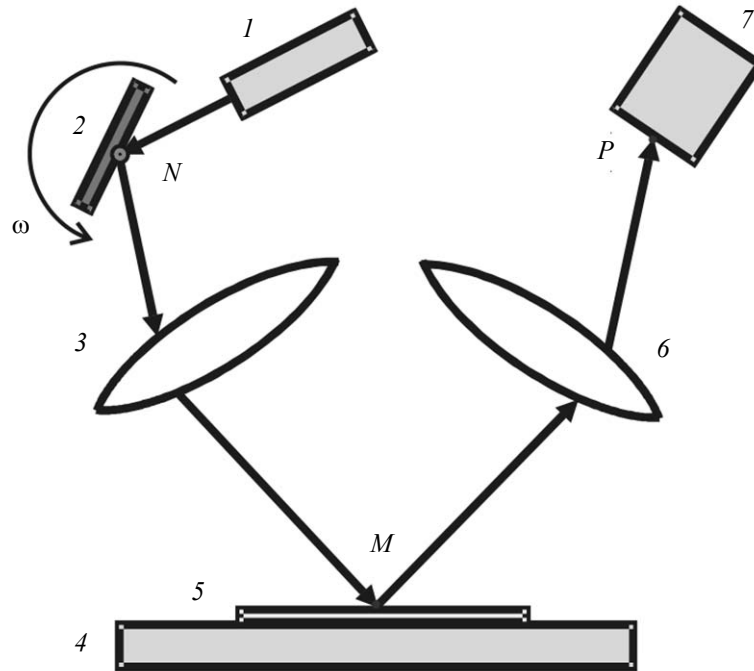


Рис. 1

При практической реализации устройства нами в качестве первой была использована линза диаметром 16 мм с фокусным расстоянием 12 мм. Исследуемый образец располагался на расстоянии 13—14 мм от нее. Всю поверхность линзы использовать не удалось вследствие того, что луч лазера, преломляясь вблизи краев линзы, не попадал в точку измерения, по-видимому, вследствие аберраций. Диапазон углов отклонения лазерного луча — примерно 36° (от начального значения 30° до конечного — 66°). По быстродействию прибор не отличается от прототипа и позволяет производить измерения с частотой 50 с^{-1} , это определяется угловой скоростью вращения плоского зеркала 2 . Время прохождения рабочего диапазона углов составляет около 1 мс.

Однако для измерения угловой зависимости коэффициента отражения инфракрасного лазерного луча описанное устройство возможно применять только при использовании линз, изготовленных из материалов, прозрачных в инфракрасной области спектра, так как стекло сильно поглощает излучение в этой области. Такие линзы дороги и малодоступны, номенклатура их невелика.

Для преодоления этого недостатка нами была предложена и исследована оптико-механическая схема с использованием сферических зеркал, имеющих наружную металлизацию, которые намного дешевле и доступнее эллиптических. Оптическая схема прибора приведена на рис. 2. Взаимосвязь оптико-механических элементов в устройстве следующая. Луч лазера 1 направляется на плоское зеркало 2 . Это зеркало вращается электродвигателем с постоянной угловой скоростью ω вокруг оси, лежащей на его поверхности и проходящей через точку падения луча лазера. Причем ось вращения зеркала перпендикулярна падающему лазерному лучу. Сферическое зеркало 3 и держатель образца 4 установлены так, что измеряемая

точка образца (точка N) является оптически сопряженной точке M . Сферическое зеркало 5 и приемник излучения 6 расположены так, что сферическое зеркало 5 перекрывает сектор (веер) лучей лазера 1, отраженных измеряемой точкой N образца при их попадании в эту точку при различных угловых положениях плоского зеркала 2, а вход приемника излучения находится в точке P , оптически сопряженной измеряемой точке N образца.

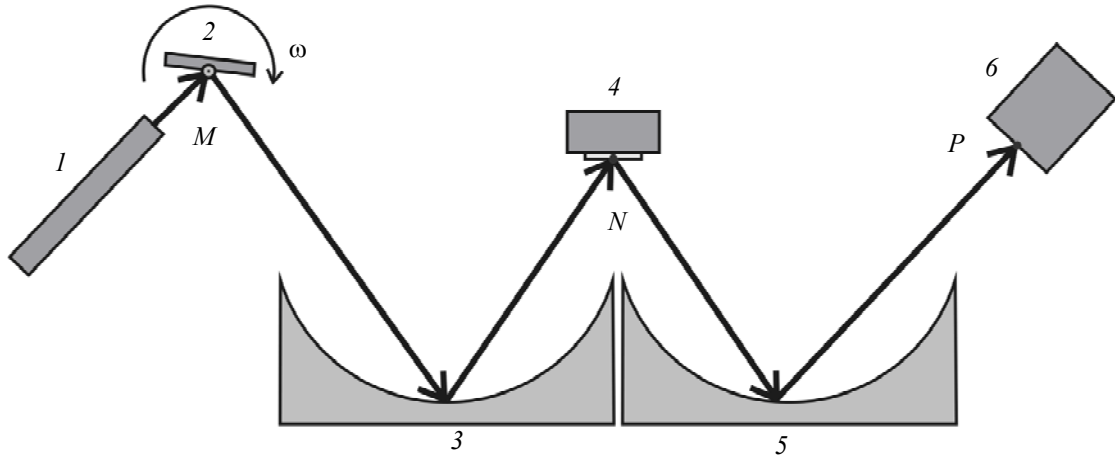


Рис. 2

В практически испытанном нами варианте оптического тракта были использованы вогнутые сферические зеркала с фокусным расстоянием 30 мм и наружным алюминированием. При этом было достигнуто изменение угла падения луча на образец 40° в диапазоне $12\text{--}52^\circ$ с последующей регистрацией параметров отраженного луча. По быстродействию прибор не отличается от приборов, описанных выше, и позволяет производить до 50 измерений в секунду. Время прохождения рабочего диапазона углов составляет около 1 мс.

Реализованные оптико-механические схемы позволяют получить достаточно большой диапазон углов, но меньше, чем схема, содержащая эллиптические зеркала. Это может несколько ограничивать область применения предложенных приборов. Однако сферические зеркала и линзы, входящие в состав этих устройств, гораздо дешевле и доступнее, чем эллиптические зеркала. Таким образом, несмотря на то что предложенные в данной статье устройства несколько уступают по своим параметрам устройствам на основе эллиптических зеркал, в ряде случаев их применение целесообразно вследствие доступности оптических элементов.

Работа выполнена при поддержке гранта № 9-4-4232 „Исследование методами лазерной интерферометрии“ ФЦП „Развитие научного потенциала высшей школы (2009—2010 гг.)“ и гранта № П184 „Исследование дисперсионных сил адгезии водорода к материалам для систем его хранения“ ФЦП „Научные и научно-педагогические кадры инновационной России (2009—2013 гг.)“.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ohyama T., Mori Y. H. Optical method for measuring uniform thickness of the order of $10\ \mu\text{m}$ —1 mm of transparent solid and liquid films // Review of scientific instruments. 1987. Vol. 58, N 10. P. 1860—1864.
2. Nosoko T., Mori Y. H., Nagata T. Improved interferometer for measuring unsteady film thickness // Review of scientific instruments. 1996. Vol. 67, N 8. P. 2685—2690.
3. Иванов А. С., Летенко Д. Г., Торчинский И. А., Федорцов А. Б., Чуркин Ю. В. Быстрое измерение угловой зависимости коэффициента отражения лазерного луча неподвижным образцом // Приборы и техника эксперимента. 1991. № 4. С. 222—224.
4. Fedortsov A. B., Letenko D. G., Churkin Yu. V., Torchinsky I. A., Ivanov A. S. A fast operating device for measuring the thickness of transparent solid and liquid films // Review of scientific instruments. 1992. Vol. 63, N 7. P. 3597—3582.

5. Ценципер Л. М., Федорцов А. Б., Летенко Д. Г. Прибор для измерения кинетики растекания и испарения жидких пленок в реальном масштабе времени // Приборы и техника эксперимента. 1996. № 1. С. 154—157.
6. Griffiths C. L., Weeks K. J. Optical monitoring of molecular beam epitaxy growth of AlN/GaN using single-wavelength laser interferometry: A simple method of tracking real-time changes in growth rate // J. Vacuum Science & Technology B. 2007. Vol. 25, N. 3. P. 1066—1071.
7. Ohmura R., Kashiwazaki S., Mory Y. H. Measurements of clathrate-hydrate film thickness using laser interferometry // J. Crystal Growth. 2000. Vol. 218, N. 2—4. P. 372—380.
8. Арешкин А. Г., Воробьев Л. Е., Иванов А. С., Комаровских К. Ф., Летенко Д. Г., Федорцов А. Б., Чуркин Ю. В. Бесконтактный лазерный интерференционный метод неразрушающего исследования рекомбинационных характеристик электронов и дырок в полупроводниках // Изв. РАН, сер. физическая. 1992. Т. 56, № 12. С. 121—129.

Сведения об авторах

- | | |
|-------------------------------------|--|
| Алексей Сергеевич Иванов | — канд. техн. наук, доцент; Северо-Западный заочный технический университет, кафедра физики, Санкт-Петербург; E-mail: physics@nwrpi.ru |
| Василий Владимирович Манухов | — аспирант; Северо-Западный заочный технический университет, кафедра физики, Санкт-Петербург; E-mail: karven@list.ru |
| Александр Борисович Федорцов | — д-р физ.-мат. наук, профессор; Северо-Западный заочный технический университет, кафедра физики, Санкт-Петербург; заведующий кафедрой; E-mail: physics@nwrpi.ru |
| Юрий Валентинович Чуркин | — канд. техн. наук, доцент; Северо-Западный заочный технический университет, кафедра физики, Санкт-Петербург; E-mail: yuch58@yandex.ru |

Рекомендована кафедрой
физики

Поступила в редакцию
11.06.10 г.