

Оптико-электронный комплекс для измерения функциональных параметров МЭМС дефлекторов с электромагнитным управлением

В. С. Корнеев^{1}, С. Л. Шергин¹*

¹ Сибирский государственный университет геосистем и технологий, г. Новосибирск, Российская Федерация
* e-mail: korneyv@mail.ru

Аннотация. Разработан и испытан оптико-электронный комплекс, позволяющий проводить измерения динамических параметров МЭМС дефлекторов с произвольными размерами и формой отражающих микрозеркал, и диполей, изготовленных из различных ферромагнитных материалов. Комплекс позволяет измерять следующие параметры МЭМС дефлекторов: силу тока в управляющей катушке, индукцию магнитного поля в воздушном зазоре, угловой размер и относительную интенсивность максимумов дифракционной картины, а также их перемещение при синхронном повороте микрозеркал на малые углы. При помощи представленного оптико-электронного комплекса проведены измерения динамических параметров МЭМС дефлекторов с заданными размерами отражающих элементов и диполей из различных ферромагнитных материалов, при этом точность измерения угла отклонения составила $\pm 10''$, погрешность измерений величины силы тока в управляющей катушке равна $\pm 0,1$ мА.

Ключевые слова: микромеханические дефлекторы, магнитоуправляемые дефлекторы, управление (сканирование) лазерным излучением

Optoelectronic complex for measuring of functional parameters of MEMS deflectors with electromagnetic control

V. S. Korneev^{1}, S. L. Shergin¹*

¹ Siberian State University of Geosystems and Technologies, Novosibirsk, Russian Federation
* e-mail: korneyv@mail.ru

Abstract. An optical-electronic complex has been developed and tested, which makes it possible to measure the dynamic parameters of MEMS deflectors with arbitrary sizes and shapes of reflecting micromirrors, and dipoles made of various ferromagnetic materials. The complex makes it possible to measure the following parameters of MEMS deflectors: current strength in the control coil, magnetic field induction in the air gap, angular size and relative intensity of the diffraction pattern maxima, as well as their movement during synchronous rotation of the micromirrors at small angles. Using the presented optical-electronic complex, dynamic parameters of MEMS were measured. Deflectors with specified dimensions of reflective elements and dipoles made of various ferromagnetic materials, while the deviation angle measurement accuracy was $\pm 10''$, the measurement error of the current strength in the control coil is $\pm 0,1$ mA.

Keywords: micromechanical deflectors, magnetically controlled deflectors, control (scanning) of laser radiation

Введение

Электромагнитный способ управления потоками отраженного излучения позволяет получить высокую точность позиционирования отраженного пучка, а также обеспечивает повышенное быстродействие со временем отклонения в десятки микросекунд. В работах [1–6] представлены: МЭМС дефлектор с электромагнитным управлением и измерительный стенд для экспериментальных исследований его динамических параметров. Отличительной особенностью стенда являлось последовательное измерение датчиком Холла величины магнитной индукции в воздушном зазоре магнитопровода, а затем – измерение величины угла отклонения отраженного светового пучка. Средняя чувствительность экспериментального стенда в статическом режиме для представленного образца дефлектора составила $0,94^\circ/\text{A}$.

Методы и материалы

В течение последнего года авторами разработан и испытан оптико-электронный комплекс (рис. 1), позволяющий проводить измерения динамических параметров МЭМС дефлекторов с произвольными размерами и формой отражающих микрозеркал, и диполей, изготовленных из различных ферромагнитных материалов. Комплекс позволяет измерять следующие параметры МЭМС дефлекторов: силу тока в управляющей катушке, индукцию магнитного поля в воздушном зазоре, угловой размер и относительную интенсивность максимумов дифракционной картины, а также их перемещение при синхронном повороте микрозеркал на малые углы.

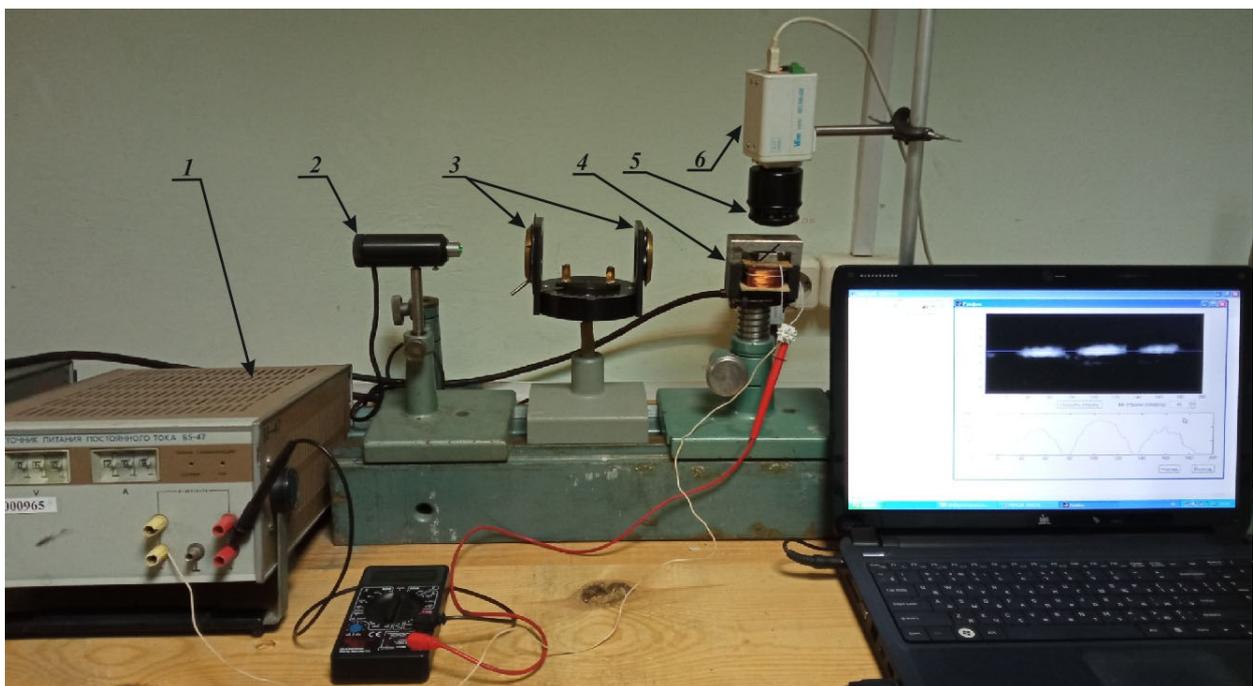


Рис. 1. Фотография оптико-электронного измерительного комплекса

Комплекс состоит из трех функциональных блоков:

1) блок источников излучения, включающий в себя полупроводниковый лазер с длиной волны 0,64 мкм (2), твердотельный лазер с длинами волн 0,532 мкм и 1,064 мкм (2), поляризаторы (3) для регулировки мощности светового пучка;

2) блок управления положением отраженного пучка, включающий в себя источники постоянного и переменного тока (1), управляющие катушки индуктивностью 50 мГн, 100 мГн и 185 мГн (4), амперметр, датчик Холла SS49E с чувствительностью 1,75 мВ/Гс;

3) блок измерения положения и смещения отраженного пучка, состоящий из видеокамеры VEC-245-USB (6) (чувствительность 0,5 люкс при соотношении сигнал/шум – 20 дБ), формирующей компрессированный цифровой видеосигнал в режиме 1600 × 1200 элементов (размер пиксела – 2,8 мкм), объектива (5) «Индустар-50-2» с увеличением 3,5 и фокусным расстоянием 50 мм, персонального компьютера с программным обеспечением на базе «Matlab».

Результаты

Юстировка оптического тракта комплекса заключается в получении резкой дифракционной картины, возникающей при отражении лазерного пучка от поверхности микрозеркал МЭМС дефлекторов. Полученная дифракционная картина фотографируется, а затем анализируется с помощью разработанного на кафедре физики СГУГиТ программного обеспечения в среде «Matlab». Методики компьютерной обработки изображения дифракционных картин подробно описаны в работах [7–10].

При измерении величины отклонения дифракционных максимумов отраженного пучка необходимо обеспечить линейный режим работы фото-приемной матрицы, когда на развертке интенсивности оптического сигнала не обрезается верхняя часть сигнала. Перемещение центра дифракционного максимума в плоскости изображения (на фотоприемной матрице) находится как разность координат максимума сигнала в начальном и конечном положениях на развертке интенсивности (рис 2. а, б). Угловая величина смещения $\Delta\varphi$ отраженного пучка находится через арктангенс отношения величины отклонения отраженного пучка к фокусному расстоянию объектива. На рис. 2 а, б представлены скриншоты горизонтальной развертки дифракционной картины в двух положениях, где величина углового отклонения лазерного пучка составляет $\Delta\varphi = 8'40''$.

Обсуждение

Максимально возможное регистрируемое с помощью данной видеокамеры значение смещения лазерного пучка вдоль горизонтальной строки изображения дифракционной картины составляет $2,1^\circ$ (от середины горизонтальной строки $1,05^\circ$).

Чувствительность комплекса при изменении величины силы тока в управляющей катушке составляет $40''/\text{мА}$.

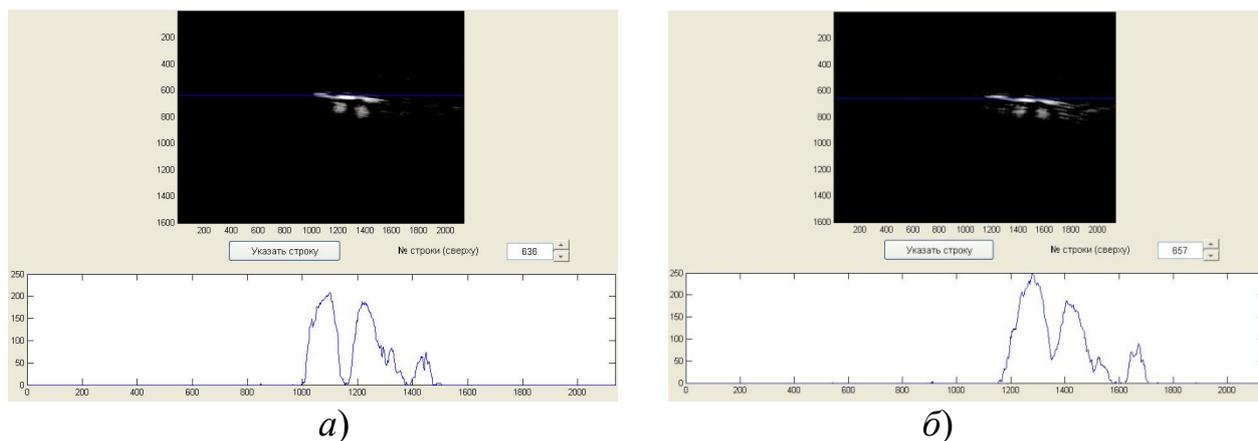


Рис. 2. Горизонтальное смещение дифракционной картины на матрице с графиками распределения интенсивности излучения по строке:

а) скриншот изображения дифракционной картины в начальном положении; б) скриншот изображения дифракционной картины при отклонении на угол $\Delta\varphi = 8'40''$

Заключение

При помощи представленного оптико-электронного комплекса авторами были проведены измерения динамических параметров МЭМС дефлекторов с заданными размерами отражающих элементов и диполей из различных ферромагнитных материалов, при этом точность измерения угла отклонения составила $\pm 10''$, погрешность измерений величины силы тока в управляющей катушке равна $\pm 0,1$ мА.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Чесноков, Д.В. Микромеханический дефлектор световых потоков // Оптический журнал. – 2007. – Т.74, № 4. – С.51–54.
2. Корнеев В.С. Микромеханическая управляемая дифракционная решетка с изменяемым углом блеска / В.С. Корнеев // Оптический журнал. – 2010. – Т.77. – №5. – С.69–71.
3. Корнеев В.С. Экспериментальное исследование крутильных колебаний полосок микромеханической управляемой дифракционной решетки / В.С. Корнеев // Вестник СГГА. – 2010. – Выпуск 1 (12). – С.117–122.
4. V. S. Korneyev, V. V. Chesnokov, D. V. Chesnokov. Micromechanical optical scanner for terahertz spectrum diapason // Key Engineering Materials. 2010. V.437. – P.291–295.
5. Корнеев В.С., Райхерт В.А., Кочкарев Д.В. Экспериментальное определение модуля упругости Юнга многослойной консольной микробалки // Сб. материалов Межд. научного конгресса «Гео-Сибирь-2011». – Т.5, ч.2. – Новосибирск: СГГА, 2011. – С. 132–135.
6. Корнеев В.С., Райхерт В.А. Анализ факторов, ограничивающих быстродействие МЭМС с электромагнитным управлением // Сб. материалов Межд. научного конгресса «Гео-Сибирь-2012» Т.5, ч.2. – Новосибирск: СГГА, 2012. – С. 58–61.
7. Чесноков В. В., Чесноков Д. В., Райхерт В. А., Корнеев В.С., Батомункуев Ю.Ц. Возможности применения компьютерных технологий в физическом практикуме по волновой оптике. Сборник трудов XIII Международной учебно-методической конф. под ред. Н.В. Калачева и М.Б. Шапочкина г. Новосибирск, 23–25 сентября 2014 г. Издательский дом Московского физического общества – С.153.

8. Корнеев В.С., Райхерт В. А. Цифровые технологии обработки оптических изображений в лабораторном практикуме по физике // Актуальные вопросы образования. – 2020. – Т. 1. – С. 185–190.

9. Корнеев В.С., Шергин С.Л. Измерительный стенд для экспериментальных исследований динамических параметров микро-электромеханических систем с электромагнитным управлением. // Приборы и техника эксперимента. – 2021. – № 4. – С. 154–155.

10. Корнеев В.С., Райхерт В.А, Шергин С.Л., Никулин Д.М. Компьютерная обработка изображений дифракционных картин в лабораторных работах по физике // Физическое образование в вузах. – 2019. – Т.25, №4. – С.31–38.

© В. С. Корнеев, С. Л. Шергин, 2022