

Спектральная линза для определения стресса растений

В.А. Бланк

*Институт систем обработки изображений - филиал
ФНИЦ «Кристаллография и фотоника» РАН
Самарский национальный исследовательский университет
им. академика С.П. Королева
Самара, Россия
veronika_b@ipsiras.ru*

Р.В. Скиданов

*Институт систем обработки изображений - филиал
ФНИЦ «Кристаллография и фотоника» РАН
Самарский национальный исследовательский университет
им. академика С.П. Королева
Самара, Россия
romans@ipsiras.ru*

Аннотация—Рассчитана и изготовлена спектральная дифракционная линза для вегетационного индекса для определения показателя содержания флавоноидов FRI (Flavonol Reflectance Index) в листьях растений. Спектральная дифракционная линза фокусирует три длины волны: 410 нм, 460 нм и 800 нм. Изготовление дифракционной линзы происходило методом прямой лазерной записи по фоторезисту. Высота сформированного микрорельефа составляла 4 мкм. На основе изготовленной спектральной линзы был собран лабораторный макет изображающего индексного сенсора.

Ключевые слова– дифракционная линза, спектральная линза, вегетационный индекс, гиперспектрометр.

1. ВВЕДЕНИЕ

Гиперспектральные изображения применяются при исследовании растительности, по гиперспектральным изображениям определяется состояние, состав и структура сельскохозяйственных культур. Также используются для контроля качества почвы, включая определение запасов влаги и ее плодородия [1].

Характерным признаком растительности и ее состояния является спектральная отражательная способность, характеризующаяся большими различиями в отражении излучения разных длин волн. Однако в большинстве случаев целевые параметры растительности определяются исходя из анализа 2-4 длин волн, когда для анализа используются так называемые спектральные вегетационные индексы [2-4]. Вегетационные индексы – это представленные в виде алгебраических выражений комбинации коэффициентов отражения, изучаемого объекта в нескольких узких спектральных диапазонах, которые отражают значения целевых характеристик исследуемого объекта (например, количества воды в растительном покрове). Т.е. из большого количества спектральных каналов (50-300), формируемых гиперспектрометром, реально используется менее 5%.

Однако более естественным путем, является разработка прибора предназначенного именно для регистрации вегетационных индексов.

Спектральные дифракционные линзы фокусируют в различных точках излучение заданных длин волн, соответствующих одному или нескольким спектральным индексам, могут быть использованы при создании простых и компактных сенсоров для мониторинга растительного покрова в режиме реального времени и для специализированных сельскохозяйственных машин [5,6]. В настоящей работе рассматривается СДЛ для определения показателя содержания флавоноидов (желто-оранжевых растительных пигментов), накопление которых является признаком угнетения растений и

замедления их роста, которое возникает в результате либо болезни растения либо нехватки воды, либо нехватки минеральных веществ в почве.

2. ИЗГОТОВЛЕНИЕ СПЕКТРАЛЬНОЙ ДИФРАКЦИОННОЙ ЛИНЗЫ И ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ

В статье [7] описаны вегетационные индексы, с помощью которых можно определять количество влаги и различных веществ, характеризующих состояние и динамику развития исследуемых растений. В нашей работе рассматривается СДЛ определения показателя содержания флавоноидов FRI (Flavonol Reflectance Index), такая линза рассчитана на три длины волны: 410 нм, 460 нм и 800 нм. Содержание флавоноидов рассчитывается по формуле:

$$FRI = C + \left(\frac{1}{\rho_{410}} - \frac{1}{\rho_{460}} \right) * \rho_{800}, C = 0,5 \div 0,7, \quad (1)$$

ρ – отражательная способность на определенной длине волны.

Для экспериментального исследования СДЛ для определения показателя содержания флавоноидов была изготовлена методом прямой лазерной записи на станции лазерной записи CLWS-2014 по фоторезисту ФП-3535 с толщиной 6 мкм, который был предварительно нанесен на кварцевую подложку методом центрифугирования. При этом высота формируемого микрорельефа составила около 4 мкм.

Диаметр линзы составил 8 мм, фокусное расстояние $f = 70$ мм. На рис. 1(а) показано изображение фазовой функции микрорельефа СДЛ для разделения длин волн 410 нм, 460 нм и 800 нм.

На рис. 1(б) представлено изображение участка микрорельефа, где хорошо видна тонкая структура СДЛ. Изображение было получено в оптическом микроскопе. На рис. 1(в) представлена профилограмма, полученная по линии симметрии линзы в профилометре Tencor.

На перестраиваемом лазере NT-242 было проверено точное расположение длин волн по порядкам на матрице. На рис. 2 представлены распределения интенсивностей, сформированных длин волн при помощи перестраиваемого лазера NT-242.

Как можно увидеть из рис. 2, в центре располагается длина волны 460 нм (рис. 2(б)), справа 410 нм (рис. 2(а)), а слева от 460 нм располагается 800 нм (рис. 2(в)). Таким образом, можно говорить о возможности формирования линзой изображений на длинах волн: 410 нм, 460 нм и 800 нм.

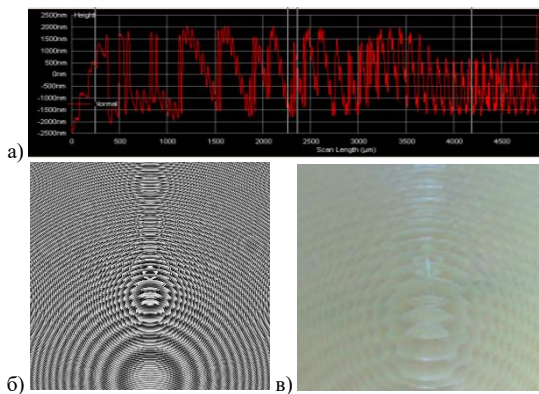


Рис. 1. Профилограмма СДЛ, полученная вдоль линии симметрии линзы в профилометре Тенсог (а), фазовая функция СДЛ (410 нм, 460 нм, 800 нм) (б), внешний вид центрального участка СДЛ с тонкой структурой под оптическим микроскопом (в)

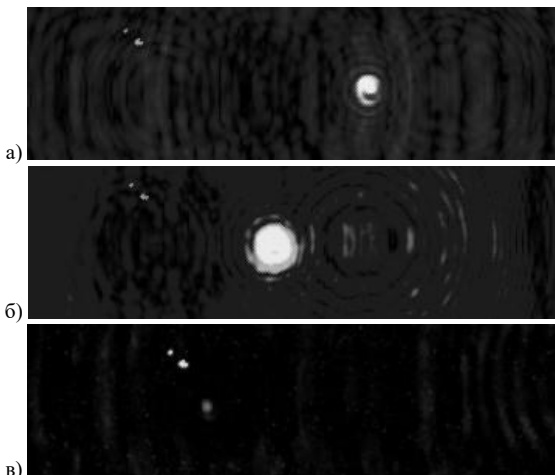


Рис.2. Порядки на матрице для линзы, формирующей изображения на длинах волн: а) 410 нм; б) 460 нм; в) 800 нм

Была использована экспериментальная установка со светонепроницаемым корпусом, которая представлена на рис. 3 (корпус снят), где 1 – объектив, 2 – щелевая диафрагма, 3 – спектральная дифракционная линза, 4 – камера Basler acA 1920-40um.

В эксперименте в качестве источника света использовалась мощная галогеновая лампа (1500 Вт), которая освещала объект. При помощи объектива 1 формировалось изображение объекта в плоскости щелевой диафрагмы 2 шириной 200 мкм, после чего СДЛ 3 формировала спектральное изображение на светочувствительной матрице камеры Basler acA 1920-40um 4.

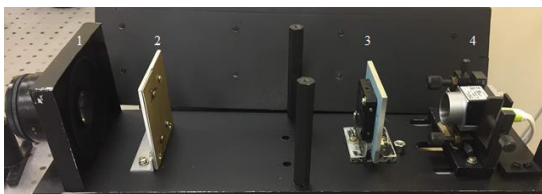


Рис. 3. Экспериментальная установка

На рис. 4 представлено спектральное распределение, полученное экспериментальной установкой. На этом изображении видно три полосы, которые соответствуют трем исследуемым длинам волн: 410 нм, 460 нм и 800 нм. Интенсивности набора таких спектральных

распределений будут использоваться для расчета содержания флавоноидов по формуле (1).

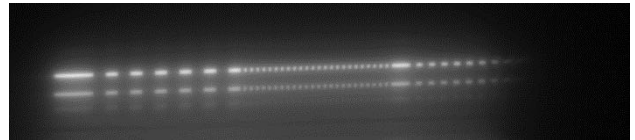


Рис.4. Спектральные распределения для длины волны: 460 нм в центре; 410 нм сверху; 800 нм снизу

3. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В работе рассмотрена спектральная дифракционная линза для определения показателя содержания флавоноидов (желто-оранжевых растительных пигментов), накопление которых является признаком угнетения растений и замедления их роста. На основе СДЛ собралась лабораторная установка для проведения экспериментов. В результате первых экспериментов получено спектральное распределение по длинам волн 410 нм, 460 нм и 800 нм, что подтверждает работоспособность такой линзы. В дальнейших экспериментах будут получены изображения на рассчитанных длинах волн и определен показатель содержания флавоноидов.

БЛАГОДАРНОСТИ

Работа выполнена при поддержке гранта РФФ № 20-69-47110 и в рамках выполнения государственного задания ФНИЦ «Кристаллография и фотоника» РАН

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Gold, K.M. Hyperspectral measurements enable pre-symptomatic detection and differentiation of contrasting physiological effects of late blight and early blight in potato / K.M. Gold, P.A. Townsend, A. Chlus, I. Herrmann, J.J. Couture, E.R. Larson, A.J. Gevens // Remote Sens. – 2020. – Vol. 12(2). – P. 286. DOI: 10.3390/rs12020286.
- [2] Zheng, Q. Identification of Wheat Yellow Rust Using Optimal Three-Band Spectral Indices in Different Growth Stages / Q. Zheng, W. Huang, X. Cui, Y. Dong, Y. Shi, H. Ma, L. Liu // Sensors. – 2018. – Vol. 19(1). – P. 35. DOI: 10.3390/s19010035.
- [3] Shirzadifar, A. Development of spectral indices for identifying glyphosate-resistant weeds / A. Shirzadifar, S. Bajwa, J. Nowatzki, J. Shojaeiarani // Comput. Electron. Agric. – 2020. – Vol. 170. – P. 105276.
- [4] Blank, V. Spectral Diffractive Lenses for Measuring a Modified Red Edge Simple Ratio Index and aWater Band Index / V. Blank, R. Skidanov, L. Doskolovich, N. Kazanskiy //Sensors. – 2021. – Vol. 21(22). – P. 7694. DOI: 10.3390/s21227694.
- [5] Бабичев, А.Н. Система управления широкозахватной дождевальной машины кругового действия для прецизионного орошения / А.Н. Бабичев, В.А. Монастырский, В.Иг. Ольгаренко, Р.В. Скиданов, В.В. Подлипов // Пути повышения эффективности орошаемого земледелия. – 2019. – Т. 1, № 73. – С. 195-199.
- [6] Подлипов, В.В. Экспериментальное определение влажности почвы по гиперспектральным изображениям / В.В. Подлипов, В.Н. Щедрин, А.Н. Бабичев, С.М. Васильев, В.А. Бланк // Компьютерная оптика. – 2018. – Т. 42, № 5. – С. 877-884. DOI: 10.18287/2412-6179-2017-42-5-877-884.
- [7] Саворский, В.П. Возможности анализа гиперспектральных индексов в информационных системах дистанционного мониторинга семейства «Созвездие-Вега» / В.П. Саворский, А.В. Кашницкий, А.М. Константинова, И.В. Балашов, Ю.С. Крашенинникова, В.А. Толпин, С.М. Маклаков, Е.В. Савченко // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. – 2016. – Т.13, № 3. – С. 28-45.