

# СБОРКА СХЕМЫ ЗАПИСИ ГОЛОГРАФИЧЕСКОЙ ДИФРАКЦИОННОЙ РЕШЕТКИ ДЛЯ РАМАНОВСКОГО СПЕКТРОГРАФА

*И. И. Ахметшина*

АО «НПО ГИПО», г. Казань,  
ФГБОУ ВПО «Казанский национальный исследовательский технический университет  
им. А. Н. Туполева – КАИ», г. Казань

Открытый в 1928 году метод спектроскопии комбинационного рассеяния света (в зарубежной литературе его называют «Рамановская спектроскопия» – Raman spectroscopy) нашел широкое применение в различных областях науки и промышленности. Его суть состоит в облучении образца монохроматическим пучком света (обычно от лазера) и регистрации спектра рассеянного образцом излучения, который, кроме пика на частоте падающего излучения (Рэлеевского максимума), содержит менее интенсивные пики на меньших (стоксовы компоненты) и больших (антистоксовы компоненты) частотах. Спектроскопия Рамановского рассеяния используется для химического анализа и изучения состава. Особенности комбинационного рассеяния света (КРС) являются неразрушающий характер анализа, получение как количественной, так и качественной информации об образце, спектроскопия КРС работает на длинах волн от ультрафиолетовой (УФ) до инфракрасной (ИК) – области.

Спектроскопия КРС применяется в:

- медицине – для анализа взаимодействия медицинских препаратов с живыми клетками; выявления ранних стадий раковых заболеваний; диагностики атеросклероза, воспалительных заболеваний различных тканей и органов и т. д.;
- биологии – для классификации различных клеток и микроорганизмов, анализа внутриклеточной структуры;
- фармацевтике – для контроля качества исходного сырья, анализа отдельных стадий производственного процесса (смешивания компонент, сушки, покрытия оболочкой и т. д.), сертификации конечной продукции;
- химической промышленности – для контроля состава входного сырья и готовой продукции, контроля отдельных этапов производства, выявления источников загрязнений в производственном процессе, прогноза температур полимеризации и стеклования и т. п.;
- полупроводниковой промышленности – для контроля изменений кристаллической структуры кремниевых компонент, анализа загрязнений, а также для контроля механических напряжений в полупроводниковых пластинах и готовых изделиях;
- пищевой промышленности – для анализа жирных кислот в маслах; обнаружения загрязнений и опасных микроорганизмов в сырье и готовой продукции; анализа содержания сельскохозяйственных ядохимикатов и других нежелательных компонент в сырье и т. д.;
- геологии и минералогии – для точной идентификации различных минералов и включений в них, анализа их происхождения (в том числе – драгоценных и полудрагоценных камней);
- фундаментальной химии – для анализа химических связей в молекулах, отработки лабораторных технологий синтеза различных соединений;
- физике и материаловедении – для изучения фононных спектров массивных и наноструктурных материалов;
- криминалистике – для анализа различных тканей и пятен на них; идентификации взрывчатых и наркотических веществ; определения состава различных жидкостей, мелких частиц и т. д.
- экологии – для обнаружения и идентификации загрязнителей в воде и почве [1].

Рамановские спектрометры строятся на основе различных оптических схем. Например, Рамановская система ОРТЕС-785-Н включают в себя спектрометр QE65000, построенный по схеме Черни–Тернер. Данный спектрометр имеет рабочий спектральный диапазон  $100 - 2700 \text{ см}^{-1}$ , спектральное разрешение составляет (по уровню 0,5 от максимума) составляет 7 нм, а Рамановское –

$120 \text{ см}^{-1}$ . Однако высокая стоимость аппаратуры (1,1 млн. руб.) не позволяет использовать ее в массовом применении [2]. В связи с этим появляется задача разработки Рамановского спектрографа с приемлемыми оптическими характеристиками, при этом его ценовая стоимость не должна превышать аналоги.

При проектировании оптической схемы Рамановского спектрографа необходимо учитывать следующие параметры:

1. рабочий спектральный диапазон;
2. спектральное разрешение;
3. абберационные характеристики;
4. конструктивные параметры;
5. стоимость.

Для решения поставленной задачи разработана оптическая схема спектрографа, показанная на рис. 1.

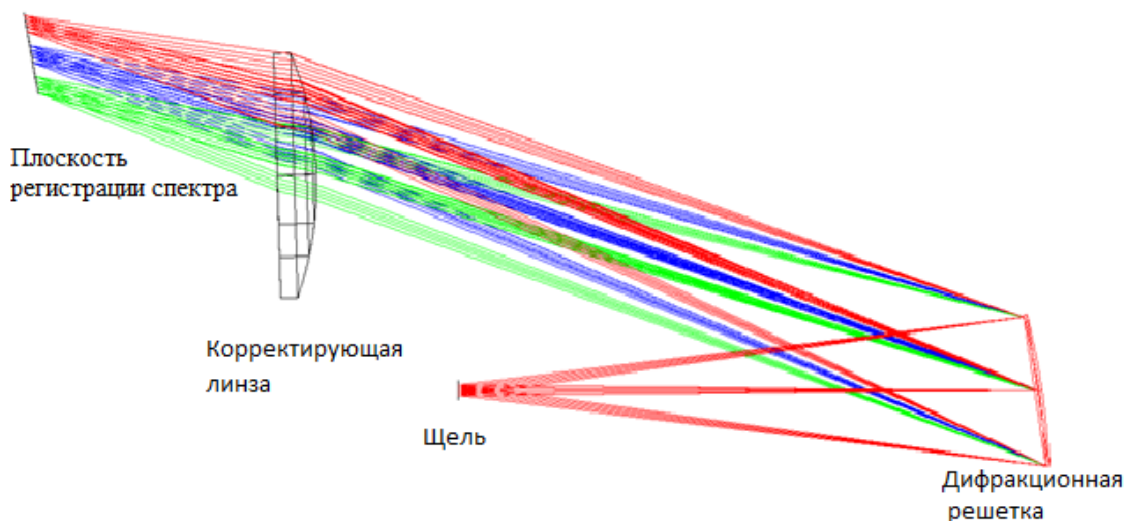


Рис. 1. Оптическая схема спектрографа

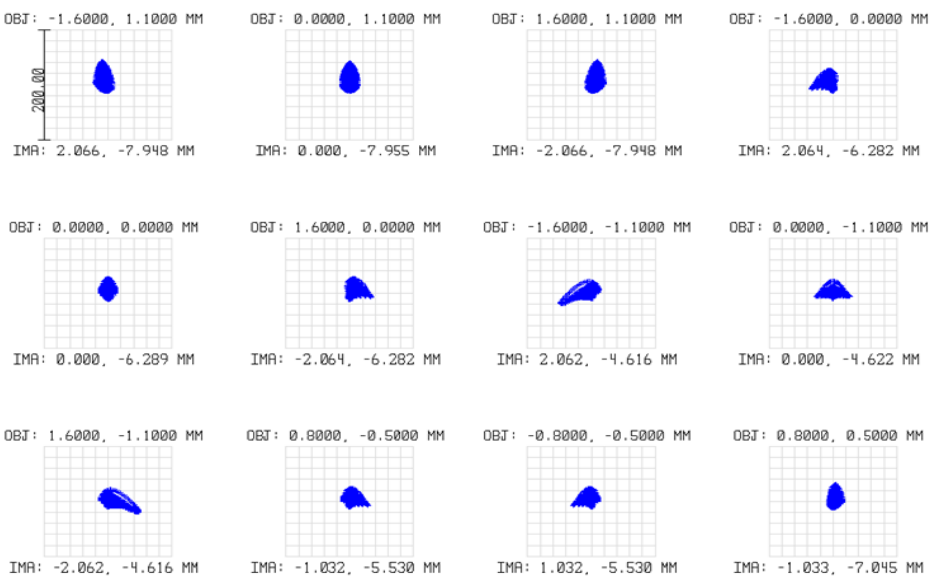
Основными элементами в представленной оптической схеме являются дифракционная решетка (ДР) 1 поколения и корректирующая линза. Дифракционная решетка 1 поколения – решетка, записанная с помощью двух точечных когерентных источников излучения [3]. Такая дифракционная решетка успешно производится в АО «НПО ГИПО» при помощи лазера «Verdi V12» с длиной волны 532 нм. Конструктивные параметры ДР представлены в табл. 1.

Таблица 1

*Конструктивные параметры дифракционной решетки*

Световой диаметр	30,5 мм
Частота штрихов в вершине	719,22 штр/мм
Тип	голограммная отражательная решетка 1 поколения
Параметры технологичности	Длина плеча в схеме записи – более 140 мм, апертура записывающих пучков – менее 1:4,6

Для того, чтобы записать голограммную ДР 1 поколения, необходимо при помощи системы, включающей микрообъектив и точечную диафрагму (пинхол), сформировать расходящийся пучок. Функция пинхола: фильтрация лазерного излучения и устранение рассеяния от объектива. Далее, пучок света проходит через светоделитель и плоские зеркала. Затем, сходится для создания интерференционной картины. Некоторые параметры схемы записи представлены в табл. 1. Качество изображения, обеспечиваемое полученной дифракционной решеткой, характеризуется точечными диаграммами (рис. 2, 3).



SURFACE: IMA

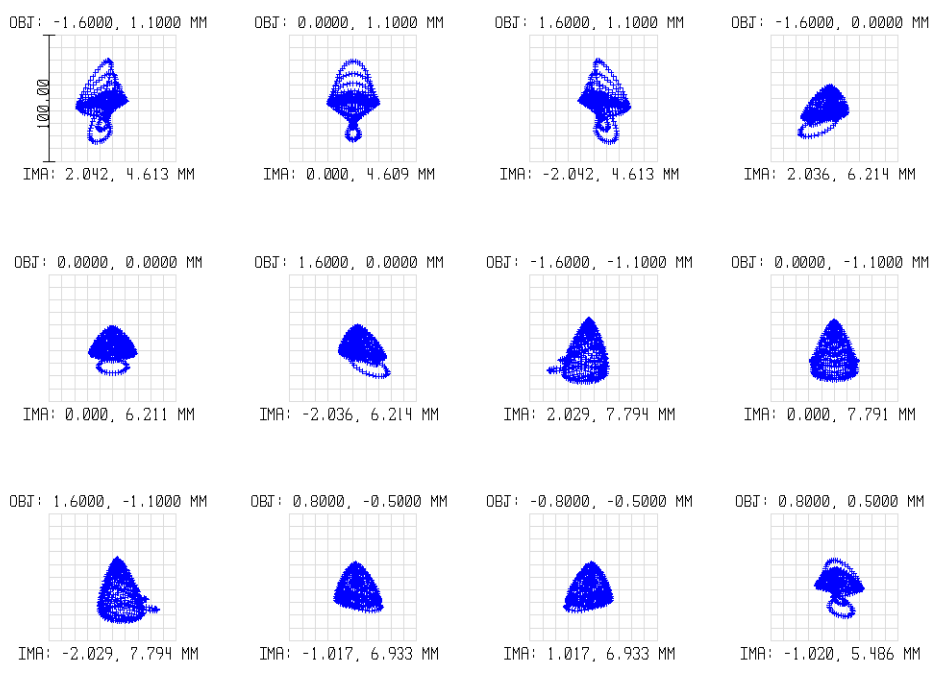
SPOT DIAGRAM

SUN MAR 27 2016 UNITS ARE  $\mu m$ .

FIELD	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
RMS RADIUS :	20.363	10.686	20.363	15.848	12.263	15.848	16.910	12.095	16.910	12.335	12.335	15.429
GE0 RADIUS :	42.766	39.164	42.766	39.105	25.880	39.105	51.499	27.054	51.499	29.256	29.256	31.266
SCALE BAR :	200											

CARS.ZMX  
CONFIGURATION 2 OF 3

Рис. 2. Точечная диаграмма голограммной дифракционной решетки ( $\lambda = 0,815$  мкм)



SURFACE: IMA

SPOT DIAGRAM

SUN MAR 27 2016 UNITS ARE  $\mu m$ .

FIELD	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
RMS RADIUS :	16.432	15.415	16.432	16.237	14.504	16.237	22.206	20.303	22.206	17.074	17.074	14.234
GE0 RADIUS :	37.395	32.915	37.395	39.233	27.776	39.233	43.523	33.338	43.523	32.571	32.571	32.561
SCALE BAR :	100											

CARS.ZMX  
CONFIGURATION 3 OF 3

Рис. 3. Точечная диаграмма голограммной дифракционной решетки ( $\lambda = 0,915$  мкм)

Как видно из точечных диаграмм, изображение имеет хорошее качество на длине волны 0,815 мкм, однако при  $\lambda = 0,915$  мкм качество изображения начинает ухудшаться. На рис. 4 представлена аппаратная функция спектрографа.

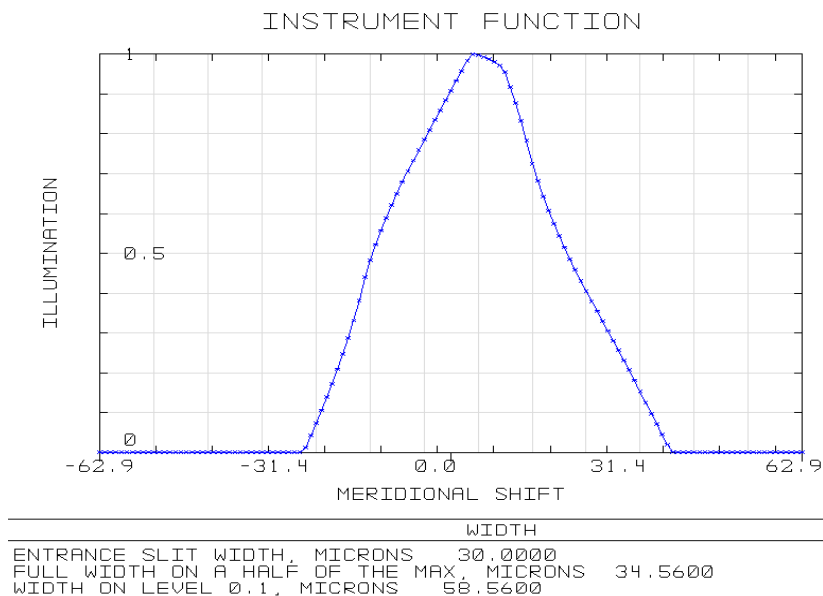


Рис. 4. Аппаратная функция спектрографа

При сборке спектрографа для сохранения необходимых оптических характеристик (максимальное повышение геометрических aberrаций допустимо на 10 %) предъявляются следующие требования к точности изготовления и сборки (табл. 2).

Таблица 2

*Требования к точности изготовления и сборки*

Поверхность	Решетка	1-я поверхн. линзы	2-я поверхн. линзы	Фотоприемник
Параметр				
Радиус кривизны (общая ошибка)	1 инт. кольцо	3 инт. кольца	5 инт. колец	–
Радиус кривизны (местная ошибка)	0,3 инт. кольца	0,3 инт. кольца	0,5 инт. кольца	–
Расстояние перед поверхностью	0,04 мм	0,04 мм	0,05 мм	0,02 мм
Разворот отн. X	0,1°	0,03°		0,1°
Децентрировка по Y	0,05 мм	0,05 мм	–	0,1 мм
Параметры записи	di1 = 1,3' di2 = 1,2' dd1 = 0,035 мм dd2 = 0,023 мм	–	–	–
Параметры материала	–	dn = 0,0001 dv = 2	–	–

\*di – допуск на угловую координату источника записи, dd – допуск на линейную координату.

Полученный спектрограф для Рамановской спектроскопии имеет хорошие оптические характеристики, минимальное количество оптических элементов и, как следствие, небольшую общую стоимость. Среди недостатков можно указать увеличение значений aberrаций с ростом высоты щели, а также небольшое (около 15 %) изменение линейного увеличения по полю зрения. АО «НПО ГИПО» имеет все необходимые средства и оборудование для разработки и создания Рамановских спектрографов.

## Список литературы

1. <http://emicroscope.ru/microscopes/microanaliz/raman.html>
2. [http://ecmoptec.ru/material/materials\\_id/4](http://ecmoptec.ru/material/materials_id/4)
3. [http://optics.sgu.ru/~ulianov/Students/Books/Applied\\_Optics/E.%20Loewen%20Diffraction%20Grating%20Handbook%20\(2005\).pdf](http://optics.sgu.ru/~ulianov/Students/Books/Applied_Optics/E.%20Loewen%20Diffraction%20Grating%20Handbook%20(2005).pdf)