

# ПРИНЦИП ПОСТРОЕНИЯ ИЗМЕРИТЕЛЯ МАЛЫХ КОНЦЕНТРАЦИЙ НАНОЧАСТИЦ В ГАЗООБРАЗНЫХ И ЖИДКИХ СРЕДАХ НА ОСНОВЕ АНАЛИЗА РАССЕЯНИЯ ЛАЗЕРНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ

И.С. Мануйлович\*, В.А. Сверчков, И.И. Савельев, О.В. Сидорюк\*

*Московский государственный институт электроники и математики,*

*\*ФГУП НИИ "Полюс" им. Стельмаха*

E-mail: [vovan\\_18-12@mail.ru](mailto:vovan_18-12@mail.ru), [i.saveliev@gmail.com](mailto:i.saveliev@gmail.com)

In the present work the principle of construction of portable installation for measurement of concentration of impurity (from 50 nanometers to 5 microns) in gaseous and liquid environments is described workings out. The principle on which measurement is based is described. To be resulted a basic circuitry of the instrument and the scope of the given device is described.

В производстве современных высокотехнологичных приборов, особенно вакуумных, остро встаёт вопрос чистоты сборки изделий. Даже незначительные загрязнения внутренних объёмов и рабочих поверхностей деталей и узлов могут приводить к снижению технических характеристик приборов, уменьшению срока их эксплуатации. Производство таких приборов необходимо производить в очень чистых, очищенных от мельчайшей пыли, помещениях с использованием в технологическом процессе особо чистых жидкостей. В настоящее время существует ряд установок для очистки воздуха и жидкостей. Общим их недостатком является отсутствие встроенных средств контроля очищаемых сред. Существует довольно много устройств для контроля микрочастиц в воздухе размером 0.5 мкм и более. Современные потребности приборостроения и нанoeлектроники диктуют более высокие требования. В настоящее время созданы уникальные оптические установки, позволяющие регистрировать частицы до 1 нм [1-3]. Однако их высокая стоимость и конструктивные особенности не позволяют применить их в производственном цикле. В настоящей работе поставлена задача разработки принципа построения портативной установки для измерения концентрации частиц (от 50 нм до 5 мкм) в газообразных и жидких средах.

Предлагаемый принцип контроля микрочастиц основан на регистрации рассеяния света микрочастицами при прохождении через исследуемую среду луча лазерного излучения. Существенно, что численная зависимость между размером частицы и амплитудой рассеянного лазерного излучения может быть установлена на основании теории Ми [4]. Формула для объемного коэффициента аэрозольного рассеяния отдельной частицей дает:

$$\sigma_r = \pi r^2 K(\rho, m) \quad ,$$

где

$r$  – радиус частицы,

$K(\rho, m)$  – функция рассеяния, зависящая от параметра  $\rho$  ( $\rho = \frac{2\pi r}{\lambda}$ ) и комплексного показателя преломления частицы  $m$ .

Ее характерный график представлен на рис.1 и может быть использован при количественных оценках в анализе экспериментальных результатов исследований рассеяния света.

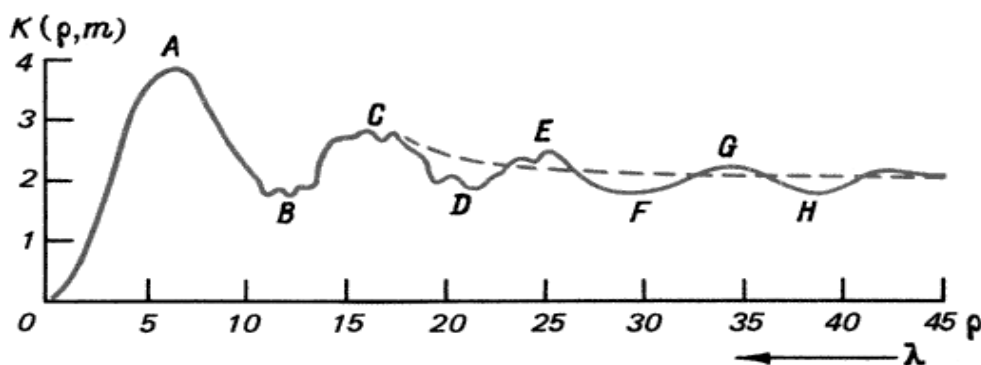
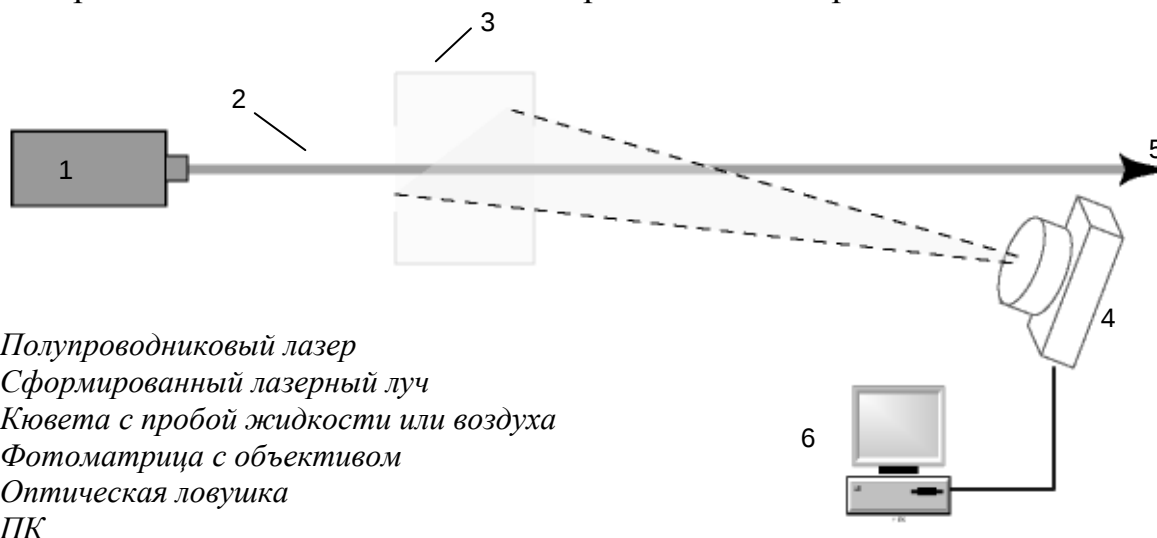


Рис.1

Такой подход положен в основу большинства современных приборов контроля микрочастиц, работающих на принципе анализа рассеяния света. Их общими конструктивными особенностями являются полупроводниковый лазер (источника излучения) и фотодиод (приемника рассеянного излучения), установленные в оптической кювете, через которую микронаносом прокачивают пробы исследуемого газа или жидкости. Определенным недостатком при этом оказывается достаточно большое время, необходимое для сбора экспериментальных данных, поскольку контролю в каждый отдельный момент времени подвергается лишь небольшой объем, через который последовательно проходит исследуемое вещество. а также и то, что фиксируется только суммарное светорассеяние.

Для повышения оперативности контроля в настоящей работе рассмотрена конструкция датчика микрочастиц с расширенной зоной контроля в результате применения многоэлементного оптического датчика - матричного фотоприемника CCD цифровой видеокамеры.

Принципиальная схема датчика представлена на рис.2.



1. Полупроводниковый лазер
2. Сформированный лазерный луч
3. Кювета с пробой жидкости или воздуха
4. Фотоматрица с объективом
5. Оптическая ловушка
6. ПК

Рис. 2.

Лазерный луч (2) полупроводникового лазера (1) просвечивает прозрачную кювету с исследуемой средой (3) в которой могут содержаться частицы загрязнения. Рассеянное на частицах излучение фиксируется фотоматрицей (4), расположенной под малым углом к лазерному лучу. Полученное изображение с камеры передаётся на ПК для дальнейшей обработки. Производится измерение индикатрис рассеяния на частицах под малыми углами. Последующая математическая обработка полученного светового рельефа на основе теории Ми (размеры и яркость пятен) даст результат о количестве частиц различного размера, представляемый в виде диаграммы.

В ходе замера на фотоматрице будет изображение, представляющее собой россыпь дискретных (если концентрация примесей не превышает допустимую) объектов различного размера. Для малых частиц из-за дифракции их изображение на фотоматрице будет в виде точки фиксированного размера независимо от размера самой частицы. От размера частицы будет зависеть интенсивность рассеянного излучения. Проведя выделение отдельных объектов на полученном изображении и измерив суммарную засветку каждого пятна по интенсивности засветки, зная чувствительность фотоматрицы, можно установить величину светового потока, которых отражается от малой частицы. По величине этого потока по указанной формуле находится радиус частицы.

Данный метод интересен благодаря своей наглядности – установка на только выдаёт информацию о концентрации частичек разного размера, но и позволяет увидеть на фотоснимке образца частички загрязнений. Кроме того, конструктивно прибор достаточно прост и может быть сравнительно дешёв.

1. <http://www.retsch-technology.ru/ru/rt/products/rassejanie-lazernogo-sveta/la-950/function-features/>
2. <http://www.mtrus.com/lab/research/rtsys/technology/>
3. [http://www.malvern.com/processrus/systems/laser\\_diffraction/technology/technology.htm](http://www.malvern.com/processrus/systems/laser_diffraction/technology/technology.htm).
4. Г. Ванн де Хюлст. Рассеяние света малыми частицами. М 1961.