

Министерство образования и науки Российской Федерации  
Федеральное государственное бюджетное образовательное  
учреждение  
высшего профессионального образования  
«Томский государственный университет систем управления и  
радиоэлектроники»

Кафедра электронных приборов

## **ИССЛЕДОВАНИЕ СОСТАВА ОСТАТОЧНОЙ АТМОСФЕРЫ В ОТПАЯННОМ ПРИБОРЕ С ПОМОЩЬЮ ОМЕГАТРОННОГО МАСС- СПЕКТРОМЕТРА**

Руководство к лабораторной работе  
для студентов направления  
200700.62 -«Фотоника и оптоинформатика»

2013

543.271

О-662

УДК 543.271.08(076.5)

**Орликов, Леонид Николаевич.**

Исследование состава остаточной атмосферы в отпаянном приборе с помощью омегатронного масс-спектрометра = Технология приборов оптической электроники и фотоники: руководство к лабораторной работе для студентов направления 200700.62 - «Фотоника и оптоинформатика» / Л. Н. Орликов; Министерство образования и науки Российской Федерации, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники, Кафедра электронных приборов. - Томск: ТУСУР, 2013. - 20 с.

Целью данной работы является ознакомление с принципом работы омегатронного измерителя парциальных давлений, освоение методики определения состава и парциальных давлений остаточных газов в условиях вакуума.

В ходе выполнения работы у студентов формируются:

- способность выполнять работы по технологической подготовке производства материалов и изделий электронной техники (ПК-14);
- способность аргументировано выбирать и реализовывать на практике эффективную методику экспериментального исследования параметров и характеристик приборов, схем, устройств и установок электроники и нанoeлектроники различного функционального назначения (ПК-20);
- готовность анализировать и систематизировать результаты исследований, представлять материалы в виде научных отчетов, публикаций, презентаций (ПК-21);
- способность выполнять задания в области сертификации технических средств, систем, процессов, оборудования и материалов (ПК-25).

Пособие предназначено для студентов очной и заочной форм, обучающихся по направлению «Фотоника и оптоинформатика» по дисциплине «Технология приборов оптической электроники и фотоники».

© Орликов Леонид Николаевич, 2013

Министерство образования и науки Российской Федерации  
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего профессионального образования  
«Томский государственный университет систем управления и  
радиоэлектроники»

Кафедра электронных приборов

УТВЕРЖДАЮ  
Зав. кафедрой ЭП  
\_\_\_\_\_ С.М. Шандаров  
«\_\_\_» \_\_\_\_\_ 2013 г.

ИССЛЕДОВАНИЕ СОСТАВА ОСТАТОЧНОЙ АТМОСФЕРЫ  
В ОТПАЯННОМ ПРИБОРЕ С ПОМОЩЬЮ ОМЕГАТРОННОГО  
МАСС-СПЕКТРОМЕТРА

Руководство к лабораторной работе  
для студентов направления  
200700.62 -«Фотоника и оптоинформатика»

Разработчик

д-р техн. наук, проф. каф. ЭП  
\_\_\_\_\_ Л.Н. Орликов  
\_\_\_\_\_ 2013 г

2013

## Содержание

1	Введение.....	5
2	Теоретическая часть .....	5
2.1	Основные параметры газоанализаторов.....	5
2.2.	Масс-спектр и его расшифровка.....	6
2.3	Омегатронный масс-спектрометр.....	8
2.4	Контрольные вопросы .....	11
3	Экспериментальная часть .....	12
3.1	Оборудование .....	12
3.2	Задание.....	14
3.3	Порядок выполнения работы и методические указания .....	14
3.4	Содержание отчета .....	17
	Список литературы .....	17
	Приложение Спектральные характеристики некоторых газов и паров .....	18

## **1 Введение**

При проведении научных исследований и оптимизации вакуумных технологических процессов требуется измерять не только общие, но и парциальные давления остаточных газов. Для выявления парциального состава газа служат газоанализаторы. По принципу действия почти все применяемые высоковакуумные газоанализаторы – масс-спектрометрические. В приборах этого типа анализируемый газ ионизируется. Образовавшиеся положительные ионы разделяются по характерному для каждого из них массовому числу - отношению массы иона к его заряду. Для однозарядных ионов массовые числа совпадают с их молекулярными массами. После разделения ионы поступают на коллектор и дают в его цепи ток, пропорциональный давлению соответствующей компоненты газовой смеси, что и позволяет проводить как качественный, так и количественный анализ остаточной атмосферы в объеме прибора или вакуумной установки.

Целью данной работы является ознакомление с принципом работы омегатронного измерителя парциальных давлений, освоение методики определения состава и парциальных давлений остаточных газов в условиях вакуума.

В ходе выполнения работы у студентов формируются:

- способность выполнять работы по технологической подготовке производства материалов и изделий электронной техники (ПК-14);
- способность аргументировано выбирать и реализовывать на практике эффективную методику экспериментального исследования параметров и характеристик приборов, схем, устройств и установок электроники и нанoeлектроники различного функционального назначения (ПК-20);
- готовность анализировать и систематизировать результаты исследований, представлять материалы в виде научных отчетов, публикаций, презентаций (ПК-21);
- способность выполнять задания в области сертификации технических средств, систем, процессов, оборудования и материалов (ПК-25).

## **2 Теоретическая часть**

### **2.1 Основные параметры газоанализаторов**

Газоанализаторы характеризуются рядом параметров, в число которых входят:

- 1) разрешающая способность;
- 2) чувствительность;
- 3) диапазон анализируемых масс;

- 4) порог чувствительности;
- 5) максимальное рабочее давление.

Разрешающая способность представляет собой отношение массового числа  $M_i$  к наименьшему различаемому изменению массового числа

$$\rho = \frac{M_i}{\Delta M_i} \quad (2.1)$$

где  $\rho$  – разрешающая способность;

$M_i$  – массовое число, которое представляет собой отношение массы иона к его заряду ( $M_i = V/l$ ).

Экспериментально разрешающая способность определяется по масс-спектру. Ширина пика  $\Delta M_i$  измеряется на уровне 10 % высоты пика.

Чувствительность - это отношение изменения ионного тока в цепи коллектора к вызывающему его изменению парциального давления газа. Чувствительность зависит от рода газа.

Диапазон анализируемых масс для большинства масс-спектрометров применяемых для вакуумных измерений, лежит в пределах от 2 до 50-100.

Порог чувствительности - минимально определяемое парциальное давление газа при существующем отношении "сигнал-шум". За начало регистрации можно принимать сигнал, вдвое превышающий шум.

Максимальное рабочее давление определяется отклонением от линейной зависимости между ионным током и соответствующим ему парциальным давлением вследствие рассеивания ионов в анализаторе. Предельно допустимой величиной такого отклонения считается 10 %.

## 2.2. Масс-спектр и его расшифровка

Для получения масс-спектра анализируемого газа анализатор масс-спектрометра поочередно настраивают на ионы с различными массовыми числами и регистрируют их прохождение через коллектор в виде последовательного ряда пиков. Развертка масс-спектра в анализаторах осуществляется изменением параметров полей или энергии ионов в преобразователе. Типичный масс-спектр остаточных газов приведен на рис.2.1.

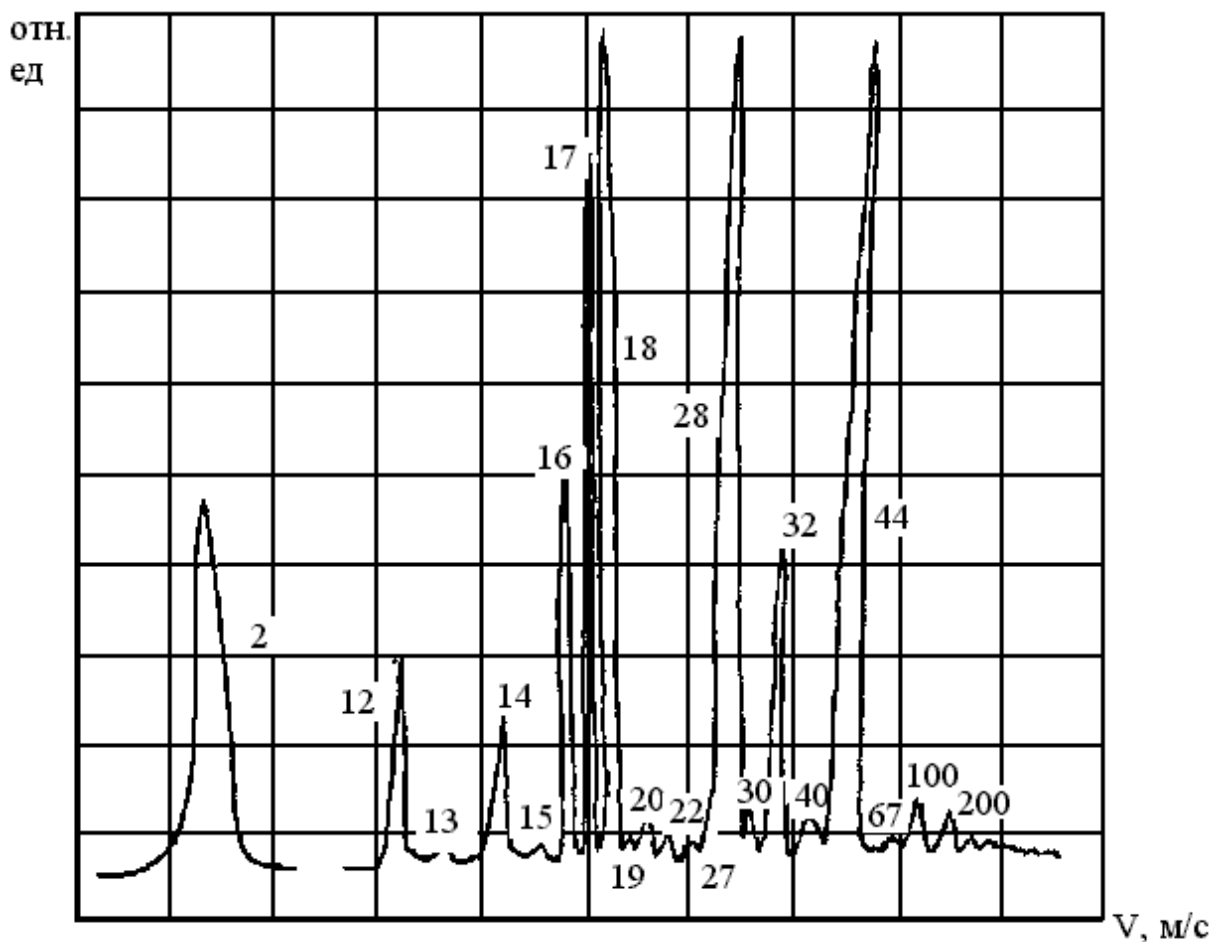


Рисунок 2.1 - Масс-спектр остаточных газов

В омега-тронном масс-спектрометре пики ионов определенных массовых чисел выделяются над уровнем небольшого флюктуационного фонового тока. Фоновый ток имеет место из-за многих причин (рассеяние ионов в камере анализатора, недостаточная фокусировка электронного и ионного потоков, нестабильности питания, наводки и шумы в усилительном тракте). При наличии фона отсчет величины пика производится от среднего уровня фона.

При расшифровке спектра масс необходимо учитывать следующие обстоятельства:

1) в спектрах доминируют однозарядные ионы, наряду с ними имеются и двухзарядные, массовые числа которых вдвое меньше их молекулярной массы (например,  $\text{Ar}^+$  и  $\text{Ar}^{++}$ );

2) компоненты, состоящие из нескольких изотопов, дают соответственно пики отдельных изотопов в их количественном соотношении;

3) при ионизации молекул под действием электронного луча и накаливаемого катода происходит частичная диссоциация сложных молекул на более простые составляющие, которые дают в спектре соответствующие пики ионов (например, в спектре углекислого газа  $\text{CO}_2$  имеются пики

$CO_2^+$ ,  $CO^+$ ,  $C^+$ ,  $O^+$  и  $O_2^+$ ; а в спектре метана  $CH_4-CH_4^+$ ,  $CH_3^+$ ,  $CH_2^+$ ,  $CH^+$ ,  $C^+$ );

4) в ряде случаев различным веществам соответствуют пики с одним и тем же массовым числом (например, массовое число 28 соответствует азоту и окиси углерода);

5) спектры органических соединений характеризуются большим числом осколочных пиков, по которым только приближенно можно составить представление об исходном анализируемом продукте;

б) присутствие кислорода для высоковакуумных герметичных систем не характерно, т.к. кислород дает преимущественно соединения  $CO$  и  $CO_2$ .

Идентифицировать вещества можно только с учетом характерного наличия дополнительных сопутствующих пиков, поскольку в масс-спектрах всех соединений при неизменной энергии ионизирующих электронов соотношение пиков примерно постоянно и практически не зависит от типа масс-спектрометра. В приложении приведены ориентировочные спектральные характеристики некоторых газов и паров, наиболее часто применяемых в вакуумной технике.

При количественной оценке парциальных давлений необходимо учитывать зависимость чувствительности масс-спектрометра от рода газа. Эта зависимость  $\beta i$  учитывается введением коэффициента относительной чувствительности, значения которого приведены в табл.2.1. Там же для сравнения приведены значения  $\beta i$  - для ионизационного манометрического преобразователя ПМИ-2.

Таблица 2.1 - Относительная чувствительность приборов для измерения парциальных давлений

Прибор	Газ											
	N <sub>2</sub>	H <sub>2</sub>	He	Ne	Ar	Kr	CH <sub>4</sub>	CO	CO <sub>2</sub>	H <sub>2</sub> O	C <sub>2</sub> H <sub>5</sub>	C <sub>2</sub> H <sub>4</sub>
Омега-га-трон	1,00	0,47	0,18	0,25	1,31	1,98	1,26	1,07	1,27	0,65	1,95	1,04
Ионизационный преобразователь ПМИ-2	1,00	0,43	0,16	0,27	1,29	-	1,52	1,02	-	-	-	-

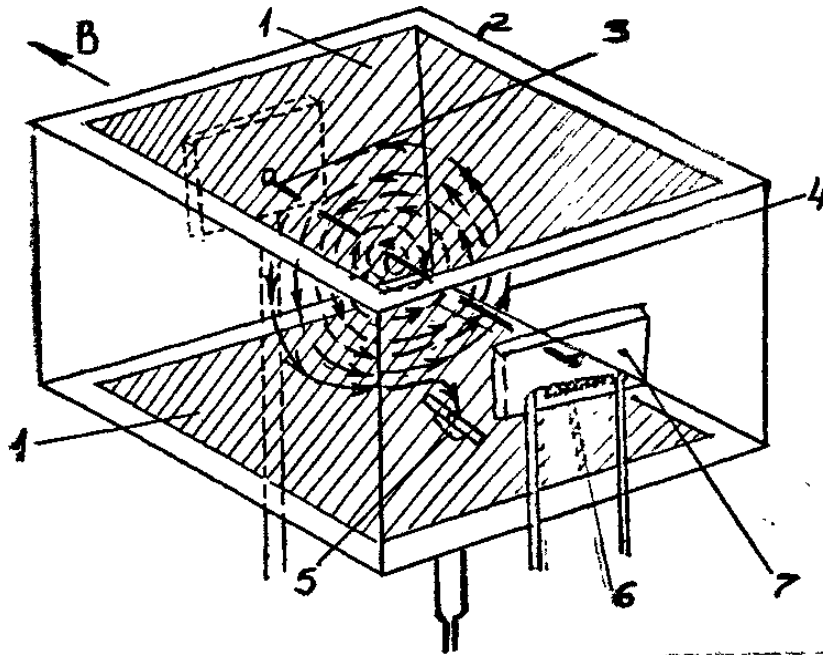
### 2.3 Омегатронный масс-спектрометр

В практике вакуумных измерений широкое применение находит измеритель парциальных давлений омегатронного типа (ИДДО), относящийся к динамическим резонансным радиочастотным масс-



спектрометрам.

В датчике резонансного радиочастотного масс-спектрометра (омегатроне), схема устройства которого приведена на рис. 2.2, используется разделение ионов газа по массовым числам во взаимно перпендикулярных высокочастотном электрическом и постоянном магнитном полях.



1 - высокочастотные электроды; 2 – улавливающие пластины (корпус); 3 – электронный луч; 4 - траектория резонансных ионов; 5 - коллектор ионов; 6 - термокатод (вольфрамовый); 7 - ускоряющей электрод (диафрагма).

Рисунок 2.2 – Схема устройства омегатрона

Ионизация газа происходит в тонком электронном луче, направленном от термокатада 6 через три соосных сквозных отверстия в улавливающих пластинах 2 и диафрагме 7 на коллектор электронов. Образовавшиеся ионы под воздействием высокочастотного электрического поля  $E_0$ , приложенного к пластинам 1, и постоянного магнитного поля  $B$ , направленного параллельно оси электронного пучка, начинают движение в плоскости перпендикулярной магнитному полю.

Решение уравнений движения ионов, вытягиваемых из области электронного пучка (области ионизации) со скоростями, близкими к нулю (при  $t=0$ ,  $V=0$ ), дает уравнение траектории ионов.

$$r = \frac{E_0}{B(\omega - \omega_u)} \cdot \sin \left[ \frac{1}{2} (\omega - \omega_u) \cdot t \right], \quad (2.2)$$

где  $r$  - расстояние от оси для иона с массой  $m$ ;

$E_0$  - напряженность высокочастотного электрического поля;

$B$  - индукция магнитного поля ;

$\omega$  - частота высокочастотного напряжения подведенного к высокочастотным электродам;

$\omega_u$  - циклотронная частота иона;

$t$  - время.

Циклотронная частота определяется выражением

$$\omega_y = \frac{eB}{m}, \quad (2.3)$$

где  $m$  - масса иона.

При  $\omega \rightarrow \omega_y$  уравнение (2.2) в пределе примет вид

$$r = \frac{E_0 \cdot t}{2B}, \quad (2.4)$$

т.е. при наступлении резонанса траектория резонансных ионов представляет собой раскручивающуюся спираль; это означает, что радиус траектории возрастает с течением времени  $t$ , а ион потребляет энергию от поля высокой частоты. Регулируя частоту генератора, можно настроить прибор на резонанс для любых ионов, присутствующих в объеме омегатрона. Коллектор ионов 5 расположен на периферии прибора и на него попадают только резонансные ионы. Величина ионного тока определяется парциальным давлением

$$I_i = S\beta_i \cdot I_e \cdot P_i, \quad (2.5)$$

где  $I_i$  - ионный ток в цепи коллектора, А;

$S$  - чувствительность омегатрона по азоту, 1/Па;

$\beta_i$  - относительная чувствительность по данному газу;

$I_e$  - ток ионизирующих электронов, А;

$P_i$  - парциальное давление газового компонента, Па.

Траектории нерезонансных ионов изменяется во времени, а их максимальное расстояние от оси описывается выражением

$$r_{\max} = \frac{E_0}{B(\omega - \omega_y)}. \quad (2.6)$$

Если коллектор ионов помещен на расстоянии  $r_0 = r_{\max}$ , то эти ионы не достигают его. Если же  $\omega \rightarrow \omega_y = \Delta\omega$  оказывается малым, то может быть  $r_{\max} \geq r_0$ , и на коллектор попадает часть нерезонансных ионов, уменьшая тем самым разрешающую способность омегатрона. Принимая  $r_{\max} = r_0$  будем иметь  $\Delta\omega = \omega - \omega_y = \frac{E_0}{r_0 B}$ . Следовательно, при фиксированной частоте

$\omega$  на коллектор будут попадать ионы в полосе частот  $\pm \Delta\omega = \frac{E_0}{r_0 B}$ . Отсюда

разрешающая способность омегатрона

$$\rho = \frac{\omega_y}{\Delta\omega} = \frac{f}{\Delta f} = \frac{M}{\Delta M} = \frac{eB^2 \cdot r_0}{2 \cdot m' \cdot E_0 \cdot M}, \quad (2.7)$$

где  $r_0$  - расстояние от оси до коллектора ( $r_0 = 8,5 \cdot 10^{-3}$  м);

$m'$  - масса атома водорода ( $m' = 1,66 \cdot 10^{-27}$  кг);

$M$  — молекулярная масса.

Как следует из выражения (2.7), индукция магнитного поля и напряженность электрического поля оказывают существенное влияние на разрешающую способность омегатрона. При необходимости увеличения  $\rho$  следует уменьшать напряженность электрического поля, однако это влечет за собой уменьшение чувствительности омегатрона, т.к. возрастает рассеяние ионов на молекулах остаточного газа из-за увеличения пути, проходимого ионами до попадания на коллектор. Длина этого пути связана с напряженностью высокочастотного поля следующим соотношением:

$$L = \frac{e \cdot r_o^2 \cdot B^2}{E_o \cdot m \cdot M} = 2 \frac{M}{\Delta M} \cdot r_o = 2\rho \cdot r_o . \quad (2.8)$$

Для уменьшения рассеяния ионов при работе с легкими газами с малым массовым числом (до четырех) рекомендуется подавать на высокочастотные пластины напряжение порядка 5 В. При работе в диапазоне более тяжелых масс напряжение на ВЧ-пластинах поддерживается на уровне 1,5-2,0 В.

Выходной прибор высокочастотного генератора обычно градуируется в величинах напряжения, поэтому для расчета напряженности ВЧ-поля следует использовать соотношение

$$E_o = \frac{1,41 \cdot V_{вых.г}}{2 \cdot 10^{-2}} , \quad (2.9)$$

где  $E_o$  ~ напряженность ВЧ-поля, В/м;  
 $V_{вых.г}$  - выходное напряжение ВЧ-генератора, В.

Род иона может быть определен по его резонансной частоте. Исходя из выражения (2.3), для резонансной частоты можно записать

$$2\pi f = \omega_u = \frac{e \cdot B}{m} = \frac{e \cdot B}{m \cdot M} . \quad (2.10)$$

Из выражения (2.10) находим

$$M = 15,2 \frac{B}{f} , \quad (2.11)$$

где  $f$  - резонансная линейная частота ионов, МГц;  
 $B$  - индукция магнитного поля, Тл.

В постоянном магнитном поле произведение  $f \cdot M = const$ , поэтому шкала массовых чисел при развертке по частоте – гиперболическая.

## 2.4 Контрольные вопросы

1. Какой принцип определения масс заложен в принцип работы газоанализатора?
2. Какова конструкция газоанализатора?
3. При каком давлении проводится анализ состава газа?

4. Как проводится градуировка масс-спектрометра?
5. Как определяется погрешность определения массового состава?
6. Какие виды ионизаций возможны в омегатронном масс-спектрометре?
7. Какие массы определяет омегатрон?
8. Как расшифровать спектр масс?
9. Что такое вероятность определения компоненты газа?
10. Какие газы преобладают в спектре масляной системы откачки?

### 3 Экспериментальная часть

#### 3.1 Оборудование

В лабораторную установку входят следующие устройства:

- 1) омегатрон типа РМО-4С, спаянный с электровакуумным прибором;
  - 2) измерительный блок ШЩС-1;
  - 3) постоянный магнит с юстировочной рамкой и выносным электрометрическим каскадом;
  - 4) самопишущий потенциометр типа ЭПП-09;
- Структурная схема ИЦДО-1 приведена на рис. 3.1.

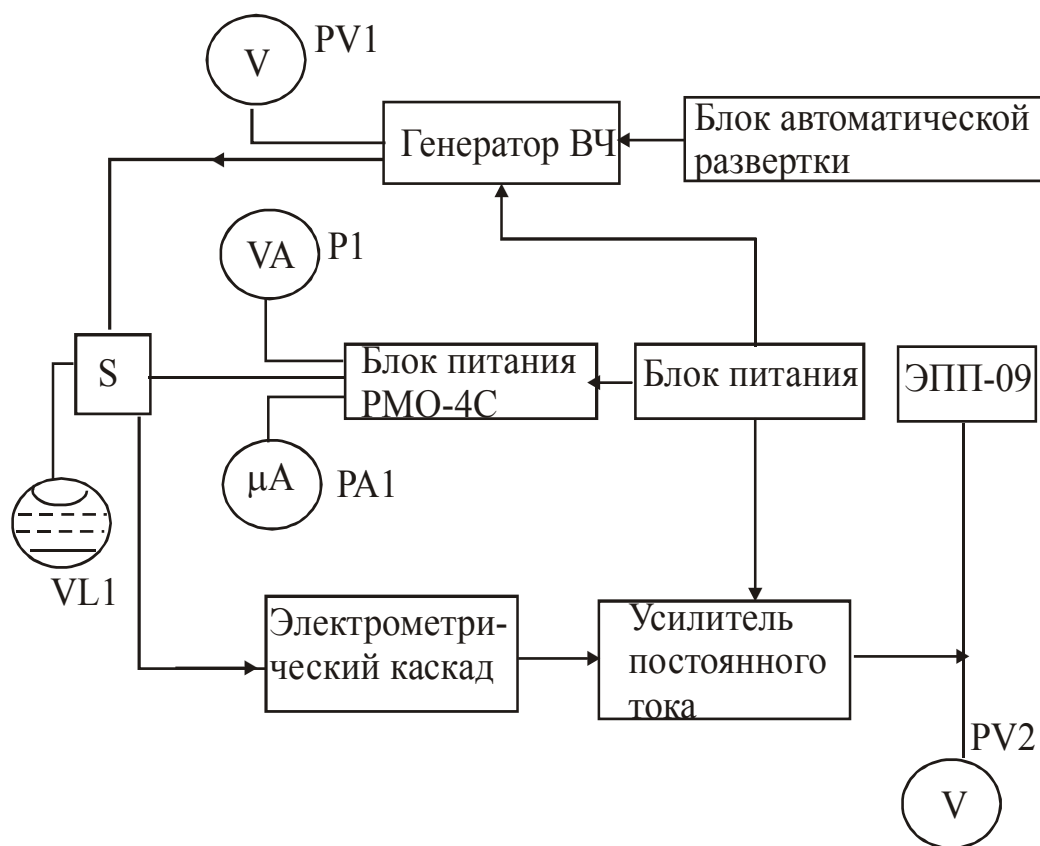


Рисунок 3.1 – Структурная схема ИЦДО-1

Омегатрон РМО-4С (*S*) спаян с электровакуумным прибором *VLI* и вся эта система прошла вакуумную обработку и отпаяна. Для сохранения вакуума в объеме системы расположен бариевый газопоглотитель. Омегатрон помещен в зазор постоянного магнита с индукцией магнитного поля порядка 0,26 Тл.

Юстировка магнетрона в зазоре магнита проводится преподавателем и проверяется в ходе подготовки аппаратуры к эксперименту. (О нарушении юстировки сообщается преподавателю).

Электрический режим омегатрона контролируется приборами *PI* и *PAI*. С помощью прибора *PI* контролируется ток диафрагмы и напряжение улавливающих пластин, а прибором *PAI* регистрируется ток электронного луча. Ток эмиссии катода омегатрона равен сумме тока диафрагмы и тока луча  $I_s = I_D + I_n$ . Конструкция омегатрона выбрана такой, что отношение  $I_D / I_n = 2$ .

Технические данные ИПДО-1 следующие:

- 1) диапазон массовых чисел, регистрируемых прибором, от  $M = 2$  до  $M = 100$ ;
- 2) разрешающая способность прибора для  $M \leq 18$  не менее 20;
- 3) диапазон рабочих давлений прибора от  $1 \cdot 10^{-3}$  до  $3 \cdot 10^{-8}$  Па;
- 4) чувствительность прибора такова, что при парциальном давлении аргона  $8 \cdot 10^{-8}$  Па, амплитуда пика ионного тока аргона не менее 30 мВ;
- 5) диапазон частот генератора от 30 кГц до 2,5 МГц перекрывается одной непрерывной шкалой. Распределение частот по шкале - линейное;
- 6) выходное напряжение генератора 0 - 2 В в диапазоне частот 30 кГц - 1 МГц, и 0 - 5 В в диапазоне частот 1,0 - 2,5 МГц. Переключение выходного напряжения с одной ступени на другую происходит автоматически на частоте около 1 МГц;
- 7) автоматическое изменение частоты генератора производится с равномерной скоростью. Время, за которое частота генератора изменяется от 0 до 2,5 МГц, составляет 20 мин. В приборе имеется возможность непрерывной записи ионного тока любого массового числа во времени;
- 8) сигнал, приходящий на коллектор омегатрона, измеряется усилителем постоянного тока с выносным электрометрическим каскадом. Коэффициент усиления усилителя по напряжению  $K_u = 1$ . Входное сопротивление электрического каскада  $R_{ex} = 1000$  Ом;
- 9) стрелочный прибор *PV2*, измеряющий напряжение на шкале (а соответственно и на входе) усилителя постоянного тока имеет следующие пределы измерения: 0,3; 1; 3; 10; 30 и 100 В;
- 10) запись выходного напряжения, пропорционального ионному току, производится на ленте электронного потенциометра типа ЭПП-09 со временем пробега кареткой всей шкалы за 1 с;
- 11) градуировка шкалы самописца соответствует градуировке выходного стрелочного прибора;
- 12) питание катода омегатрона осуществляется переменным

током 1,2-1,6 А; напряжением 1,2-1,4 В частотой 50 Гц;

13) электронный ток на коллектор (ток луча) регулируется от 0 до 20 мкА и изменяется стрелочным прибором *РА1*;

14) к омегатронной лампе РМО-4С подводятся следующие напряжения постоянного тока (относительно корпуса прибора):

к катоду	- 100 В;
к диафрагме	+ 10 В;
к коллектору электронов	+ 100 В;
к улавливающим пластинам	+ 0 · 1,5 В.

### 3.2 Задание

3.2.1. Подготовить ответы на вопросы по теме масс-спектрометрии.

3.2.2. Ознакомиться с аппаратурой лабораторной установки и подготовить ее к работе.

3.2.3. Произвести калибровку омегатрона и определить индукцию магнитного поля.

3.2.4. Определить влияние высокочастотного напряжения, тока луча, напряжения на улавливающих пластинах на чувствительность разрешающую способность омегатрона.

3.2.5. Записать и расшифровать спектр масс остаточных в электровакуумном приборе, спаянном с омегатроном.

3.2.6. Определить полное давление в омегатроне.

### 3.3 Порядок выполнения работы и методические указания

3.3.1. Порядок выполнения работы определен заданием.

3.3.2. Подготовка установки к проведению эксперимента проводится в следующем порядке:

1) выключить тумблеры СЕТЬ 220 В и КАТОД, установить тумблер РАЗВЕРТКА в положение РУЧНАЯ, тумблер ТОК ДИАФРАГМЫ - НАПРЯЖЕНИЕ УЛАВЛИВАЮЩИХ ПЛАСТИН - в положение ТОК ДИАФРАГМЫ. Установить ручку РЕГУЛИРОВКА ТОКА ЛУЧА в крайнее левое положение, переключатель ПРЕДЕЛЫ ИЗМЕРЕНИЯ - в положение "100", ручку РЕГУЛИРОВКА НАПРЯЖЕНИЯ ВЧ - в крайнее левое положение.

2) включить тумблер СЕТЬ 220 В, при этом должна загореться зеленая сигнальная лампа рядом с тумблером;

3) после 15 мин прогрева прибора включить тумблер КАТОД (в случае обрыва катода ярко загорается лампа ОБРЫВ КАТОДА);

4) медленно повышать накал омегатронной лампы ручкой РЕГУЛИРОВКА ТОКА ЛУЧА до появления тока диафрагмы. Слабое свечение лампы ОБРЫВ КАТОДА не является признаком неисправности;

5) довести ток диафрагмы до 20 мкА. Если при этом ток луча отсутствует, то необходимо вращением магнита вокруг омегатронной

лампы добиться появления тока луча и минимума тока диафрагмы. Добившись минимума тока диафрагмы, следует удостовериться в отсутствии тока улавливающих пластин, нажав кнопку НАЖАТЬ-ТОК УЛАВЛИВАЮЩИХ ПЛАСТИН. При наличии тока улавливающих пластин следует произвести дополнительную юстировку при помощи магнита до исчезновения тока улавливающих пластин. В процессе дополнительной юстировки кнопку держать нажатой. После юстировки ручкой РЕГУЛИРОВКА ТОКА ЛУЧА довести ток луча до выбранного значения. Типовое значение тока луча - 10 мкА;

6) установить нулевую частоту генератора, для чего: установить частотную шкалу генератора на нулевую отметку, установить ручку РЕГУЛИРОВКА НАПРЯЖЕНИЯ ВЧ в крайнее правое положение, тумблер ПРЕДЕЛЫ установить в положение "ЗВ". Вращением ручки УСТАНОВКА НУЛЯ ЧАСТОТЫ получить нулевые биения. Контроль нулевых биений производится по показаниям стрелочного прибора генератора НАПРЯЖЕНИЕ ВЧ - при наличии нулевых биений показания прибора резко падают до нуля;

7) ручкой УСТАНОВКА НУЛЯ установить начальный уровень на выходе усилителя постоянного тока по прибору НАПРЯЖЕНИЕ ПИКА на шкале "0,3 В". За начальный уровень брать показания прибора, соответствующие 1-3 % от максимального предела шкалы;

8) перевести частотную шкалу на отметку 20-30 кГц и установить необходимое высокочастотное напряжение. Если не поставлены преподавателем специальные условия, то эта - напряжение должно равняться 2 В;

9) установить шкалу усилителя ионного тока на предел "10 В" переключателем ПРЕДЕЛЫ ИЗМЕРЕНИЯ;

10) меняя частоту генератора от 0 до 2,2 мГц, зафиксировать пики ионных токов. При необходимости установить такую шкалу усилителя ионного тока, чтобы пик: с максимальной амплитудой занимал 80-90 % шкалы прибора;

11) произвести градуировку омегатрона, для чего: найти пик ионов водорода, перестраивая генератор в диапазоне частот – 1,9 – 2,0 МГц, и определить резонансную частоту. По формуле (2.11) рассчитать постоянную омегатрона  $C = 2 \cdot \int_{рез} M_z$  ;

12) определить резонансную частоту для аргона

$$\int_{рез} Ar = \frac{C}{40} = \frac{2 \cdot \int_{рез} M_z}{40}$$

и установить ее на шкале генератора. Вращением ручки УСТАНОВКА НУЛЯ ЧАСТОТЫ добиться максимального значения пика ионного тока аргона. Выбор водорода и аргона в качестве реперных газов связан с тем, что водород всегда присутствует в объеме электровакуумного прибора, содержащем бариевый газопоглотитель. В окрестности водородного пика нет пиков других газов (ближайший пик ионов гелия имеет резонансную частоту,

в два раза меньшую).

Аргон, как правило, присутствует в отпаянных приборах с бариевым газопоглотителем в значительных количествах, что позволяет использовать его в качестве второго реперного газа. Так как участок спектра масс в области тяжелых масс ( $12 \leq M \leq 44$ ) наиболее плотно заселен, то окончательная установка частоты генератора должна быть произведена по аргону;

13) установить частотную шкалу на нулевую отметку и перевести тумблер РАЗВЕРТКА в положение АВТОМАТ;

14) открыть крышку самописца ЭПП-09, залить чернила в перо и включить оба тумблера на панели самописца. Через 3 мин самописец готов к работе. Перемещением каретки с пером вручную поперек ленты прочертить начальную линию, от которой будет вестись отсчет частоты с помощью специальной частотной линейки;

15) для пуска развертки и записи спектра на ленте ЭПП-09 нажать кнопку АВТОМАТИЧЕСКАЯ РАЗВЕРТКА. Для прекращения записи данную кнопку вытянуть на себя. В приборе предусмотрена автоматически установка развертки при достижении заданной частоты. Для реализации этой возможности необходимо, вращая шкалу УСТАНОВКА КОНЦА РАЗВЕРТКИ установить ее в положение, соответствующее выбранному частоты развертки, при которой должна быть прекращена автоматическая развертка. При установке конца развертки частотная шкала генератора должна быть установлена на нулевую отметку.

При необходимости записи изменений ионного тока любого одного массового числа во времени следует тумблер РАЗВЕРТКА поставить в положение РУЧНАЯ, затем, вращая ручку настройки генератора, установить частоту, соответствующую максимуму ионного тока выбранного массового числа. Пуск записи на ленте ЭПП-09 и остановка производятся также кнопкой АВТОМАТИЧЕСКАЯ РАЗВЕРТКА.

3.3.3. При записи масс-спектра область масс  $12 > M > 4$  не представляет интереса, так как в этой области существуют только многозарядные ионы газов, не характеризующие состав остаточной атмосферы. То же самое относится и к области масс  $4 > M > 2$ . В связи с этим целесообразно прерывать автоматическую запись на данных участках спектра масс, возобновляя ее в окрестностях четвертой и второй масс.

3.3.4. Количественный анализ (расчет парциальных давлений) возможен только при наиболее полном собирании образующихся ионов, когда достигнут максимум ионного тока в зависимости от улавливающего и высокочастотного напряжений. Это условие выполняется подбором улавливающего напряжения. Высокочастотное напряжение выбирается равное 2 В при работе в диапазоне масс  $44 \geq M > 10$  и 5 В для  $M \leq 4$ .

Для определения парциального давления используют формулу (2.5), преобразованную к более удобному виду



$$P_i = \frac{I_i}{S\beta_i \cdot I_e} = \frac{I_i \cdot R_{ex}}{S\beta_i \cdot I_e \cdot R_{ex}} = \frac{U_{ex}}{\kappa\beta_i} = \frac{U_{ника}}{\kappa\beta_i},$$

где  $U_{ника}$  - максимальное значение напряжения пика, В;  
 $\kappa$  - чувствительность прибора ИПДО-I к парциальному давлению азота, В/Па.

При токе  $I_e = 10 \cdot 10^{-6}$  А  $\kappa = 10^6$  В/Па чувствительность омегатрона по азоту  $S = 1 \cdot 10^{-2}$  1/Па.

### 3.4 Содержание отчета

3.4.1. Отчет должен содержать все экспериментальные данные в соответствии с заданием, представленные в табличной и графической форме.

3.4.2. Диаграмма со спектром масс является приложением к отчету. Каждый пик масс-спектра должен быть идентифицирован.

3.4.3. Сравнение влияния методов подготовки вакуумной среды на спектральный состав газов, выделяющихся в процессе эксплуатации прибора (ПК 14).

3.4.4. Рекомендации: для производства каких приборов оптической электроники приемлем исследованный спектр газов (ПК 20).

3.4.5. Презентацию о вероятности обнаружения ложных, истинных и скрытых пиков с помощью данного спектрометра (ПК21).

3.4.6. Привести эскизы и спецификацию фрагментов сертифицированных вакуумных элементов и оборудования, рекомендуемых для реализации процесса травления в производстве (ПК25).

### Список литературы

1. Барыбин В.Г. Физико-технологические основы электроники. Санкт-Петербург, Лань, 2001.-270 с.

2. Данилина Т.И., Смирнова К.И., Илюшин В.А., Величко А.А. Процессы микро- и нанотехнологий./учеб. пособие. – Томск.: Томск. гос. ун-т систем упр. и радиоэлектроники., 2005. – 316 с.

3. Орликов Л.Н. Технология материалов и изделий электронной техники: учебное пособие. – Томск: Томск. гос. ун-т систем упр. и радиоэлектроники., 2005. – 382 с.

## Приложение

## Спектральные характеристики некоторых газов и паров

Газ	Формула	Ион	Массовое число	Относительная величина
Водород	H <sub>2</sub>	H <sub>2</sub> <sup>+</sup>	2	1
		H <sup>+</sup>	1	0,06
		H <sub>3</sub> <sup>+</sup> +HD <sup>+</sup>	3	0,01
Гелий	He	He <sup>+</sup>	4	1,00
Неон	Ne	Ne <sup>+</sup>	20	1,00
		Ne <sup>+</sup>	22	0,10
Азот	N <sub>2</sub>	N <sub>2</sub> <sup>+</sup>	28	1,00
		N <sub>2</sub> <sup>++</sup> + N <sup>+</sup>	14	0,08
		(N <sup>14</sup> N <sup>15</sup> ) <sup>+</sup>	29	0,01
Кислород	O <sub>2</sub>	O <sub>2</sub> <sup>++</sup> + O <sup>+</sup>	16	0,10
		O <sub>2</sub> <sup>+</sup>	32	1,00
Аргон	Ar	Ar <sup>+</sup>	40	1,00
		Ar <sup>++</sup>	20	0,15
		Ar <sup>+</sup>	36	0,004
Криптон	Kr	Kr <sup>+</sup>	84,0	1,00
		Kr <sup>+</sup>	86,0	0,33
		Kr <sup>+</sup>	82,0	0,20
		Kr <sup>+</sup>	83,0	0,20
		Kr <sup>+</sup>	42,0	0,19
		Kr <sup>+</sup>	42,0	0,06
		Kr <sup>+</sup>	41,0	0,04
Ртуть	Hg	Hg <sup>+</sup>	200	1,00
		Hg <sup>++</sup>	100	0,5-0,7
Вода	H <sub>2</sub> O	H <sub>2</sub> O <sup>+</sup>	18	1,00
		OH <sup>+</sup>	17	0,30
		O <sup>+</sup>	16	0,02
		H <sub>2</sub> <sup>+</sup>	2	0,01
Окись углерода	CO	CO <sup>+</sup>	44	1,00
		O <sup>+</sup>	28	0,12
		C <sup>+</sup>	16	0,08
		C <sup>13</sup> O <sup>+</sup>	12	0,04
Двуокись углерода	CO <sub>2</sub>	CO <sub>2</sub> <sup>+</sup>	44	1,00
		CO <sup>+</sup>	28	0,12
		O <sup>+</sup>	16	0,08
		C <sup>+</sup>	12	0,04

## Окончание приложения

Газ	Формула	Ион	Массовое число	Относительная величина
Метан	CH <sub>4</sub>	CH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	16	1,00
		CH <sub>3</sub> <sup>+</sup>	15	0,80
		CH <sub>2</sub> <sup>+</sup>	14	0,14
		CH <sup>+</sup>	13	0,06
		C <sup>+</sup>	12	0,02
Ацетилен	C <sub>2</sub> H <sub>2</sub>	C <sub>2</sub> H <sub>2</sub> <sup>+</sup>	26	1,00
		C <sub>2</sub> H <sup>+</sup>	25	0,20
		C <sub>2</sub> <sup>+</sup>	24	0,05
		CH <sup>+</sup>	13	0,04
		H <sub>2</sub> <sup>+</sup>	2	0,04

Учебное пособие

Орликов Л.Н.

Исследование состава остаточной атмосферы в отпаянном приборе с  
помощью омега-атомного масс-спектрометра

Методические указания к лабораторной работе  
по дисциплине «Технология приборов оптической электроники и  
фотоники»

Усл. печ. л. \_\_\_\_\_. Препринт  
Томский государственный университет  
систем управления и радиоэлектроники  
634050, г.Томск, пр.Ленина, 40