

ИОНИЗАЦИОННЫЕ МАНОМЕТРЫ ДЛЯ СВЕРХНИЗКИХ ДАВЛЕНИЙ

Для измерения давлений в вакуумных системах и установках применяются манометры, действие которых основано на различных физических принципах.

В частности, для измерения сверхнизких давлений весьма перспективным кажется использование ионизационного манометра.

Ионизационный манометр обычной конструкции¹ состоит из concentрически расположенных накаливаемого катода, положительно заряженной сетки и отрицательно заряженного коллектора, окружающего всю систему. Электроны, эмиттируемые катодом, прежде чем попасть на сетку, ионизуют молекулы газа, имеющегося в манометре. Образовавшиеся положительные ионы собираются на коллекторе.

Теория ионизационного манометра² даёт линейную зависимость между ионным током на коллектор и давлением в манометре при условии постоянства тока эмиссии:

$$I_i = k p, \quad (1)$$

где I_i — ионный ток, p — давление и k — постоянная величина, зависящая от конструкции и электрического режима манометра.

Эта зависимость подтверждена экспериментальными данными³, полученными в диапазоне давлений от $3 \cdot 10^{-6}$ до $1,10^{-3}$ мм. рт. ст.

При обычном электрическом режиме (напряжение на сетке от 150 до 250 в, напряжение на коллекторе от —15 до —40 в) ток эмиссии составляет от 1 до 10 ма, постоянная $k \approx 0,1 \frac{a}{\text{мм рт. ст.}}$. Таким образом, даже столь низкому давлению, как 10^{-10} мм рт. ст., должен соответствовать ток порядка 10^{-11} а, если считать, что линейная зависимость (1) не нарушается. Такой ток при помощи современных усилителей постоянного тока может быть измерен без особых затруднений.

Однако эксперименты, проведённые в этом направлении¹, показали, что обыкновенным ионизационным манометром практически не удаётся измерить давление ниже 10^{-8} мм рт. ст.

Причиной этого, повидимому, является «остаточный» ток коллектора, обусловленный электронной эмиссией с коллектора манометра под дей-

ствием падающего на него мягкого рентгеновского излучения, возникающего при торможении электронов, эмиттируемых катодом, в материале сетки. Так как при помощи прибора, измеряющего ток в цепи коллектора, нельзя отличить испускания электронов от прихода положительных ионов, то величина этого «остаточного» тока определяет собой нижний предел измерения ионизационного манометра.

В последнее время в литературе появились описания трёх конструкций ионизационных манометров, у которых величина «остаточного» тока значительно уменьшена.

Первый из них⁴ показан на рис. 1 (F — катод, G — сетка, K_1 и K_2 — коллекторы). В то время как коллектор обычных ионизационных манометров полностью окружает сетку и поглощает практически всё её рентгеновское излучение, на коллектор K_2 этого манометра падает примерно $\frac{1}{50}$ часть излучения сетки, а на коллектор K_1 — половина. Конфигурация электрического поля в манометре такова, что коллектор K_2 поглощает примерно $\frac{1}{5}$ часть образующихся в манометре ионов и, следовательно, отношение ионного тока этого коллектора к току фотоэмиссии с него в 50 раз больше, чем для коллектора K_1 . Устранение тарелочки коллектора K_2 не влияет на чувствительность манометра, но ещё сильнее снижает ток фотоэмиссии с этого коллектора.

При уменьшении давления ниже 10^{-6} мм рт. ст. ток на коллектор K_2 продолжает уменьшаться, тогда как ток коллектора K_1 остаётся постоянным. Минимальный ток на коллектор K_1 был равен $2 \cdot 10^{-9}$ а, что соответствует давлению $2 \cdot 10^{-8}$ мм рт. ст. Минимальный измеренный ток на коллектор K_2 был равен $2 \cdot 10^{-12}$ а, что соответствует давлению $1 \cdot 10^{-10}$ мм рт. ст. Таким образом, можно считать, что этот манометр пригоден для измерения давлений порядка 10^{-10} мм рт. ст.

Устройство второго манометра⁵, способного измерять давления до 10^{-10} мм рт. ст., показано на рис. 2. Внутри его цилиндрической сетки G по её оси натянута тонкая металлическая проволока K , служащая коллектором ионов, катоды же F_1 и F_2 расположены снаружи сетки. Благодаря такому устройству на коллектор падает лишь малая доля рентгеновского излучения сетки, что приводит к значительному уменьшению тока фотоэмиссии.

Нижний предел давлений, измеримых с помощью описанного манометра, можно считать равным $1 \cdot 10^{-10}$ мм рт. ст.

Чувствительность этого манометра примерно такая же, как и обыкновенной. Она выше, чем у предыдущего, так как положительная сетка G создаёт потенциальный барьер и предотвращает возможность вылета ионов из объёма, заключённого внутри сетки. Поэтому все ионы, образующиеся внутри сетки манометра, уходят на коллектор.

Отметим, что форма сеточных характеристик описанного манометра при различных давлениях свидетельствует в пользу предположения, что нижний предел давлений, измеримых с помощью ионизационных манометров, определяется током фотоэмиссии с коллектора.

В обоих описанных выше манометрах снижение предела доступных для измерения давлений достигнуто путём уменьшения поверхности коллектора и, следовательно, снижения доли рентгеновского излучения сетки, падающего на коллектор.

На совершенно ином принципе подавления «остаточного» тока коллектора основано устройство третьего манометра⁶ (рис. 3).

Манометр представляет собой четырёхэлектродную систему с катодом F , анодом A , цилиндрическим суппрессором S и коаксиальным с ним коллектором K . Катод, выполненный в виде спирали из торированного вольфрама, расположен в непосредственной близости от щели суппрессора.

Если на коллектор и суппрессор манометра подать одинаковый по величине отрицательный (по отношению к катоду) потенциал, то ток коллектора будет складываться из ионного тока и тока фотоэмиссии электронов с него. Если же потенциал суппрессора сделать ниже, чем потенциал коллектора, то эмиттируемые с коллектора электроны тормозящим полем суппрессора будут возвращаться обратно на коллектор, и измерительный прибор в цепи коллектора зарегистрирует только ионный ток.

Именно в таком режиме ($U_F = 0$, $U_A = 200$ в, $U_S = -40$ в, $U_K = -2$ в) этот манометр использовался для измерения сверхнизких давлений.

Форма суппрессора была такой, что излучение сетки не могло попадать на его внутреннюю поверхность. В противном случае фотоэлектроны, эмиттируемые суппрессором, ушли бы на коллектор и исказили бы измерение.

Изучение распределения по энергиям фотоэлектронов, эмиттируемых коллектором, показало, что среди них практически нет электронов

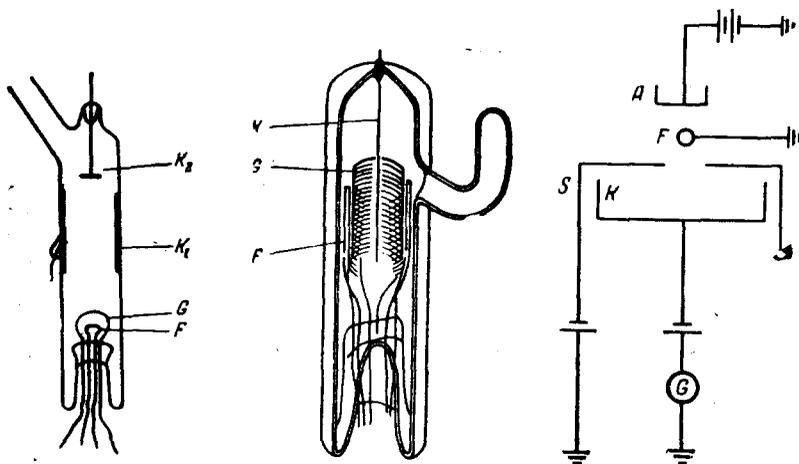


Рис. 1.

Рис. 2.

Рис. 3.

с энергией, большей 30 эв, и 85% электронов обладают энергией, меньшей 10 эв.

Таким образом, запирающий потенциал суппрессора, равный —38 в, обеспечивает практически полное отсутствие фотоэмиссии с коллектора манометра.

Недостатком этого манометра является его низкая чувствительность, обусловленная тем, что большинство ионов уходит на суппрессор, и только меньшая часть их (около 20%) попадает на коллектор.

Однако если нижний предел измерения трёхэлектродных ионизационных манометров не может быть сделан намного ниже, чем у манометров первых двух описанных конструкций ввиду того, что площадь поверхности коллектора нельзя уменьшать беспречно, то четырёхэлектродный манометр допускает дальнейшее совершенствование, так как пока не видно причин, ограничивающих степень подавления фотоэмиссии электронов с коллектора.

Л. Х.

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

1. С. Дешман, Научные основы вакуумной техники, И. Л. Москва 1950.
 2. Н. Д. Моргулис, ЖТФ **3**, 1276 (1933).
 3. S. Dushman, Phys. Rev. **17**, 7 (1921).
 4. J. J. Lander, Rev. Sci. Instr. **21**, 672 (1950).
 5. T. Bayard and D. Alpert, Rev. Sci. Instr. **21**, 571 (1950).
 6. G. H. Metson, Brit. Journ. Appl. Phys. **2**, 47 (1951).
-