

катоду все испускаемые накалившимся катодом электроны. А когда при определенном потенциале сетки начинает преобладать поле анода, то электроны, увлекаемые полем анода, ионизируют газ, порождают электронные лавины и зажигающийся разряд в тиратроне замыкает цепь анодного тока. При этом потенциал сетки, если он и изменится, уже не влияет на разряд, а внутреннее падение напряжения между анодом и катодом благодаря резкому уменьшению сопротивления снижается в зажженном тиратроне до 15—20 в. Если анодное напряжение выключено хотя бы на сотые доли секунды, — разряд погасает.

Ток фотоэлемента сообщает сетке тиратрона потенциал, нужный для зажигания тиратрона. Анодный ток тиратрона приводит в действие приборы автоматической сигнализации, небольшие моторчики или электромагнитные приборы, замыкающие цепь тока еще большей величины.

В разнообразных фотоавтоматах нередко используют невидимые ультрафиолетовые и инфракрасные лучи. В этом случае лучи прожектора пропускают через особые фильтры, например через тонкую пластинку эбонита, через «черное» стекло (марблит) и т. п. Отражая невидимый луч от хорошо замаскированных зеркал, которые отбрасывают луч на спрятанный фотоэлемент, осуществляют надежную фотоохрану складов, зданий, путей. При этом приборы автоматической сигнализации (а в условиях войны и автоматической защиты) регулируют так, чтобы они приходили в действие, когда невидимый луч фотоограждения где-либо прерван. Человек, прошедший через такую невидимую для него линию охраны, сам не зная того, мгновенно приводит в действие приборы сигнализации или защиты.

Благодаря фотоэлементам (в сочетании с электронно-ламповыми усилителями) оказалось возможным осуществить звуковое кино (§ 95) и телевидение (§ 96).

§ 55. Вторичная электронная эмиссия. Электронные умножители

Когда на поверхность металла в вакууме падает ток электронов, то, как показал Ланге (1925 г.), не все электроны поглощаются металлом — часть их отражается поверхностью металла. Наряду с этим при достаточно большой скорости электронов, бомбардирующих поверхность металла, из металла вышибаются электроны, образующие вместе с отраженными электронами встречный поток, в котором число электронов иногда в несколько раз превышает число электронов первичного потока, направленного на поверхность металла. Это явление носит название *вторичной электронной эмиссии*. Аналогичное вышибание электронов (вторичная эмиссия) наблюдается также при бомбардировке электронами диэлектриков, например стекла.

Максимум вторичной электронной эмиссии из металлов имеет место в том случае, когда электроны, бомбардирующие поверхность металла, имеют скорость порядка 0,04 скорости света (такую скорость электроны приобретают, пробегая падение потенциала в несколько сотен вольт). При дальнейшем увеличении скорости электронов, бомбардирующих поверхность металла, число вышибаемых электронов уменьшается.

Величину вторичной эмиссии характеризуют коэффициентом δ , представляющим собой отношение числа вышибленных и отраженных электронов к числу первичных электронов. Для большинства металлов вторичная электронная эмиссия не очень велика, для хорошо обезгаженных металлов $\delta_{\text{макс}} = 1,4$; адсорбированный газ увеличивает вторичную эмиссию до $\delta_{\text{макс}} = 3$ (рис. 207).

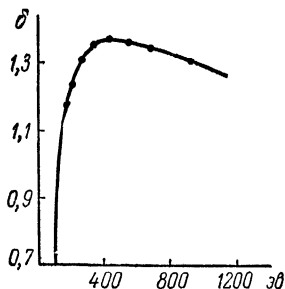


Рис. 207. Характерная для металлов зависимость вторичной электронной эмиссии от энергии первичных электронов

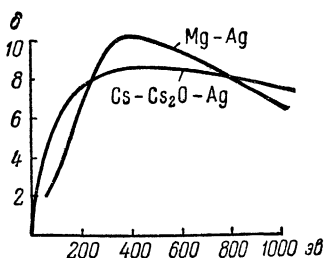


Рис. 208. Зависимость вторичной эмиссии от энергии первичных электронов для кислородно-цезиевого катода и активированного кислородом серебряно-магниевого катода.

У некоторых полупроводников и диэлектриков вторичная электронная эмиссия больше, чем у металлов (зависимость же ее от энергии первичных электронов приблизительно такая же, как и у металлов). Для германия (с примесью таллия) $\delta_{\text{макс}} = 1,7$; для стекла и слюды $\delta_{\text{макс}} = 2-3$, а для кристаллов галлоидных соединений щелочных металлов (LiF, NaCl, KCl, NaI и ряда других) $\delta_{\text{макс}} = 5-6$.

Особенно большую величину вторичная эмиссия имеет для кислородно-цезиевых и аналогичных им катодов, применяемых в фотоэлементах; в этом случае $\delta_{\text{макс}} = 8-10$ (рис. 208).

Тонкие пленки некоторых полупроводников на металле иногда дают аномально большую вторичную электронную эмиссию. Впервые это было установлено в 1936 г. Молтером для пленки окиси алюминия, обработанной в парах цезия. Коэффициент δ вторичной электронной эмиссии оказался достигающим значения

нескольких тысяч. Позже были исследованы случаи аномально большой вторичной электронной эмиссии для пленок хлористого калия, окиси магния и др. Эти опыты подтвердили, что коэффициент δ при небольшой толщине активированных пленок полупроводника может иметь (неустойчиво) значения сотен и тысяч. По-видимому, здесь происходит следующее. Вследствие вторичной эмиссии сначала небольшого числа электронов, которое соответствует нормальным величинам коэффициента δ , внешняя поверхность полупроводниковой пленки заряжается положительно до потенциала по отношению к металлу под пленкой в несколько десятков вольт. Поскольку толщина пленки мала (порядка 10^{-5} см), это создает в пленке электрическое поле большой напряженности (несколько миллионов вольт на сантиметр). Такое поле является достаточным, чтобы вызвать автоэлектронную эмиссию (стр. 222) из металла, на который нанесена полупроводниковая пленка. Ток этой эмиссии в итоге и называется в аномальном увеличении δ .

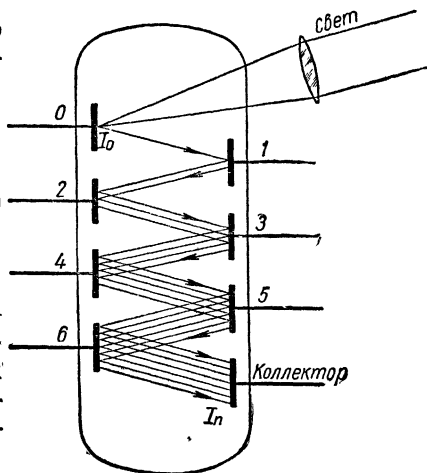


Рис. 209. Схема электронного умножителя.

Явление вторичной эмиссии использовано в устройстве *электронного умножителя* — прибора, предназначенного для многократного усиления электронных потоков, в частности для усиления слабых фототоков. Схема электронного умножителя фототока показана на рис. 209. На этом рисунке цифрами обозначены электроды. Лучи света, фокусируемые линзой, падая на электрод 0, вырывают из него вследствие фотоэффекта электроны, которые, приобретая ускорение в электрическом поле, бомбардируют фотокатод 1 и вышибают из него в δ раз большее число электронов вторичной эмиссии. Эти электроны, приобретая ускорение в электрическом поле, бомбардируют электрод 2 и в свою очередь вышибают из него электроны вторичной эмиссии в количестве, которое в δ^2 раз превышает число первичных фотоэлектронов. Последний электрод, служащий анодом, называют *коллектором*. Если это $(n+1)$ -й по счету электрод, то умножитель усиливает фототок I_0 до величины I_n по закону

$$I_n = I_0 \delta^n. \tag{16}$$

Такое усиление может быть получено только в том случае, если все электроны вторичной эмиссии направлены на следующий

электрод (сфокусированы на нем). Для управления с указанной целью траекториями электронов применяют электрическое поле или магнитное, или же оба поля совместно.

Промежуточные электроды (на рис. 209 электроды 1—6), называемые *эмиттерами*, должны удовлетворять иным требованиям, чем фотокатод (сохранять высокие значения коэффициента δ при повышенной плотности тока, при разогреве, не изменять свойств при длительной бомбардировке электронами и т. п.). Этим требованиям лучше всего удовлетворяют *кислородно-магниевые, сурьмяно-цезиевые и медно-бериллиевые* эмиттеры; способы их изготовления были установлены в итоге очень большого числа опытов.

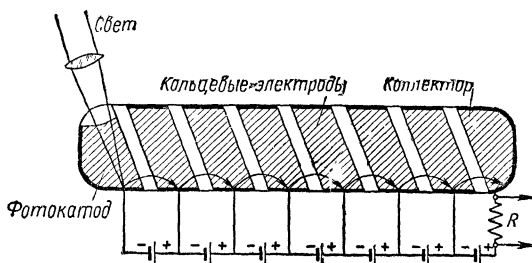


Рис. 210. Схема электронного умножителя Кубецкого.

Начиная с 1934 г. рядом исследователей (Л. А. Кубецким, В. К. Зворыкиным и др.) были сконструированы электронные умножители различных систем. На рис. 210 представлена схема прибора, сконструированного Кубецким. Электродам здесь придана форма колец; между соседними кольцами накладывается разность потенциалов около 200 в; поперечное магнитное поле, создаваемое постоянным магнитом, искривляет траектории электронов так, что электроны, вышибленные из кольца, попадают на соседнее кольцо. Зворыкину удалось найти для эмиттеров такую форму (в виде ковшей-полуцилиндров, рис. 211), при которой потоки электронов, испускаемых фотокатодом, и вторичных электронов правильно фокусируются: пучок электронов в умножителе в каждом каскаде все более сжимается. При указанной форме эмиттеров только в последних каскадах умножителя сказывается влияние пространственного заряда, нарушающего сжатие пучка.

Такая же форма эмиттеров принята и в некоторых наших отечественных фотоэлектронных умножителях, например в ФЭУ-17 (рис. 212). В этом 13-каскадном приборе эмиттеры изготовлены из никеля с сурьмяно-цезиевым слоем. На каждый каскад подается рабочее напряжение в 50—75 в (общее рабочее напряжение 650—950 в). Предельный ток, не вызывающий заметного нарушения параметров прибора («утомления» эмиттеров в последних каскадах), равен,

по измерению в анодной цепи, приблизительно 100 мка. Интегральная чувствительность достигает 100 а/лм.

В фотоумножителях ВЭИ (тоже 13-каскадных) применены кислородно-магниевые эмиттеры. Это позволяет доводить выходной ток до 5—7 ма (причем сохраняется линейность световой характеристики), а при меньших токах обеспечивает большой срок службы фотоумножителя: порядка 15 000 часов.

Фотоэлектронные умножители дают усиление первоначального фототока в сотни тысяч и миллионы раз. Один такой прибор, напоминающий по внешнему виду радиолампу, нередко заменяет многокаскадный ламповый усилитель (например, в

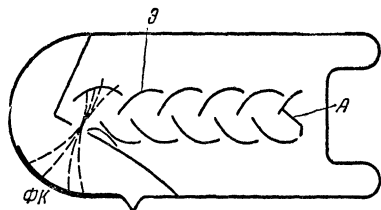


Рис. 211. Схема электронного умножителя Зворыкина ФК — фотокатод, Э — эмиттеры, А — анод.

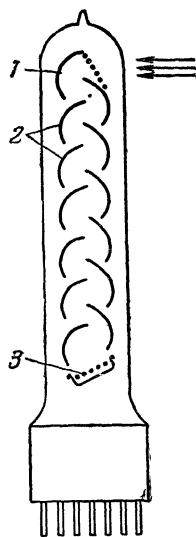


Рис. 212. Схема и вид ФЭУ-17. 1 — фотокатод, 2 — эмиттеры, 3 — анод.

звукоспроизводящей киноаппаратуре без других усилительных устройств может возбуждать громкоговоритель мощностью 3 вт).

Применяются и однокаскадные фотоумножители (например, ФЭУ-1 и ФЭУ-2), имеющие чувствительность 600—700 мка/лм; они более чувствительны и более удобны, чем газонаполненные фотоэлементы.

§ 56. Динатронный эффект. Экранированные радиолампы

Вторичная электронная эмиссия наблюдается и в радиолампах. Электроны, эмиттированные катодом, приобретают в радиолампе при высоком анодном напряжении большую скорость движения; падая на поверхность анода, эти электроны вышибают из анода вторичные электроны. При наличии дополнительных сеток, близко расположенных к аноду, электроны вторичной эмиссии, вышибленные из анода, улавливаются полем этих сеток и в радиолампе