

к нежелательным явлениям. Электроны, прошедшие через экранную сетку, попадают на анод и выбивают из него вторичные электроны. Это явление называется *динактронным эффектом*. Такое явление возникает и в триоде. Но в триоде при нормальной работе выбитые электроны обратно возвращаются к аноду под действием электрического поля последнего. В тетраде же экранная сетка всегда заряжена положительно, и в случае сильных колебаний анодного напряжения потенциал анода в отдельные периоды может стать ниже

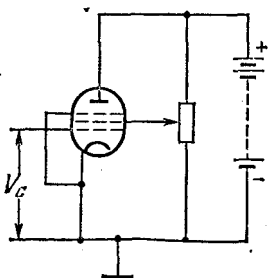


Рис. 251.

потенциала экранной сетки. Тогда выбитые электроны начнут попадать на экранную сетку и проходить через нее. Это ведет к уменьшению анодного тока, появлению провалов на характеристиках и ухудшению свойств тетрада. Нежелательные явления, вызванные динактронным эффектом, могут быть устранены введением третьей, так называемой *защитной* или *противодинактронной сетки*. Эта сетка помещается между экранной сеткой и анодом (рис. 251). Она соединяется с катодом (часто внутри лампы). Находясь под потенциалом катода, она тормозит вторичные электроны, препятствуя попаданию их на экранную сетку. В то же время она не оказывает существенного влияния на движение основного электронного потока. Лампы с пятью электродами, или *пентоды*, имеют высокий коэффициент усиления. Их характеристики гладкие, без провалов. Поэтому они получили более широкое распространение, чем тетроды.

Применение электронных ламп для генерации электрических колебаний будет рассмотрено в § 133.

### § 103. Вторичная и автоэлектронная эмиссия

1. При бомбардировке поверхностей металлов, полупроводников или диэлектриков пучком электронов наблюдается испускание *вторичных электронов*. Это явление называется *вторичной электронной эмиссией* (в электронных лампах его чаще называют *динактронным эффектом*, см. предыдущий параграф). В пучке эмиттируемых электронов наблюдаются три группы электронов; 1) электроны, упруго отраженные поверхностью эмиттера, 2) неупруго отраженные электроны, 3) вторичные электроны, т. е. такие электроны, которые выбиваются из эмиттера первичными электронами. Для количественного описания явления принято вводить *коэффициент вторичной эмиссии*  $\sigma$ . Так называют отношение  $\sigma$  полного количества электронов  $N$ , испущенных эмиттирующей поверхностью, к числу первичных электронов  $N_0$ :

$$\sigma = N/N_0.$$

Коэффициент вторичной электронной эмиссии зависит от природы, изготовления и от состояния поверхности облучаемого тела, а также от скорости электронов в падающем пучке и от угла падения последнего. Коэффициент  $\sigma$  не зависит от интенсивности пучка первичных электронов, если эта интенсивность не настолько велика, чтобы привести к испарению и разрушению поверхности тела. Начальная кинетическая энергия основной доли вторичных электронов, вышедших из эмиттера, составляет несколько эВ и в широком интервале не зависит от энергии первичных электронов. Первичные электроны, проникая внутрь бомбардируемого вещества, возбуждают на своем пути электроны эмиттера. Число электронов, возбуждаемых на единице пути первичного электрона, возрастает к концу пробега последнего. Именно здесь зарождается основная доля вторичных электронов, которые затем при благоприятных условиях могут выйти наружу. Чем больше скорость  $v$  первичных электронов, тем глубже они проникают в облучаемое тело и тем больше возбуждают вторичных электронов. Но, поскольку освобождение электронов происходит в более глубоких слоях тела, уменьшается вероятность выхода их наружу. Этим объясняется, почему коэффициент вторичной эмиссии сначала возрастает с увеличением скорости  $v$  первичных электронов, затем достигает размытого максимума, а при дальнейшем возрастании скорости  $v$  снова уменьшается. Аналогично объясняется возрастание коэффициента  $\sigma$  с увеличением угла падения первичных электронов: при скользком падении первичного пучка вторичные электроны возникают в среднем ближе к поверхности эмиттера, чем при нормальном падении. Для отчетливого наблюдения этого явления необходимо, конечно, чтобы поверхность эмиттера была достаточно гладкой.

Вторичная электронная эмиссия из толстых слоев металла всегда больше, чем из тонких металлических пленок, нанесенных на поверхность стекла. С увеличением толщины пленки до определенного предела эмиссия возрастает. Однако, начиная с этого предела, она становится такой же, как и у толстых металлических тел. Поэтому, экспериментируя с пленками, можно оценить толщину поверхностного слоя металла, из которого происходит эмиссия вторичных электронов. Таким путем найдено, что в металлах эта толщина не превосходит  $\sim 5 \cdot 10^{-6}$  см.

Выход вторичных электронов, образовавшихся внутри эмиттера, в сильной степени зависит от природы последнего. В металлах, где велика концентрация электронов проводимости, вторичные электроны часто сталкиваются с ними и растрачивают свою энергию. В этих условиях вероятность выхода вторичных электронов наружу мала. Напротив, в полупроводниках и диэлектриках концентрация электронов проводимости мала, столкновения с ними происходят реже, а вероятность выхода электронов из эмиттера возрастает в несколько раз. Поэтому не существует металлов с большими

коэффициентами  $\sigma$  и эффективные эмиттеры встречаются только среди полупроводников и диэлектриков. Значение  $\sigma$  в максимуме для всех чистых металлов не превышает 2, а для некоторых металлов даже меньше единицы. Так, для меди  $\sigma_{\text{макс}} = 1,29$ , никеля 1,25, серебра 1,47, платины 1,78, бериллия 0,53, алюминия 0,97. У полупроводников  $\sigma_{\text{макс}}$  может достигать 10 и больше. Для получения сильной вторичной эмиссии на практике применяются *сложные катоды* (эмиттеры), состоящие из металлической подложки, на которой химическим путем и специальной обработкой создан тонкий слой полупроводника. Таковы, например, *сурьмяно-цезиевые эмиттеры*, получаемые обработкой сурьмы в парах цезия, *серебряно-цезиевые эмиттеры*, изготавливаемые путем окисления серебра с последующей обработкой цезием, и другие аналогичные эмиттеры. Для таких эмиттеров  $\sigma_{\text{макс}} \sim 10$ .

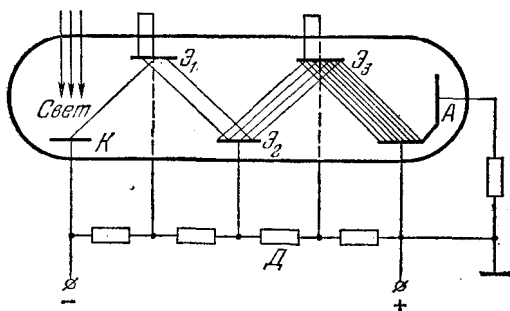


Рис. 252.

2. Вторичная электронная эмиссия используется в *фотоэлектронных умножителях* (ФЭУ), предназначенных для усиления слабых электрических токов. Этот прибор представляет собой вакуумную трубку с катодом  $K$  и анодом  $A$ , между которыми расположено несколько электродов, эмиттирующих вторичные электроны (рис. 252). На эти электроды подается электрическое напряжение посредством делителей  $D$ . Падающее электромагнитное излучение вырывает электроны с поверхности катода. Под действием электрического поля слабый электронный пучок ускоряется и направляется к эмиттеру  $\mathcal{E}_1$ , на котором происходит вторичная электронная эмиссия. Электроны с первого эмиттера направляются на второй эмиттер  $\mathcal{E}_2$ , где происходит вторичное усиление, и т. д. В результате получается усиленный во много раз (от  $10^5$  до  $10^9$ ) фототок, который и снимается с анода  $A$ .

3. Вторичная электронная эмиссия возникает не только при бомбардировке эмиттера электронами, но и при бомбардировке тяжелыми частицами — положительными и отрицательными ионами.

Коэффициент вторичной эмиссии, т. е. среднее число электронов, вырываемых одной первичной частицей, здесь меньше, чем при бомбардировке электронами. Эмиссия электронов возникает также при облучении поверхности тела светом и другими короткими электромагнитными волнами (*фотоэлектрический эффект*). Это явление будет рассмотрено в пятом томе нашего курса.

4. Эмиссия электронов из поверхности металлов может происходить под действием *сильного* электрического поля, вырывающего электроны из металла. Это явление называется *автоэлектронной* или *холодной эмиссией*. Для его наблюдения может служить хорошо откачанная вакуумная трубка, катодом которой служит металлическое острие, а анодом — обычный электрод с плоской или мало изогнутой поверхностью. При наложении напряжения на трубку у поверхности катода возникает сильное электрическое поле. Для оценки его величины катод можно считать маленьким шариком, а анод — удаленным в бесконечность. Если  $a$  — радиус шарика, а  $V$  — напряжение на трубке, то заряд шарика будет  $q = Va$ , а напряженность электрического поля на расстоянии  $r$  от центра шарика  $E = q/r^2 = Va/r^2$ . На самой поверхности шарика  $E = V/a$ . Пусть, например, радиус кривизны кончика острия  $a = 10^{-2}$  мм. Тогда при напряжении  $V = 1000$  В у поверхности катода возникнет поле  $E \sim 10^6$  В/см. Если постепенно повышать напряжение на трубке, то при напряженности поля  $E$  у поверхности катода  $\sim 10^5$ — $10^6$  В/см в трубке возникает слабый ток, обусловленный автоэлектронной эмиссией с поверхности катода. Сила этого тока быстро увеличивается с повышением напряжения на трубке. Ток возникает и при холодном катоде. По этой причине эмиссия и называется холодной. При дальнейшем повышении напряжения катод начинает сильно нагреваться и испаряться, а в трубке возникает газовый разряд. Объяснение механизма автоэлектронной эмиссии возможно только на основе волновой (квантовой) механики, а потому мы отложим этот вопрос до пятого тома нашего курса.