

УДК 621.38
К89

Рецензент
канд. физ.-мат. наук, доцент *Ю.В. Осипов*

Кузнецов Г.Д., Курочка С.П., Лобачев И.В.
К89 Вакуумная и плазменная электроника: Лаб. практикум. –
М.: МИСиС, 2005. – 83 с.

Лабораторный практикум выполняется по курсу «Вакуумная и плазменная электроника». В нем рассматриваются основы физики газового электрического разряда, условия ускорения заряженных частиц, ионно-электронной эмиссии с поверхности материалов, принципы передачи телевизионного изображения, параметры кинескопов и их конструктивные особенности, а также принципы работы самосканирующейся газоразрядной матричной панели.

Приводится методика расчета параметров газоразрядной плазмы, обеспечения заданной скорости заряженных частиц, коэффициента ионно-электронной эмиссии.

Дается методика определения основных параметров электронно-лучевой трубки и плазменной панели с помощью реальных испытательных стендов.

Предназначен для студентов, обучающихся по специальности «Микроэлектроника и твердотельная микроэлектроника» и направлению «Электроника и микроэлектроника».

СОДЕРЖАНИЕ

| | |
|---|----|
| Введение | 5 |
| Лабораторная работа 1. Анализ условий зажигания газового разряда | 6 |
| 1. Теоретическое введение | 6 |
| 1.1. Электрический ток при ионизации электронным ударом | 6 |
| 1.2. Электрический ток при ударной ионизации электронами и ионами | 12 |
| 1.3. Условие зажигания разряда и закон Пашена | 14 |
| 1.4. Полная характеристика газового разряда | 16 |
| 2. Порядок выполнения работы | 18 |
| 3. Оформление результатов | 19 |
| Контрольные вопросы | 19 |
| Лабораторная работа 2. Исследование ускорения элементарных частиц электрическим полем | 20 |
| 1. Теоретическое введение | 20 |
| 2. Порядок выполнения работы | 23 |
| 3. Оформление результатов отчета | 25 |
| Контрольные вопросы | 25 |
| Лабораторная работа 3. Исследование закономерности изменения коэффициента ионно-электронной эмиссии в зависимости от ионного воздействия на материал катода | 25 |
| 1. Теоретическое введение | 25 |
| 1.1. Модельные представления о выходе вторичных электронов ... | 25 |
| 1.2. Методика определения коэффициента ионно-электронной эмиссии | 31 |
| 2. Порядок выполнения работы | 33 |
| 3. Оформление результатов | 36 |
| Контрольные вопросы | 36 |
| Лабораторная работа 4. Исследование рабочих характеристик осциллографической электронно-лучевой трубки | 37 |
| 1. Теоретическое введение | 37 |
| 1.1. Принципы работы электронно-лучевой трубки | 37 |
| 1.2. Параметры кинескопов и их конструктивные особенности | 42 |
| 2. Описание испытательного стенда | 46 |
| 3. Порядок выполнения работы | 47 |
| 3.1. Последовательность включения испытательного стенда и снятие параметров трубки | 47 |
| 3.2. Обработка результатов измерений | 48 |
| 4. Оформление результатов | 49 |
| Контрольные вопросы | 50 |

| | |
|---|----|
| Лабораторная работа 5. Исследование рабочих характеристик приемной телевизионной электронно-лучевой трубки..... | 51 |
| 1. Теоретическое введение..... | 51 |
| 1.2. Основные параметры кинескопов и их конструктивные особенности..... | 53 |
| 2. Схема испытательного стенда..... | 56 |
| 3. Порядок выполнения работы..... | 57 |
| 4. Оформление результатов работы..... | 58 |
| Контрольные вопросы..... | 60 |
| Лабораторная работа 6. Исследование яркостных характеристик газоразрядной панели постоянного тока..... | 61 |
| 1. Теоретическое введение..... | 61 |
| 1.1. Механизм электрического разряда и эффект Пеннинга | 63 |
| 1.2. Интервал памяти и подготовка ячейки..... | 66 |
| 1.3. Временная задержка при ионизации и деионизации | 68 |
| 1.4. Яркость и эффективность газоразрядной матричной панели.... | 71 |
| 2. Конструкция газоразрядной матричной панели и принцип ее работы | 72 |
| 3. Конструкция и принцип работы самосканирующейся газоразрядной матричной панели | 76 |
| 4. Схема испытательного стенда..... | 79 |
| 5. Порядок выполнения работы..... | 81 |
| 6. Оформление результатов работы..... | 81 |
| Контрольные вопросы..... | 82 |
| Библиографический список..... | 82 |

ВВЕДЕНИЕ

В связи с широким использованием вычислительной техники, автоматизированных систем управления, средств и систем массового обслуживания, а также электронных приборов индивидуального пользования все большее значение приобретают устройства отображения информации.

В настоящее время известно и широко применяется на практике большое число разнообразных устройств отображения информации. Наибольшее распространение среди них получили электронно-лучевые трубки, газоразрядные индикаторные устройства (плазменные панели), светоизлучающие диоды и жидкокристаллические дисплеи.

В лабораторном практикуме рассматриваются устройства, действие которых основано на использовании свободных электронов и ионов, т.е. на явлениях электрического разряда в вакууме или в газах. Рассматриваются основы физики газового электрического разряда, условия ускорения заряженных частиц в электрическом поле, ионно-электронной эмиссии с поверхности материалов, принципы передачи телевизионного изображения, параметры кинескопов и принципы работы самосканирующейся газоразрядной матричной панели.

Лабораторный практикум выполняется как на персональных ЭВМ, так и на современном измерительном оборудовании, выполненном в виде испытательных стендов.

Лабораторная работа 1

(2 часа)

АНАЛИЗ УСЛОВИЙ ЗАЖИГАНИЯ ГАЗОВОГО РАЗРЯДА

Цель работы – установить оптимальные условия зажигания газового электрического разряда на основании закона Пашена.

1. Теоретическое введение

1.1. Электрический ток при ионизации электронным ударом

*Коэффициент ионизации Таунсенда
и удельная ионизация*

Если электрон движется через газ под влиянием электрического поля, то на своем пути он претерпевает соударения с некоторым количеством молекул или атомов газа (число их определяется давлением газа). Даже если энергия электрона, приобретенная им в поле, будет меньше энергии, необходимой для ионизации ($W_i = eU_i$) газа, тем не менее, он может полностью или частично передать свою энергию этому газу, переводя его в возбужденное состояние. В том случае, если энергия электрона равна или больше энергии ионизации, то атомы (или молекулы) газа могут быть ионизованы.

Число пар носителей заряда, образующихся при ударной ионизации одним электроном на 1 см длины его пробега, называют коэффициентом ионизации Таунсенда α , 1/см. Величина α зависит от давления газа p , от рода газа, от потенциала ионизации U_i , а также от напряженности поля E в разрядном промежутке.

Пусть электрон после последнего соударения с нейтральной молекулой газа имеет скорость равную нулю. Тогда после прохождения пути x в направлении поля он может снова ионизовать газ, если выполняется условие:

$$eEx \geq eU_i \text{ или } x \geq \frac{U_i}{E}. \quad (1.1)$$

Следовательно, путь x должен быть по крайней мере равен U_i/E . Доля электронов, которые могут пройти путь x без столкновения при данном давлении газа, (согласно закону Клаузиуса для распределения длин пробега) рассчитывается по формуле

$$\frac{N_x}{N_0} = f(x) = e^{-x/\lambda_e}, \quad (1.2)$$

где N_0 – число электронов при $x = 0$, λ_e – средняя длина свободного пробега электронов (т.е. средняя величина пути между двумя соударениями).

Функция $f(x)$ дает одновременно и долю электронов, длина свободного пробега которых превосходит x . Путем дифференцирования функции $f(x)$ получают долю электронов, длина свободного пробега которых лежит в интервале от x до $x + dx$, что соответствует числу соударений в этом интервале:

$$\left| \frac{df(x)}{dx} \right| = \frac{1}{\lambda_e} e^{-x/\lambda_e}. \quad (1.2a)$$

Число соударений на единице длины в точке $x = U_i/E$ (когда энергия электрона достигает значения, соответствующего потенциалу ионизации U_i) определяет коэффициент ионизации α . Тогда, используя соотношение (1.1), получим:

$$\alpha = \frac{1}{\lambda_e} e^{-U_i/E\lambda_e}. \quad (1.3)$$

Как будет показано далее, средняя длина свободного пробега электрона в газе обратно пропорциональна давлению газа p . Следовательно, $\lambda_e = C_1/p$ (где C_1 – постоянная) и соотношение (1.3) можно записать следующим образом:

$$\alpha = \frac{p}{C_1} e^{-U_i p / EC_1}. \quad (1.3a)$$

Обозначив $1/C_1 = A$ и $U_i/C_1 = B$, получаем:

$$\alpha = A p e^{-Bp/E}. \quad (1.4)$$

Это и есть формула Таунсенда для ионизации. Она определяет коэффициент ионизации α для электродов любой формы как функцию давления p и напряженности поля E в газоразрядной лампе, в которой носители заряда образуются в результате ударной ионизации электронами. Коэффициент α , как функция давления, проходит при постоянной напряженности поля через максимум при $p_0 = E/B$ («эффект Столетова»); при этом давлении $\alpha = \alpha_{\text{макс}} = Ap_0/e$. Характерные для каждого газа величины A , 1/см·мм рт. ст., и B , в/см мм рт. ст. называют постоянными Таунсенда; они связаны между собой соотношением

$$B = U_i A. \quad (1.5)$$

Как показано в табл. 1.1, соотношение (1.5) только весьма приблизительно согласуется с экспериментально найденными значениями. Причины такого расхождения заключаются в следующем.

Во-первых, в уравнении (1.1) принимается, что электрон способен ионизировать, если его кинетическая энергия $E_k \geq W_i$. В действительности вероятность ионизации при $E_k = W_i$ практически равна нулю, а далее растет постепенно с увеличением энергии электрона и достигает максимума при $E_k \approx (4...6)W_i$.

Во-вторых, в действительности электроны движутся не вдоль силовых линий электрического поля, а по довольно сложным траекториям, при этом скорость движения электрона по траектории будет на порядок больше, чем скорость их дрейфа в направлении поля.

Несмотря на этот источник ошибок, уравнение (1.4) с достаточной степенью точности применимо для некоторой области значений E/p (указаны в табл. 1.1).

Таблица 1.1

Связь потенциала ионизации с параметрами Таунсенда

| Тип газа | A , 1/см мм рт. ст. | B , В/см мм рт. ст. | Область значений E/p , В/(см мм рт. ст) | U_i , В |
|----------------|-----------------------|-----------------------|---|-----------|
| Воздух | 13,2 | 278 | 100...800 | (34) |
| N ₂ | 12 | 342 | 100...600 | 15,5 |
| H ₂ | 5 | 130 | 150...600 | 15,4 |
| He | 3 | 34 | 20...150 | 24,5 |
| Ag | 14 | 180 | 100...600 | 15,7 |
| Xe | 26 | 350 | 200...800 | 12,1 |
| Hg | 20 | 370 | 200 – 600 | 10,4 |

На рис. 1.2 представлен ход функции $\alpha/p = f(E/p)$ согласно уравнению (1.4).

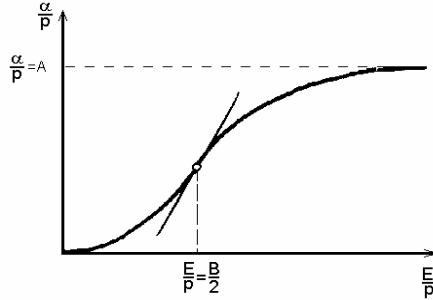


Рис. 1.1. Теоретический ход функции $\alpha/p = f(E/p)$

Отношение α/p при $p = 1$ мм рт. ст. называют удельной ионизацией S_0 , $1/(\text{см мм рт. ст.})$. Она равна числу пар носителей, которое образуется одним электроном на 1 см длины свободного пробега при давлении $p = 1$ мм рт. ст. По уравнению (1.4) при $p = 1$ мм рт. ст. имеем

$$S_0 = Ae^{-B/E} = f(U), \quad (1.6)$$

где U – ускоряющее электроны напряжение.

Теоретический ход функции $S_0 = f(U)$ согласуется с точностью до постоянной величины с ходом кривой на рис. 1.2. Для сравнения на рис. 1.2 приведено несколько экспериментальных кривых для удельной ионизации S_0 как функции ускоряющего электроны напряжения для различных газов.

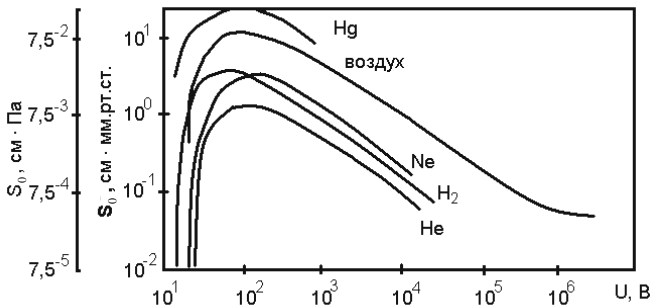


Рис. 1.2. Зависимость удельной ионизации от ускоряющего напряжения для различных газов