

троны (или те и другие в тонкий слой между p - и n -областями). Свечение возникает при рекомбинации электронов и дырок в p - n -слое.

Предпробойная Э. наблюдается, напр., в порошкообразном ZnS, активированном Cu, Al, и др. веществах, помещённых в диэлектрик между обкладками конденсатора, на к-рый подаётся перем. напряжение звуковой частоты. При макс. напряжении на обкладках конденсатора на краях частичек люминофора концентрируется сильное электрич. поле, к-рое ускоряет свободные электроны, и происходят процессы, близкие к электрич. пробою. Электроны ионизируют атомы; образовавшиеся дырки захватываются *центрами свечения*, на к-рых рекомбинируют электроны при изменении направления поля.

Подобный механизм реализуется и в многослойных тонкоплёночных системах, где светящаяся плёнка толщиной ок. 1 мкм изолирована от обкладок конденсатора ещё более тонкими слоями диэлектрика. Особенностью таких систем является возможность создания в слое люминофора очень высокой напряжённости электрич. поля ($\sim 10^8$ В/м), благодаря чему удаётся получить по неск. квантов света от каждого прошедшего сквозь слой электрона. Др. особенность — возможность получения бистабильного режима, в к-ром стационарная яркость свечения зависит от того, достигнута ли данная амплитуда напряжения путём его повышения или понижения.

Возможны и др. механизмы предпробойной Э. — прямое возбуждение центров свечения электронным ударом, а также внутризонная Э., наблюдаемая в p - n -переходах, включённых в заперном направлении. При внутризонной Э. свободные электроны (или дырки) испускают свет при переходах в пределах зоны проводимости (валентной зоны), без участия центров свечения. Такая Э. отличается крайне широким спектром, охватывающим всю область прозрачности полупроводника и даже заходящим в область собств. поглощения.

Э. газов (свечение газового разряда) используется в газоразрядных трубках. Э. тв. тел применяется для индикаторных устройств (электролюминесцентные, знаковые индикаторы, мнемосхемы, преобразователи изображений и т. д.).

Применяемые в настоящее время системы с предпробойной Э. изготавливаются гл. обр. на основе ZnS. Они подвержены деградации (постепенному снижению яркости во время работы) вследствие ионных процессов под действием сильного электрич. поля. Значительно более стойки системы на основе GaN, но технология их изготовления ещё недостаточно разработана. Разрабатываются также системы на основе органич. соединений с двойными связями.

Лит.: Прикладная электролюминесценция, М., 1974; Верещагин И. К., Электролюминесценция кристаллов, М., 1974; Вережкин Ю. Н., Деградационные процессы в электролюминесцентных твердых тел., Л., 1983. М. В. Фок.

ЭЛЕКТРОМАГНИТНАЯ ИНДУКЦИЯ — возникновение электрич. поля, электрич. тока или электрич. поляризации при изменении во времени магн. поля или при движении материальных сред в магн. поле. Различают два типа эффектов Э. и. Один из них состоит в наведении вихревого электрич. поля $E(r, t)$ перем. магн. полем $B(r, t)$:

$$\text{rot } E = - \frac{1}{c} \frac{\partial B}{\partial t} \quad \text{или}$$

$$\mathcal{E} = \oint_l E dl = - \frac{1}{c} \int_S B dS = - \frac{1}{c} \frac{\partial \Phi}{\partial t}, \quad (1)$$

где S — поверхность, ограниченная фиксир. контуром l , Φ — магн. поток через S (направления нормали к S и обхода по контуру l связаны правилом правого винта). Соотношения (1) являются строгими ур-ниями классич. электродинамики (см. *Максвелла уравнения*) и универсально применимы как к свободному пространству (электродинамика вакуума), так и к произвольным средам и системам (неподвижным и движущимся).

В простейших случаях замкнутых неподвижных квазистационарных электрич. цепей, выполненных из достаточного тонких проводов, циркулирующ. электрич. поля \mathcal{E} в (1) может приближённо трактоваться как *электродвижущая сила* (эдс) Э. и. в «проводящем контуре» $\mathcal{E}_{\text{эл}}^{(1)}$, если контурный интеграл в (1) слабо зависит от выбора пути интегрирования внутри проводника. Эдс Э. и. определяется через работу электрич. поля над током в ед. времени (P):

$$P = \mathcal{E}_{\text{эл}}^{(1)} \cdot I = \int_V E \cdot j dV; \quad I = \int_{S_n} j \cdot dS_n. \quad (2)$$

Здесь $j(r, t)$ — плотность тока в проводнике, I — электрич. ток, к-рый в квазистационарном приближении считается одинаковым для всех нормальных сечений S_n проводящего контура. В тех случаях, когда зависимостью E и j от координат поперечного сечения проводника можно пренебречь, выражение (2) преобразуется к виду (1) подстановкой: $j = II/S_n$; $dV = S_n dl$; $dl = l dl$. Такая ситуация обычно имеет место при внешней Э. и., когда поток Φ можно считать сторонним, независимым от наводимых в контуре токов j , создаваемым, напр., достаточно удалёнными источниками. Напротив, при самоиндукции, когда эдс в цепи наводится магн. полем, создаваемым перем. током в той же цепи, магн. поле всегда существенно изменяется от точки к точке нормального сечения провода. В этом случае, а также для более точных расчётов эдс внешней Э. и. производят усреднение в (2) по линиям тока в проводе: $\mathcal{E}_{\text{эл}}^{(1)} = -(1/c) \partial \langle \Phi_i \rangle / \partial t$, где Φ_i — магн. поток через поверхность S_i , ограниченную линией тока l_i , $\langle \dots \rangle$ — знак усреднения. Поток $\Phi = \langle \Phi_i \rangle$ наз. сцепленным с контуром магн. потоком.

Др. тип эффектов Э. и. связан с движением материальных сред (проводников, изоляторов, тв. тел, жидкостей, газов, плазмы) в стационарном магн. поле $B(r)$. На заряж. частицы в движущихся телах действует магнитная *Лоренца сила* $F^m = (e/c) [vB]$ (v — скорость носителей заряда), приводящая к разделению зарядов противоположных знаков, к генерации электрич. токов в проводниках, к поляризации диэлектриков. Индуцируемые электрич. поля при этом потенциальны ($\text{rot } E = -(1/c) \partial B / \partial t = 0$). Усреднённые по физически малому объёму силы F^m имеют плотность $f^m = (1/c) [jB]$ и совершают механич. работу с мощностью

$$P_{\text{мех}} = \frac{1}{c} \int_V [jB] u dV, \quad (3)$$

где $u = \langle v \rangle$ — ср. скорость носителей заряда. Эдс Э. и. $\mathcal{E}_{\text{эл}}^{(2)}$ определяется из соотношения

$$P_{\text{мех}} + \mathcal{E}_{\text{эл}}^{(2)} \cdot I = 0, \quad (4)$$

к-рое следует из равенства нулю суммарной работы сил Лоренца ($F^m \perp v$). Как видно из (4), при Э. и. (2-го типа) происходит преобразование механич. энергии в электромагнитную, если $\mathcal{E}_{\text{эл}}^{(2)} \cdot I > 0$ (как это имеет место в динамомашине) или, наоборот, электромагнитной — в механическую, если $\mathcal{E}_{\text{эл}}^{(2)} \cdot I < 0$ (в электродвигателях).

Для электрич. цепей, состоящих из тонких проводников, можно (так же, как это делалось выше) перейти от интегрирования по объёму в (3) к интегрированию вдоль некого контура внутри провода:

$$\mathcal{E}_{\text{эл}}^{(2)} = \frac{1}{c} \oint_l [uB] dl. \quad (5)$$

В тв. телах с электронной или дырочной проводимостью поперечная (к dl и B) составляющая скорости u определяется локальным значением скорости контура $u_k(r, t)$ ($u_{\perp} = u_{k\perp}$), что позволяет объединить эдс $\mathcal{E}_{\text{эл}}^{(1)}$ и $\mathcal{E}_{\text{эл}}^{(2)}$:

$$\mathcal{E}_{\text{эл}}(t) = - \frac{1}{c} \frac{d\Phi}{dt} = \oint_l \left(E + \frac{1}{c} [u_k B] \right) dl. \quad (6)$$