

$T \geq 5000$ К, что исключает прилипание. Лидерный ток $i_{\text{л}} \sim 1$ А складывается из токов множества стримеров, зарождающихся у лидерной вершины. Этот суммарный ток достаточен, чтобы нагреть воздух до $T \geq 2500$ К, когда прекращается прилипание. Схема лидерного процесса в многометровом воздушном промежутке между стержневым анодом и заземлённой плоскостью (что типично для экспериментов) показана на рис. 9. Лидерный канал, обладая высокой проводимостью, в значительной мере переносит потенциал анода к вершине, где поле очень сильное, как около острия.

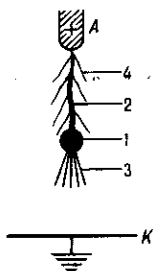


Рис. 9. Лидер: 1—светящаяся головка ($r \sim 0,5$ см); 2—канал ($r \sim 10^{-2} - 10^{-1}$ см); 3—стримерная зона; 4—остатки стримеров («чехол»).

Напряжение пробоя длинных промежутков (~ 10 м) достигает МВ, но ср. поля в промежутке ($E \sim 1$ кВ/см·атм — 1 В/см·тор) в десятки раз меньше, чем при таунсендовском пробое. Ионизация газа идёт только в областях сильного собств. поля лидерной и стримерных вершин. Когда лидер достигает заземлённого электрода, по его каналу, всё ещё находящемуся под высоким потенциалом, со скоростью $\sim 10^9$ см/с проходит обратная волна снятия напряжения (возвратный удар). Благодаря сильнейшему полю на фронте волны ионизация в канале резко возрастает и он превращается в искровую с равновесной плазмой при $T_e \approx T \approx 20000$ К.

При постепенном подъёме напряжения на стержневом электроде искровому пробое предшествует коронный разряд, напряжение зажигания к-рого ниже, чем напряжение пробоя.

Применения. Газовые разряды применяют в газосветных приборах, в электронных диодах с газовым наполнением, тиратронах, ртутных выпрямителях (игнитронах), в качестве стабилизаторов напряжения в счётчиках Гейгера ядерных частиц, в антенных переключателях, озонаторах, магнитогидродинамических генераторах. Широко используются электродуговая сварка, электродуговые печи для плавки металлов, дуговые коммутаторы. Получили большое распространение генераторы плотной равновесной низкотемпературной плазмы с $T \sim 10^4$ К, $p \sim 1$ атм — плазмотроны (дуговые, индукционные, СВЧ). В них продуванием холодного газа через соответствующий разряд получают плазменную струю. Плетущий и ВЧЕ-разряды используют для создания активной среды в лазерах самой разл. мощности — от мВт до многих кВт, в плазмохимии. Эти и др. приложения, использование результатов исследований Э. п. в г. в технике высоких напряжений поставило физику газового разряда в ряд наук, к-рые служат фундаментом совр. техники.

Лит.: Грановский В. Л., Электрический ток в газе. Установившийся ток, М., 1971; Ховатсон А. М., Введение в теорию газового разряда, пер. с англ., М., 1980; Райзер Ю. П., Физика газового разряда, 2 изд., М., 1992.

ЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ ПРОБОЙ диэлектриков и полупроводников — резкое падение их электрич. сопротивления при достаточно высоком приложенном к образцу напряжении (см. также *Пробой электрический*). Э. п. отличается от теплового пробоя тем, что на подготовит. стадии пробоя ни разогрев, ни хим. процессы не имеют существенного значения, а также малым временем развития пробоя, слабой зависимостью пробивного напряжения от темп-ры. Э. п. обусловлен ударной ионизацией атомов и молекул электронами. Электрон получает возможность ударной ионизации, если энергия U , передаваемая ему электрич. полем, оказывается больше энергии U' , теряемой электроном при рассеянии на фонах, дефектах и примесях кристаллич. решётки. При этом электрон мо-

жет ускоряться в электрич. поле до энергии, достаточной для ионизации атомов и молекул электронным ударом и тем самым для развития лавинного процесса.

Теория ударной ионизации основана на анализе *кинетического уравнения Больцмана*, решение к-рого даёт значительные величины *электрической прочности* $E_{\text{пр}}$:

$$eE \frac{\partial f(\epsilon, \theta)}{\partial p_z} = \varphi_{\text{рас}} + \varphi_{\text{ион}} + \varphi_{\text{возб}} + \varphi_{\text{рек}}$$

Здесь E — напряжённость электрич. поля в направлении oz , e — заряд электрона, p_z — проекция его импульса, $f(\epsilon, \theta)$ — ф-ция распределения электронов по энергии и направлениям импульса (θ — угол между E и p), $\varphi_{\text{рас}}$, $\varphi_{\text{ион}}$, $\varphi_{\text{возб}}$, $\varphi_{\text{рек}}$ — изменение распределения f за счёт процессов рассеяния, ионизации, возбуждения и рекомбинации. Левая часть уравнения представляет собой изменение ф-ции f при ускорении электронов электрич. полем. Отсутствие стационарного решения уравнения соответствует Э. п. Критерием Э. п. выбраны равенство энергии электронов $U_{1/2}$, разделяющей совокупность электронов после акта ионизации на 2 равные половины, и энергии, соответствующей условию $U = U'$. При этом концентрация электронов *проводимости* будет возрастать при небольшом превышении напряжённости поля над значением $E_{\text{пр}}$, соответствующим этому критерию.

Зависимости $E_{\text{пр}}$ от темп-ры T для кристаллов NaCl, KBr совпадают с полученными экспериментально. Эксперимент позволил установить наличие минимума на зависимости напряжения пробоя $V_{\text{пр}}$ от толщины h кристаллов NaCl при $h \approx 1$ мкм (что соответствует кривой Пашена для электрич. пробоя газов), а также зависимость времени t развития пробоя от h , к-рая, как и в газах, состоит из двух участков; на первом t уменьшается с ростом h , затем резко спадает на 2—3 порядка. На втором участке t растёт при увеличении h . Предполагалось, что второй участок соответствует т. н. однолавино-стримерному пробое, а первый — многолавино-стримерному пробое, при к-ром время развития пробоя включает и время «статистич. ожидания» попадания неск. лавин в одну область на аноде, чтобы суммарный объёмный заряд был достаточен для развития *стримера*.

В дальнейшем оказалось, что ширина зоны проводимости кристалла (см. *Зонная теория*) недостаточна для того, чтобы электрон смог приобрести энергию, необходимую для ударной ионизации в *диэлектриках*, обладающих широкой запрещённой зоной. Кроме того, теория ударной ионизации не даёт представления о самом процессе развития Э. п., а лишь определяет критерий пробоя и оценивает величину электрич. прочности.

Дальнейшее развитие теории Э. п. твёрдых диэлектриков и полупроводников основано на представлении о доменной неустойчивости. В сильных электрич. полях вольт-амперная характеристика (ВАХ) может иметь S-образную форму, что приведёт к *индуированию тока*, или N-образную форму и это ведёт к образованию доменов сильного электрич. поля (см. *Ганна эффект*).

Регистрируя быстротекающие процессы с большим разрешением по времени (до 10^{-9} с) и по координатам (до 1 мкм), *электронно-оптические преобразователи* и скоростная фоторегистрация (включая фотографирование с лазерной подсветкой) позволили наблюдать процесс образования и развития канала пробоя в диэлектрике, изучать распространение ударных волн и образование плазмы в канале пробоя. Обнаружено много сходного в развитии процесса пробоя в газах, жидких и твёрдых диэлектриках.

Э. п. полимеров может быть обусловлен сдвиганием полимерной плёнки (электромеханич. пробой), а также разрывом молекулярных цепей под действием сил электрич. поля на молекулы, приобретающие электрич. заряд в сильном электрич. поле. Последний механизм подтверждается снижением механич. прочности (в 6 и более раз) в электрич. поле с напряжённостью $2 \cdot 10^7$ В/м, существенно меньшей не только электрич. прочности