عایق‌های فشار قوی

مقدمه:

در صنعت ولتاژ بیشتر از هزار ولت را ولتاژ فشار قوی و ولتاژ کمتر از هزار ولت را ولتاژ فشار ضعیف می‌نامند.

برای انتقال سالم و با بازدهی انرژی الکتریکی در فواصل طولانی از ولتاژ فشار قوی استفاده می‌شود. به منظور کاهش تلفات و افت ولتاژ در خطوط

کاربردهای برق فشار قوی: ۱- زیرسازه‌ها ۲- پست‌ها و برق ۳- خطوط انتقال برق ۴- صنایع ۵- تحقیقات هسته‌ای ۶- دستگاه‌های شتاب دهنده الکترونی

در استفاده از سیستم‌های فشار قوی طراحی سیستم‌ها عایق از اهمیت زیادی برخوردار است

انواع عایق‌ها:

۱- عایق‌های گازی ۲- عایق‌های جامد ۳- عایق‌های مایع ۴- ایجاد خلاء ۵- ترکیبی از آنها

وظیفه عایق‌ها: جداسازی ولتاژ فشار قوی نسبت به یکدیگر و همچنین نسبت به زمین یا بدنه. تمام ولتاژ و جریان فشار قوی‌ها در مسیر مربوطه باید خود قرار گیرد و هم از بروز خسارت و ضرر و زیان به اموال و تجهیزات جلوگیری شود

عایق ایده‌آل: یک نارسانای جریان الکتریسیته است که هیچ جریان الکتریکی را از خود عبور نمی‌دهد.

در ولتاژهای عادی (کم) مقاومت الکتریکی عایق خیلی زیاد است و جریان خیلی کمی از آن عبور می‌کند

در ولتاژهای بالا از عایق، جریان قابل ملاحظه‌ای عبور می‌کند، در واقع عایق خاصیت عایقی خود را از دست داده و دچار شکست الکتریکی می‌شود.

در حالت عادی عایق نسبت به یک خازن است که دو الکترود در دو طرف آن، صفحات خازن هستند (عایق‌ها الکتریک خازن‌ها است) و با اعمال ولتاژ این خازن شارژ می‌شود. پس از شکست الکتریکی عایق، این خازن‌ها شارژ و تخلیه می‌گردد به همین دلیل پدیده شکست الکتریکی عایق‌ها را تخلیه الکتریکی نیز می‌نامند.

استقامت الکتریکی عایق‌ها برحسب بالاترین شدت میدان الکتریکی قابل تحمل، قبل از تخلیه الکتریکی می‌سنجند $\frac{kV}{mm}$ یا $\frac{kV}{cm}$

مواد عایق مورد استفاده در صنعت:

۱- لاستیک ۲- آسفالت ۳- میکا ۴- پنبه ۵- پنبه نشوره ۶- فیبر ۷- PVC ۸- پلاستیک‌ها ۹- پلی ناسیدها ۱۰- پلی استرن ۱۱- پلی اتیلن ...

Scanned by CamScanner

ویژگی‌های یک ماده عایقی:

1- رفتار مکانیکی ← رفتار مکانیکی یک ماده عایقی باید مناسب باشد برای کاربردهای مختلف

2- رفتار حرارتی

3- پارامترهای دیالکتریک

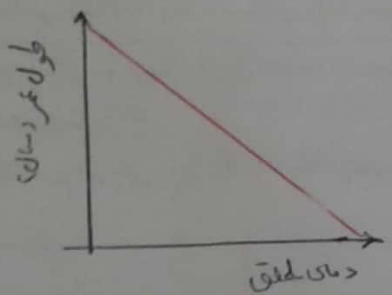
4- خصوصیات الکتریکی

5- عوامل اقتصادی

2- رفتار حرارتی: یک ماده عایقی باید در یک دوره کوتاه، اضافه بار و حرارت‌های بسیار بالا را تحمل کند.

ویژگی‌های عایق‌ها (مواد) با افزایش دما تغییر می‌کند. شیرینی شدن عایق‌ها باعث به نقطه‌ای برسد که باعث تغییر شکل و فرسودگی شدن از اندازه آن شود. یک ماده عایق در مدت زمان طولانی در معرض حرارت قرار گیرد خصوصیات نیایی آن تغییر می‌کند و این کار باعث تغییر در خصوصیات مکانیکی آن می‌شود و در نتیجه نهایی فرسودگی را به همراه دارد. بنابراین مدت زمان عملکرد عایق با دمای مطلق آن عایق نسبت عکس دارد.

↓ طول عمر ← if T↑ →



رفتار دیالکتریک:

رفتار دیالکتریک به رفتار محیط روی ماده عایق بستگی دارد. محیط همان هوا حاوی رطوبت است. الکترون موجود در هوا می‌تواند باعث اکسیداسیون عایق و تغییر ویژگی‌های فیزیکی آن شود. و در نتیجه مقاومت عایقی آن را پایین می‌آورد.

رفتار الکتریکی: از مهمترین خصوصیات هر ماده عایق استقامت الکتریکی آن عایق است. استقامت الکتریکی عایق از حسب حداکثر شدت میدان الکتریکی قابل تحمل آن سنجیده می‌شود $\frac{kV}{cm}$

و لذا از شکست یک ماده عایقی به ضخامت آن بستگی دارد - میدان شکست عایق مستقل از ضخامت آن و به جنس عایق بستگی دارد.

عوامل اقتصادی:

یکی از عوامل مؤثر در طراحی عایق‌ها، طراحی بهتری است که کمترین هزینه را برای قطعیت مناسب داشته باشد. البته در صورتی که استفاده از عایق‌های آن را قطعیت باعث کوچکی حجم تجهیز شود و نهایتاً شود انتخاب عایق گرانقیمت مناسب است.

Scanned by CamScanner

طبقه بندی مواد عایقی :

مواد عایقی همیشه بر اساس دمای کار با آنها طبقه بندی می شوند

طول عمر یا عایقی ها زمانی معتبر است که دمای کار با آنها در شرایط بهره برداری همواره از دمای نامی آن بیشتر نشود.

طبقه	دما (c)	
Y	90	کاغذ - پنبه - ابریشم - PVC - لاستیک طبیعی
A	105	پنبه - ابریشم - کاغذ که به طور کامل در یک دی الکتریک غوطه ور شده است
E	120	پلی اتیلن - پلی استر
B	130	میکا - پشم شیشه - پنبه نشسته - پلی استر - -
F	155	اپوکسی رزین - مواد پر شده B ارتقا یافته برای دمای بالاتر -
H	180	لاستیک سیلیکون دار
c	up to 180	تفلن ، عایق ها گروه B که بدون آغشته به چسبند ، یا عایق ها مالی شده باشد

رابطه تقریبی برآورد تخمینی طول عمر عایقی

$$L = L_0 \times 2^{-(\theta-\theta_0)/\Delta\theta}$$

- L : طول عمر عایقی در شرایط کار با دمای θ
- L_0 : طول عمر نامی عایقی در دمای نامی θ_0 مربوط به کلاس عایقی
- $\Delta\theta$: یک دمایی است که عمر عایقی نصف می شود (برای عایق های مختلف بین 6 تا 8 درجه سانتیگراد می باشد)

عایق های گازی :

در صنعت برق عایق های گازی از اهمیت زیادی برخوردارند . بهترین استفاده آنها در کلیدها قدرت است

متداولترین عایق های گازی عبارتند از : هوا - ازت N_2 - دی اکسید کربن CO_2 - هیدروژن H_2 - هگزا فلوئور سولفور SF_6

CO_2 : برای جلوگیری از اکسیداسیون

H_2 : دارای گرمای ویژه 15 برابر هوا - بدلیل خاصیت خوب انتقال حرارت معمولاً در خنک سازی ژنراتورها استفاده می شود.

SF_6 : دارای استحکام عایقی 2 تا 3 برابر هوا است - از لحاظ حرارتی بسیار پایدار و بدون اثر روی فلز است

ایجاد جریان الکتریکی در گازها نیازمند وجود ذرات باردار (الکترون و یون) دارد. تحت تأثیر میدان الکتریکی ذرات باردار در راستای میدان الکتریکی حرکت کرده و یک جریان را بوجود می آورند.

تعداد ذرات باردار در گازها خیلی کم است - بنابراین گازهای عایقی خوبی هستند و جریان الکتریکی در آنها بسیار کم و در حد مطلوب است - در شرایط عادی

Scanned by CamScanner

در مدل اتمی بور ، الکترون‌هایی که در حرکت می‌باشند دارای مدارهایی هستند که هر مدار دارای سطح مشخصی از انرژی است

الکترون ولت : مقدار الکترون ولت بیانگر مقدار کاری است که توسط میدان الکتریکی برای انتقال یک الکترون بین دو نقطه با اختلاف پتانسیل یک ولت انجام می‌شود.

انرژی الکتریکی بین دو نقطه :

$$W_{AB} = q \int_A^B E \cdot ds = q \cdot V_{AB}$$

1.6×10^{-19} ← بار الکتریکی ، ↓ مسیر حرکت میدان ، ↘ پتانسیل دو نقطه A و B

$$W_{AB}\Big|_{1eV} = 1.6\times10^{-19} \times 1 = 1.6\times10^{-19}$$

$$1eV = 1.6\times10^{-19}$$

یونیزاسیون : عمل جداسازی الکترون از اتم یا مولکول را یونیزاسیون گویند

انرژی لازم برای انجام عمل یونیزاسیون را انرژی یونیزاسیون می‌گویند و با I نشان داده می‌شود

هدف از انجام عمل یونیزاسیون اتم یا مولکول به این منظور است که الکترون متفرقه تحریک می‌شود تا اتم یونیزه و الکترون آزاد از حرکت سعی کند می‌توانند تحت یک میدان خارجی انرژی کسب کنند

یک یون مثبت دارای هم انرژی یونیزاسیون و هم انرژی جنبشی است که انرژی یونیزاسیون زمانی آزاد می‌شود که این یون مثبت یک الکترون جذب کند و به اتم خنثی تبدیل شود

یون‌ها منفی هم وجود دارند که ناشی از جذب الکترون توسط یک اتم خنثی است اما انرژی کمتری دارد.

پتانسیل دوم یونیزاسیون : انرژی لازم جهت جدا کردن اول الکترون دوم از مولکول یا اتم خنثی انرژی لازم برای انجام این عمل را پتانسیل دوم یونیزاسیون گویند . پتانسیل دوم یونیزاسیون بیشتر از پتانسیل اول یونیزاسیون است

اتم تحریک شده : در صورتی که انرژی اعمال شده به مولکول کمتر از I باشد و آن مقدار انرژی باعث شود که الکترون از مدار اولیه خود خارج شده و به مدار بالاتری حرکت کند ، اتم تحریک یافته می‌گویند

Scanned by CamScanner

اتم تحریک شده، معمولا برای مدت کوتاهی می‌تواند در حالت تحریک باقی بماند و سپس از آن دوباره به حالت اصلی خود بازمی‌گردد
که البته این عمر همراه با آزادسازی انرژی به صورت انرژی نورانی با فرکانس نوری f می‌باشد

$$W_1 - W_2 = h \cdot f \longrightarrow$$

W_1: انرژی حالت اول — W_2: انرژی حالت دوم — f: فرکانس نوری — h: ثابت پلانک

$$h = 6.6 \times 10^{-34}\ J.Sec$$

مدت زمان تحریک این حالت در حدود 10^{-7} تا 10^{-8} ثانیه است
در بعضی از اتم‌ها این زمان تحریک بسیار کوتاه بوده، در حدود 10^{-2} ثانیه که به این حالت از اتم حالت نیمه پایدار می‌گویند.

ترکیب مجدد:
ممکن است بر اثر برخورد الکترون‌های آزاد و یونهای مثبت با الکترپذیر یک اتم خنثی ایجاد می‌گردد که این عمل خود همراه با آزادسازی انرژی نورانی با فرکانس f خواهد بود.

$$h \cdot f = W_i - \Delta W_i$$

W_i: انرژی یونیزاسیون گاز — ΔW_i: اختلاف انرژی جنبشی حاصل از برخورد

گازهای الکترونگاتیو:
در این گازها الکترونها آزاد می‌توانند با یک اتم خنثی ترکیب شوند و اتم خنثی به دلیل داشتن یک الکترون اضافی به یک یون منفی تبدیل شود. مانند گاز SF_6

انواع یونیزاسیون در گازها:
1- یونیزاسیون ضربه‌ای 2- یونیزاسیون مرحله‌ای 3- یونیزاسیون نوری 4- یونیزاسیون حرارتی
5- یونیزاسیون سطحی

1- یونیزاسیون ضربه‌ای:
اگر ذره دلخواهی به جرم m و سرعت متناسب V در مسیر حرکت خود در میدان الکتریکی داخل گاز، به یک اتم خنثی با یک مولکول برخورد کند، ممکن است در نتیجه این برخورد، اتم خنثی یا مولکول یونیزه شود و به یک یون مثبت و یک الکترون تقسیم گردد. شرط لازم برای این عمل آن است که انرژی جنبشی ذره در حال حرکت از انرژی لازم برای یونیزه کردن گاز مربوطه، آن بیشتر یا مساوی باشد

$$\frac{1}{2} m V^2 \geq W_i$$

Scanned by CamScanner

حداکثر انرژی منتقل شده در اثر برخورد برابر است

$$V_{e_1} = \frac{m_e}{m_e + m} V_{e_0}$$

سرعت الکترون بعد از برخورد

$$\Delta_{max} = \frac{\frac{1}{2} m_e V_{e_0}^2}{1 + \frac{m_e}{m}} \cong \frac{1}{2} m_e V_{e_0}^2$$

جرم یک الکترون — سرعت اولیه الکترون

حداکثر انرژی منتقل شده در اثر برخورد

جرم الکترون یا اتم هدف در حالت سکون

شرط یونیزاسیون

$$\Delta_{max} > W_i$$

2- یونیزاسیون مرحله ای :

معمولاً ذره هایی با انرژی جنبشی کمتر از انرژی لازم برای یونیزاسیون می توانند منجر به ایجاد پدیده یونیزاسیون شوند که این فرایند تحت شرایط یونیزاسیون مرحله ای اتفاق می افتد.

موارد ایجاد یونیزاسیون مرحله ای :

1- تحت شرایط فشار بالا یک مولکول در مرحله نخست یک مولکول در شرایط تحریک قرار گرفته و در مرحله کمتر از تحریک الکترون های دیگر با این مولکول برخورد نماید

2- یک الکترون در اثر برخورد با یک اتم تحریک شده انرژی آن را دریافت نماید و این انرژی بزرگتر از یا مساوی با انرژی یونیزه شده اتم تحریک شده باشد.

3- دو اتم تحریک شده به یکدیگر برخورد نمایند و انرژی حالت بازگشت به حالت عادی را به هم بدهند $h.f$

الف : الکترون e_1 با انرژی کمتری از انرژی لازم برای یونیزاسیون (W_i) دارد، با اتم هدف A_1 برخورد می کند و الکترون از آن را به مدار دورتری از هسته انتقال می دهد. حال اگر الکترون دیگری e_2 این اتم تحریک شده A_1^* را مورد اصابت قرار دهد و انرژی خود را نیز به آن منتقل سازد، اتم پس از این اصابت و یا اصابت های بعدی، یونیزه شده و به الکترون e و یون مثبت $\oplus$ تقسیم می شود.

$$e_1 + kE + A_1 \rightarrow e_1 + A_1^*$$ برخورد نوع اول

$$A_1^* + e_2 + kE \rightarrow \oplus + e + e_2$$ برخورد نوع دوم

Scanned by CamScanner

برخورد نوع اول: برخوردهایی که در آنها یونیزاسیون با انتقال انرژی جنبشی از یک ذره به ذره دیگر انجام می‌شود برخورد نوع اول گوئند

برخورد نوع دوم: برخوردهایی که در آنها یونیزاسیون با انتقال انرژی پتانسیل از یک ذره به ذره دیگر انجام می‌شود برخورد نوع دوم گوئند

ب: براثر اصابت یک الکترون آزاد شده e_1 با یک اتم تحریک شده در حالت برانگیخته A_1^* اتم، انرژی از خارج شده خود را به الکترون می‌دهد و خود به حالت اصلی A_1 بازمی‌گردد. الکترون با گرفتن انرژی، سرعت می‌گیرد (یا اصابت بعدی با اتم خنثی دیگر A_2 آن را یونیزه می‌کند)

$$e_1 + kE + A_1^* \Rightarrow e_1 + kE + A_1$$ برخورد نوع دوم

$$A_2 + e_1 + kE \Rightarrow \oplus + e + e_1$$ برخورد نوع اول

ج: براثر برخورد دو اتم تحریک شده با هم A_1^* و A_2^* که هر یک از آنها در حالت بازگشت به حالت عادی است، انرژی از اتم تحریک به حالت بازگشت به اتم دیگر منتقل می‌گردد در صورت تأمین انرژی یونیزاسیون، اتم تحریک شده یونیزه می‌شود.

$$A_1 + e_1 + kE \Rightarrow A_1^* + e_1$$ برخورد نوع اول

$$A_2 + e_2 + kE \Rightarrow A_2^* + e_2$$ برخورد نوع اول

$$A_1^* + A_2^* \Rightarrow \oplus + e + A_2$$ برخورد نوع دوم

3- یونیزاسیون نوری:

عامل دیگری که باعث ایجاد ذرات آزاد در ماده عالقی می‌گردد یونیزاسیون نوری می‌باشد بدین معنی که یونیزاسیون تحت تأثیر نور با طول موج کوتاه - دارای مقداری انرژی خواهد بود که ممکن است این میزان انرژی از بالا بیشتر باشد.

$$h \cdot f > W_i$$

طول موج $\lambda = \frac{c}{f}$ ← سرعت نور

فرکانس نوری ← f

$c = 3 \times 10^8$

یکی از نتایج مهم یونیزاسیون نوری آزمایش برانگیختن یون و مولکولهای تحریک شده به وضعیت عادی خواهد بود. یونیزاسیون نوری یکی از عوامل مهم در مکانیزم تخلیه الکتریکی تابندگی - پدیده اشعه سیم و پدیده کرونا می‌باشد.

~~موضوع خواندنی~~

روش‌های مختلف یونیزاسیون نوری:

1- مولکول‌ها یا اتم‌ها باز به صورت پیوسته فوتون‌های ساطع شده از اتم تحریک شده‌ای را که به حالت اصلی و معمولی خود بازمی‌گردد، دریافت نموده و نهایتاً یونیزه می‌شوند.

2- یک اتم تحریک شده و یک اتم تحریک نشده با هم مولکولی را تشکیل می‌دهند که انرژی یونیزاسیون آن از انرژی یونیزاسیون یک اتم کمتر است

Scanned by CamScanner

۵- وجود ذرات خارجی معلق در هوا مانند گرد و غبار و رطوبت است که برای جدا سازی الکترون از مولکول‌های سطحی این ذرات انرژی کمتر از انرژی یونیزاسیون گاز لازم است و بر اثر برخورد فوتون ها با این ذرات، الکترون‌های آزاد ایجاد می‌شوند

۶- علاوه بر امواج ماوراء بنفش، اشعه X و اشعه گاما و اشعه‌های کیهانی که در فرکانس‌های بالا و طول موج کوتاه بوده و انرژی زیادی دارند قادر به یونیزاسیون نوری گاز هستند.

۴- یونیزاسیون حرارتی :

یونیزاسیون حاصل از برخوردها مولکولی (تصادم) و برخوردهای الکترونی بوجود آمده در گازهای با دمای بالا اتفاق می‌افتد

حرارت زیاد باعث می‌شود که سرعت ذرات داخل گاز زیاد شود بنابراین انرژی جنبشی آنها افزایش یافته و در اثر برخورد با مولکول‌ها انرژی یونیزاسیون آنها را فراهم می‌کنند

قانون کلاسیک گازها.

$$\frac{1}{2}mv^2 = \frac{3}{2}kT \rightarrow \text{درجه حرارت}$$

$\downarrow$ ثابت بولتزمن $k = 1.4 \times 10^{-23}$

۵- یونیزاسیون سطحی :

تابش الکترودهایی که گاز به عنوان عایق بین آنها بکار رفته است از اهمیت بالایی برخوردار است

خروج الکترون از سطح فلز یا الکترود را یونیزاسیون سطحی می‌گویند

در شرایط عادی میدان الکتریکی بین الکترودها و یونهای مثبت مولکولی مانع الکترودها، مانع از خارج شدن الکترون‌ها می‌شود. بنابراین برای جدا شدن الکترون از سطح الکترود، باید مقدار معینی کار انجام شود

انرژی آزادسازی (انرژی خروج) : مقدار انرژی لازم برای جدا سازی الکترون از سطح کاتد را انرژی آزادسازی یونیزه W_a این انرژی به جنس الکترود و وضعیت سطح الکترودها بستگی دارد.

الکترون‌های آزاد یک فلز در میدان الکتریکی مثبت کریستالی (که نسبت به فلز مثبت است) واقع شده‌اند. این میدان داخل فلز دارای پتانسیل ثابت U_0 است و در داخل فلز وجود دارد و در خارج آن وجود ندارد. انرژی پتانسیل الکترون برابر است با $E = -eU_0$ این انرژی در خارج از فلز در حالی که میدان الکتریکی خارجی موجود نباشد برابر صفر خواهد بود.

Scanned by CamScanner

انرژی پتانسیل الکترون در خارج از فلز بزرگتر از انرژی آن در داخل فلز بوده و تفاوت این انرژی‌ها سطح فلز هیچی است

درون سطح فلز دیواره‌ها از انرژی وجود دارد که الکترون‌ها برای رهایی از سطح فلز باید از آن عبور کنند. اما می‌توان گفت که الکترون‌های آزاد درون یک فلز در یک چاه پتانسیل با عمق W_0 قرار گرفته‌اند و برای اینکه بتوانند از فلز خارج شوند.

روش‌های اعمال انرژی برای صدور الکترون از سطح فلز الکترود به صورت زیر است:

1- انتشار ترمو الکترونی یا دوشیزا سون سطحی نوری:

2- انتشار الکترون براثر بمباران سطح کاتد به وسیله یونها و اتم‌های تحریک شده

3- انتشار حرارتی یا صدور ترم الکترون:

4- انتشار الکترون براثر شدت میدان قوی (صدور سرد الکترون):

1- انتشار ترمو الکترونی (دوشیزا سون سطحی نوری):

فوتون‌هایی که دارای انرژی بیشتر از انرژی آزادسازی دارند در برخورد با الکترودها می‌توانند الکترون را از سطح فلز خارج نمایند. انرژی فوتون‌ها بیشتر از انرژی آزادسازی باشد ممکن است مازاد انرژی به انرژی جنبشی الکترون‌های آزاد شده تبدیل می‌شود

$h \cdot f \geq W_a$ ← ثابت پلانک، ← فرکانس نور، → انرژی آزادسازی

$\frac{1}{2} m_e v_e^2 = h \cdot f - h \cdot f_0$ ← حداکثر انرژی آزادسازی، ← حداکثر انرژی جنبشی الکترون از کاتد

m_e ↓ جرم الکترون، v_e ↓ سرعت الکترون

الکترون‌هایی که در لایه‌ها پایینی قرار دارند تحت تأثیر انرژی فوتون‌ها در هنگام عبور از سطح فلز و آزادسازی آنها بخشی از انرژی خود را از دست می‌دهند و سرعت آنها پس از آزادسازی کم خواهد بود بنابراین سرعت الکترون‌هایی که از صدور فوتونی به فرکانس اشعه تابیده شده بستگی دارد نه به دامنه آن

2- انتشار الکترون براثر بمباران سطح کاتد به وسیله یونها و اتم‌های تحریک شده:

انرژی یونهایی که به سمت کاتد حرکت می‌کنند از دو مؤلفه انرژی جنبشی و انرژی پتانسیل تشکیل شده است یونها این انرژی را در زمان یونیزاسیون اتم بدست می‌آورند. اگر انرژی جنبشی یون در هنگام برخورد به سطح کاتد زیاد باشد می‌تواند الکترون را از کاتد جدا کند و آزادسازی کند. در صورتی که یونها با سرعت کم باشند در موقع برخورد به سطح کاتد با انتقال انرژی پتانسیل خود به کاتد الکترون را آزاد می‌کنند پس این کار زمانی عملی است که انرژی پتانسیل و انرژی جنبشی یون (W_i) حداقل دو برابر انرژی لازم برای خروج الکترون باشد.

$W_k + W_p \geq 2 W_a \Rightarrow W_i \geq 2 W_a$

انرژی پتانسیل یونها ناشی از ترکیب یون مثبت با الکترون آزاد می‌باشد که از سطح کاتد آزاد می‌شود و این انرژی منجر به آزادسازی الکترون دیگر از سطح کاتد می‌شود که آزادانه در میدان به سمت آنود حرکت می‌کند

Scanned by CamScanner

۳- انتشار حرارتی (صدور ترمو الکترون) :

در فلزات در درجه حرارت های معمولی، الکترون ها انرژی لازم برای ترک سطح فلز را ندارند. در صورتی که درجه حرارت فلز به ۱۵۰۰ تا ۲۵۰۰ درجه کلوین افزایش یابد الکترون ها از جنبش های حرارتی شدید برخوردار می شوند و در نتیجه از سد پتانسیل فلز (سطح فلز) می توانند از سطح آن را ترک نمایند

صدور الکترون از سطح کاتد با افزایش درجه حرارت کاتد را صدور ترمو الکترون می گویند

الکترون های کاتد در درجه حرارت های معمولی در تعادل ترمودینامیکی با آن هستند. انرژی متوسط حرارتی آن :

$$\frac{1}{2}mv^2 = \frac{3}{2}kT = 3.8 \times 10^{-2} \ (eV)$$

جریان اشباع الکترون از سطح کاتد به درجه حرارت فلز کاتد بستگی دارد و چگالی آن از رابطه ریچاردسون بدست می آید

$$J_s = \frac{4\pi m_e e k^2}{h^3} T^2 e^{-\frac{w_a}{kT}} \quad Amp/m^2$$

J_s : چگالی جریان اشباع الکترون از سطح کاتد

e : بار الکترون

m_e : جرم الکترون

h : ثابت پلانک

k : ثابت بولتزمن

T : درجه حرارت مطلق

w_a : انرژی آزادسازی

$$A = \frac{4\pi m_e e k^2}{h^3} \Rightarrow J_s = A T^2 e^{-\frac{w_a}{kT}} \quad Amp/m^2$$

پس چگالی جریان اشباع الکترون با افزایش دما (درجه حرارت) زیاد شده و با افزایش انرژی آزادسازی کم می شود.

$J_s \rightarrow$ if $T \uparrow \rightarrow J_s \uparrow$

if $w_a \uparrow \rightarrow J_s \downarrow$

۴- اشباع الکترون بر اثر شدت میدان خارجی (صدور سرد الکترون)

میدان الکتروستاتیکی قوی هم می تواند موجب خروج الکترون ها از سطح کاتد شود. زیرا میدان الکتریکی قوی در سطح الکترون ها، تراز پتانسیل را در سطح فلز الکترون تغییر می دهد و امکان خروج الکترون را فراهم می نماید این امر به اثر تونل معروف است

صدور الکترون از سطح کاتد ناشی از شدت میدان الکتریکی را صدور سرد الکترون می گویند

معمولاً شدت میدان الکتریکی لازم برای صدور سرد الکترون 10^7 تا 10^8 ولت بر سانتیمتر است

شدت میدان الکتریکی لازم برای خروج الکترون از سطح کاتد به مراتب قوی تر از میدان الکتریکی لازم برای تخلیه الکتریکی گازها حتی در فشارهای زیاد می باشد

نتیجه:

1- در یونیزاسیون توری با توجه به نیاز به انرژی با طول موج کوتاه است و معمولاً کاتدها در شرایط عادی [illegible] و احتمال این یونیزاسیون بسیار پایین است

2- در یونیزاسیون حرارتی، دلیل نیاز به درجه حرارت بالا است و این درجه حرارت به طور معمولی ایجاد نمی شود احتمال این یونیزاسیون بسیار پایین است

3- به دلیل حد شدت میدان الکتریکی جهت صدور سرد خیلی بالا است پس معمولاً یونیزاسیون ناشی از میدان الکتریکی رخ نمی دهد.

4- معمولا مهمترین یونیزاسیون، یونیزاسیون ضربه ای است که ذرات باردار بر اثر برخورد با عوامل تصادفی تغییر و نیرو می گیرند و سرعت و انرژی آنها بالا رفته و احتمال یونیزاسیون ضربه ای را افزایش می دهد.

Scanned by CamScanner

فاصله آزاد ذرات در گاز :

فاصله بین دو برخورد متوالی بین ذرات را فاصله آزاد می‌گویند و با λ نشان داده می‌شود. بطور معمول چون فاصله آزاد یک کمیت تصادفی است از میانگین آن استفاده می‌شود.

$$\bar{\lambda} = \frac{1}{Z}$$

Z ← متوالی: تعداد برخوردها در واحد طول

انرژی که ذرات در هنگام حرکت در میدان الکتریکی کسب می‌کند به طول فاصله آزاد (فاصله‌ای که ذرات بدون برخورد طی می‌کنند) بستگی دارد.

میانگین فاصله آزاد به ترازم ذرات با چگالی گاز بستگی دارد.

در گاز دو نوع ذره وجود دارد

ذره 1: شعاع r_1، سرعت v_1

ذره 2: شعاع r_2، سرعت v_2

سرعت متوسط ذرات داخل گاز: $\bar{v} = \sqrt{\bar{v}_1^2 + \bar{v}_2^2}$

فرض کنید Z': تعداد برخوردهای ذره نوع اول با ذره نوع دوم در واحد زمان باشد.

فرض کنید ذره نوع اول در حال حرکت و ذره نوع دوم ساکن باشد

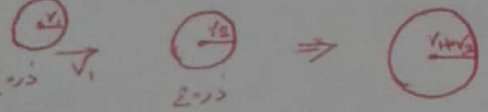
$v_1 = v$ ، $v_2 = 0$

ذره نوع اول در واحد زمان فاصله $x = v \times 1 = v$ را طی می‌کند و با تمام ذرات نوع دوم در فاصله (در این فاصله) مساوی یا کمتر از $r_1 + r_2$ است برخورد می‌کند

مرکز ثقل آنها از مرکز ثقل ذره نوع اول

بنابراین ذره نوع اول در واحد زمان با تمام ذرات نوع دوم موجود در فضای با حجم $\pi (r_1 + r_2)^2 \bar{v}$ برخورد می‌کند

اگر N تعداد ذرات نوع دوم در واحد حجم باشد.



تعداد برخورد ذره نوع اول با ذرات نوع دوم در واحد زمان

$$Z' = \pi (r_1 + r_2)^2 \cdot N \cdot \bar{v} = \pi (r_1 + r_2)^2 \cdot N \cdot \sqrt{\bar{v}_1^2 + \bar{v}_2^2}$$

تعداد برخورد در واحد طول Z ← متوالی در واحد طول

$$Z = \frac{Z'}{\bar{v}_1} = \pi \cdot (r_1 + r_2)^2 \cdot N \cdot \frac{\sqrt{\bar{v}_1^2 + \bar{v}_2^2}}{\bar{v}_1}$$

فرض کنیم ذره نوع اول با سرعت v_1 حرکت کند

$$\bar{\lambda} = \frac{1}{Z} = \frac{1}{\pi (r_1 + r_2)^2 N} \cdot \frac{\bar{v}_1}{\sqrt{\bar{v}_1^2 + \bar{v}_2^2}}$$

$\bar{\lambda}$ ← طول متوسط فاصله آزاد

Scanned by CamScanner

حالت مختلف برخوردها:

الف: اگر هر دو ذره مولکول باشند:

$\bar{v}_1 = \bar{v}_2$, $r_1 = r_2 = r$ $\Rightarrow \lambda = \frac{1}{4\sqrt{2}\,\pi r^2 . N}$

ب: اگر ذره اول الکترون و ذره دوم مولکول باشد.

$\bar{v}_1 \gg \bar{v}_2$, $r_1 \ll r_2$, $r_2 = r$ $\Rightarrow \lambda_2 = \frac{1}{\pi r^2 . N}$

ج: ذره اول یون با سرعت زیاد و ذره دوم مولکول باشد

$\bar{v}_1 > \bar{v}_2$, $r_1 \simeq r_2 = r$ $\lambda_3 = \frac{1}{4\pi r^2 . N}$

$\Rightarrow \lambda_2 > \lambda_3 > \lambda_1$

حال فاصله آزاد متوسط الکترون را در گازهای کامل بررسی می‌کنیم

$N = \frac{P}{kT} \Rightarrow \begin{cases} T\uparrow \rightarrow \lambda \\ \end{cases}$ (N: تعداد ذرات در واحد حجم)

$\Rightarrow \begin{cases} T\uparrow \rightarrow \lambda_e \uparrow \\ P\uparrow \rightarrow \lambda_e \downarrow \end{cases}$

$\frac{1}{\lambda_e} = A . P \Rightarrow \lambda_e = \frac{1}{A . P} = \frac{1}{\frac{\pi r^2}{kT}} \Rightarrow \lambda_e = \frac{kT}{\pi r^2}$

$A = \frac{\pi r^2}{kT}$

هرچه λ بیشتر شود احتمال یونیزاسیون بیشتر می‌شود.

رابطه میانگین فاصله آزاد با پتانسیل یونیزاسیون و تعداد الکترون‌ها:

ذرات باردار برای یونیزه کردن گازها باید انرژی معینی داشته باشند. این انرژی را ذرات باردار سریع می‌دهند. انرژی لازم برای یونیزاسیون اتم‌ها یا مولکول‌های خنثی در اثر برخورد با آنها فراهم می‌شود. در فرایند یونیزاسیون، الکترون‌ها نقش مهمی را دارند زیرا فاصله آزاد در الکترون نسبت به ذرات دیگر بیشتر است بنابراین افزایش انرژی جنبشی را سریع‌تر کسب می‌کند.

$\Delta W = e . E . \bar{\lambda}_e$ (ΔW: متوسط انرژی الکترون بین دو برخورد، e: بار الکترون، E: شدت میدان)

$\bar{\lambda}_e$: میانگین فاصله آزاد در جهت میدان

E: با شدت

$A = \frac{\pi r^2}{k.T}$: مقدار ثابت، k: ثابت بولتزمن، T: دما

$\lambda_e = \frac{1}{AP} \Rightarrow \Delta W = \frac{e}{A} \cdot \frac{E}{P}$

در یک میدان معلوم، دما و حرارت تقریباً ثابت می‌باشد.

در اثر یونیزاسیون تعداد ذرات باردار در حجم گاز افزوده می‌شود در نتیجه تراکم ذرات زیاد شده و طول فاصله آزاد آنها نیز کم می‌شود $\Delta W > W_i$ شرط یونیزاسیون

$n = n_0 e^{-\frac{x}{\lambda}}$ (n: تعداد ذرات برخورد کرده، n_0: تعداد کل ذرات $n(x=0) = n_0$، x: طول مسیر حرکت، λ: میانگین فاصله آزاد)

Scanned by CamScanner

ضریب تحلیل الکتریکی (ضریب یونیزاسیون اول تاونزند) : α

عبارت است از تعداد یونیزاسیون هایی که یک الکترون در طی مسیری برابر با واحد طول و در جهت میدان الکتریکی در حجم ماده ایجاد می کند

ضریب γ : یونیزاسیون ناشی از یون ها

فرضیات مربوط به ضریب یونیزاسیون اول تاونزند α :

الف : الکترون هایی که دارای انرژی کمتر از w_i ~~باشند~~ می باشند قادر به یونیزاسیون نیستند

ب : الکترون هایی که دارای انرژی بزرگتر از w_i هستند حتماً ذره را یونیزه می کنند.

ج : الکترون در هر برخورد تمامی انرژی جنبشی خود را به ذره می دهد و سرعت اولیه آن صفر می گردد

د : الکترون در جهت میدان الکتریکی حرکت می کند

فرض می کنیم الکترونی با بار q فاصله x را در یک میدان الکتریکی یکنواخت با شدت E ($E=\frac{V}{d}$) بدون برخورد طی می کند و از طرف میدان الکتریکی نیروی برابر $F=E\cdot q$ به این الکترون وارد می شود و این الکترون تحت تأثیر این نیرو و در راستای بردار میدان الکتریکی و در خلاف جهت آن شتاب می گیرد و از میدان انرژی دریافت می کند پس این الکترون در پایان مسیر به طول x انرژی $E\cdot q\cdot x$ را دریافت می کند

$\Delta w > w_i \longrightarrow E\cdot q\cdot x_i > w_i \longrightarrow$ شرط یونیزاسیون

الکترون قبل از برخورد باید مسافت x_i را بدون برخورد طی کند تا بین از برخورد منجر به یونیزاسیون اتم یا مولکول گازی شود

$\Delta w > w_i \longrightarrow E\cdot q\cdot x_i > w_i \longrightarrow x_i > \frac{w_i}{E\cdot q} \Rightarrow x_i > \frac{V_i}{E}$

$V_i = \frac{w_i}{q}$ ولتاژ یونیزاسیون

E شدت میدان الکتریکی

از رابطه $\frac{n}{n_0} = e^{-\frac{x_i}{\lambda}}$ احتمال اینکه الکترون فاصله x_i را بدون برخورد طی کند برابر $e^{-\frac{x_i}{\lambda}}$ می باشد و از طرفی تعداد کل برخوردها در واحد طول $\frac{1}{\lambda}$ می باشد

$$\alpha = \frac{1}{\lambda} e^{-\frac{x_i}{\lambda}} \Rightarrow \alpha = A\cdot P\cdot e^{-\frac{x_i}{\lambda}} = \alpha = AP\, e^{-\frac{V_i AP}{E}}$$

$$\frac{1}{\lambda} = AP$$

$$\Rightarrow B = AV_i \Rightarrow \alpha = AP\, e^{-\frac{BP}{E}} \Rightarrow \alpha = P f\left(\frac{E}{P}\right)$$

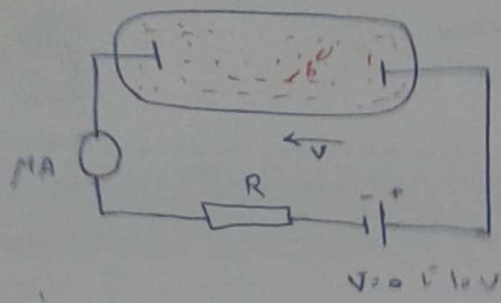
$$\Rightarrow \frac{\alpha}{P} = f\left(\frac{E}{P}\right) \longrightarrow \text{فشار}, \quad \text{میدان}$$

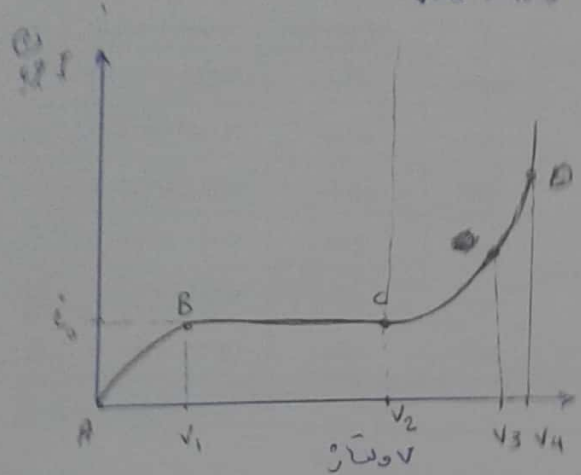
if $\rightarrow P\uparrow \Rightarrow \alpha \propto P \rightarrow \lambda\downarrow \rightarrow$ تعداد برخورد $\uparrow$ یونیزاسیون $\uparrow$

if $\rightarrow P\uparrow\uparrow\uparrow \rightarrow \alpha \propto \frac{1}{P} \Rightarrow \lambda\downarrow\downarrow\downarrow \rightarrow$ انرژی کسب شده الکترون از میدان کم می شود

$\hookrightarrow$ یونیزاسیون کمتر می شود

Scanned by CamScanner





برخورد الکترون و تخلیه الکتریکی تابنده:

در این روش حباب‌ها با الکترود آند و کاتد مطابق شکل داخل مداری قرار می‌گیرند. تحت تأثیر عوامل خارجی مثل اشعه‌های کیهانی و ... همواره تعدادی الکترون و یون آزاد وجود دارد. این الکترون‌ها تحت تأثیر میدان الکتریکی انرژی زیادی از منبع ولتاژ و از میدان انرژی می‌گیرند و الکترون‌ها مخالف جهت میدان حرکت آند هوزی مثبت به جهت کاتد حرکت می‌کنند. الکترون‌ها در این حالت با اتم‌ها یا مولکول‌های گاز در مسیر حرکت به آند با یک اتم برخورد کرده و یونیزه می‌شود. این الکترون با الکترون قبلی مثبت برخورده کرده و یک اتم خنثی تشکیل می‌شود. در اثر هجوم الکترون‌ها به آند هوزی مثبت به کاتد مکعبی از الکترون در مدار به وجود آمده و جریان الکتریکی در مدار برقرار می‌شود. که این مقدار ناچیز است حال ولتاژ را افزایش دهیم میدان الکتریکی داخل حباب افزایش می‌یابد در نتیجه الکترون‌ها و یون‌های مثبت با سرعت بیشتری و کسب انرژی زیادتری حرکت می‌کنند در این حالت الکترون‌ها با سرعت بیشتری به آند برخورد می‌کنند با برخورد تعداد بیشتری الکترون و یون آزاد می‌شود با افزایش ولتاژ منبع جریان الکتریکی در مدار تقریباً ثابت می‌ماند و در حالت اشباع جریان ثابت است.

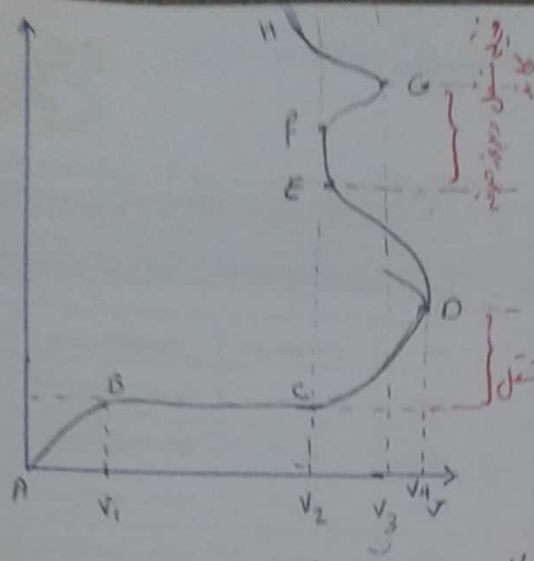
(A-B) ولتاژ را به آرامی افزایش می‌دهیم تقریباً خطی است و ولتاژ به ولتاژ منبع جریان الکتریکی در مدار تقریباً ثابت می‌ماند و در حالت اشباع جریان ثابت است. در این محیط هنوز الکترون و یون مثبت وجود دارد که علت تأثیر افزایش ولتاژ حرکت کرده و جریان را افزایش دهند پس حالت اشباع رخ می‌دهد.

(B-C) حال اگر ولتاژ را افزایش دهیم (C-D) با افزایش میدان الکترون‌های آزاد داخل حباب آنقدر از میدان الکتریکی انرژی کسب می‌کنند که می‌توانند در برخورد با مولکول‌ها آن‌ها را یونیزه کرده و الکترون‌های آزاد جدیدی ایجاد می‌کنند و این الکترون‌ها جدید در حرکت خود به سمت آند با مولکول‌ها دیگر برخورد کرده و الکترون‌های جدیدتر بوجود می‌آورند و بدین ترتیب تعداد الکترون‌ها و یون‌های مثبت داخل حباب افزایش می‌یابد و یک بهمن الکترونی تشکیل می‌شود. در اثر افزایش شدیدی در تعداد الکترون‌های رسیده به آند و یون‌های مثبت رسیده به کاتد جریان الکتریکی به صورت نمایی افزایش می‌یابد و یک تخلیه الکتریکی غیرمستقل به وجود می‌آید. اینجا تخلیه به آن علت غیرمستقل می‌گوییم که اگر عوامل خارجی قطع گردد جریان الکتریکی قطع می‌گردد و جریان الکتریکی به صفر رسیده و قطع می‌گردد.

تخلیه الکتریکی مستقل:

با افزایش ولتاژ منبع به بیشتر از V_4 در این حالت میدان الکتریکی و سرعت حرکت بار مقدارش می‌شود بطوری که یون‌های مثبت آنقدر انرژی از میدان کسب می‌کنند که در اثر برخورد با کاتد از سطح آن الکترون آزاد می‌کنند این الکترون‌های آزاد شده در میدان الکتریکی انرژی کسب می‌کنند و در اثر برخورد با اتم‌ها و مولکول‌ها عمل یونیزاسیون انجام می‌دهند و تعداد الکترون‌های آزاد بیشتری می‌شوند و یون‌های مثبت بیشتری تولید می‌شود. در نتیجه این پروسه ادامه یافته و بهمن الکترونی بزرگتری تشکیل می‌شود.

Scanned by CamScanner



حرکت حامل الکتریکی آزاد داخل ناحیه II که یونهای مثبت رسیده به کاتد تخلیه نامیده می‌شود

افزایش ولتاژ در این ناحیه تغییر محسوسی در تخلیه الکتریکی ایجاد نمی‌کند و تخلیه کاملاً حالت خودگردان دارد

ناحیه III ناحیه تخلیه الکتریکی غیرمستقل

در این ناحیه حامل‌های آزاد داخل ناحیه تخلیه الکتریکی، با انرژی کافی به کاتد برخورد می‌کنند و الکترون‌های ثانویه آزاد می‌کنند. در این حالت جریان سطح کاتد یونهای مثبت و الکترون‌های ثانویه حامل‌های آزاد بیشتری در تخلیه می‌سازند. از این رو تأثیر عامل خارجی تهیه‌کننده الکترون نیز اهمیت خود را از دست می‌دهد. با این حال الکترون‌های آزاد ثانویه در اثر برخورد یونهای مثبت به سطح کاتد بوجود می‌آیند و جریان تخلیه الکتریکی مستقل می‌شود. به این حالت تخلیه الکتریکی مستقل می‌گوییم.

ولتاژ لازم برای شروع تخلیه الکتریکی مستقل را ولتاژ شکست V_b یا ولتاژ جرقه V_s می‌نامند

γ : ضریب جبران‌کننده یا ضریب تانسند: مقدار الکترون‌های آزاد شده از سطح کاتد بر اثر برخورد یک یون مثبت به کاتد را ضریب یونیزاسیون گویند. این ضریب را با γ نمایش می‌دهند.

چون هم یونهای مثبت انعقاد لازم برای آزاد سازی الکترون از سطح کاتد را دارند و چون مقدار انرژی کسب شده توسط یونهای مثبت در γ تأثیر دارد و این انرژی کسب شده به شدت میدان الکتریکی و فشار گاز بستگی دارد

$$\gamma = f\left(\frac{E}{p}\right)$$

پس γ به میزان انرژی آزاد سازی الکترون از سطح کاتد بستگی دارد و نیز به نوع گاز هم بستگی دارد.

صدور ثانویه الکترون

الکترون‌های ثانویه: آزاد سازی الکترون از سطح کاتد توسط یونهای مثبت را صدور ثانویه الکترون می‌گویند و الکترون‌های آزاد شده را الکترون‌های ثانویه می‌نامند

قانون پاشن: تابعیت ولتاژ شکست از $p.d$ را قانون پاشن می‌نامند.

$$V_b = f(p.d)$$

گازهای الکترونگاتیو: اتم‌ها یا مولکول‌هایی از گازها این خاصیت را دارند که الکترون بپذیرند و پس از کسب الکترون، یون منفی تبدیل می‌شوند. این گازها احتمال یونیزاسیون کمتر، ولتاژ شکست بالاتر و استقامت عایقی بیشتری دارند.

$\eta(\alpha)$: ضریب جذب الکترون: تعداد برخوردهای یک الکترون در واحد طول که منجر به جذب اتم خنثی می‌شود:

$$\eta = P f\left(\frac{E}{p}\right)$$

Scanned by CamScanner

نظریه استریمر: در نظریه استریمر تخلیه الکتریکی مستقیماً به وسیله یک بهمن الکترونی و فتوونیزاسیون داخل گاز توجیه می‌شود

برای شروع تخلیه استریمر وقتی تعداد الکترون‌های آزاد داخل یک بهمن الکترونی تشکیل شده در داخل گاز به حدود 10^8 یا بیشتر می‌رسد براساس نظریه استریمر وقتی تعداد الکترون‌های آزاد داخل یک بهمن الکترونی تشکیل شده در داخل گاز به حدود 10^8 یا بیشتر می‌رسد خود بهمن الکترونی ایجاد یک میدان الکتریکی بسیار قوی می‌کند به‌طوری که این میدان موجب تشدید شدن در میدان خارجی اعمال شده به گاز می‌شود

الکترون‌های راس بهمن الکترونی به علت تحرک زیاد در میدان قوی‌تر با سرعت بیشتری به سمت آند حرکت می‌کنند و در نقاط با شدت میدان قوی‌تر در داخل گاز باعث تحریک مولکول‌ها گاز می‌شود به این موضوع باعث می‌شود تا مولکول‌های تحریک شده گاز دوباره به حالت عادی خود از خود ساطع می‌کنند و شروع به فتوونیزاسیون می‌شوند در این حالت بهمن‌های الکترونی کمکی ایجاد می‌شوند الکترون‌ها به علت سرعت زیادترشان به آند می‌رسند و یون‌های مثبت در داخل گاز با سرعت کمتری به طرف کاتد می‌روند در نتیجه میدان الکتریکی در نزدیکی آند فتوونیزه شده، بهمن‌های الکترونی کمکی در افزایش یونیزه مثبت داخل گاز کمک می‌کنند و سرانجام از یک باره یون‌های مثبت و الکترون‌ها تشکیل می‌دهند.

در نتیجه یک حالت پلاسما بوجود می‌آید که منجر به ایجاد استریمر (ستون نورانی) داخل گاز می‌شود.

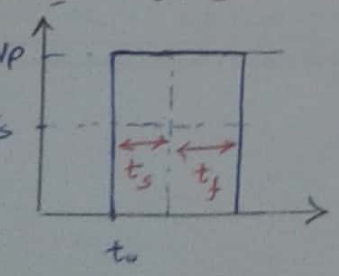
در اثر مداوم بهمن‌های کمکی به دنبال هم پشت سر هم به صورت رشته‌های مانند، جرقه‌های الکتریکی رشته‌ای ایجاد می‌شود این نوع تخلیه را تخلیه استریمر یا تخلیه کانال می‌نامند

اثر پنینگ Penning:

در مخلوط دو گاز ممکن است انرژی لازم برای یونیزاسیون مولکول یا اتم گاز اول از انرژی لازم برای تحریک مولکول‌ها یا اتم‌های گاز دوم کمتر باشد. در این حالت یونیزاسیون بیشتری می‌توان در اثر برخورد مولکول‌ها یا اتم‌های تحریک شده گاز دوم با مولکول یا اتم گاز اول صورت گیرد

زمان تأخیر در شکست الکتریکی گازها:

اگر ولتاژ به صورت ضربه‌ای یا پله‌ای به گاز اعمال شود از مدت زمان اعمال ولتاژ تا شکست کامل را زمان تأخیر در شکست گاز می‌نامند.



Scanned by CamScanner

t_s : زمان بین اعمال ولتاژ پله ای تا وقتی که اولین الکترون آزاد تخلیه الکتریکی در اثر یونیزاسیون به وجود می آید به زمان تأخیر آماری معروف است که این بستگی دارد به شدت عامل خارجی که تولید می کند مثلاً با اضافه ولتاژ بالاتر از حد ولتاژ شکست مازاد شکل دارد. با افزایش مقدار اضافه ولتاژ بیش از حد ولتاژ شکست کاهش می یابد

t_f : زمان لازم برای تشکیل هم آبشار الکترونها، تخلیه الکتریکی و تشکیل پلاسمای الکترونی و سرانجام شکست کامل فاز به زمان شکل گیری تخلیه معروف است

زمان شکل گیری تخلیه به عوامل زیر بستگی دارد:

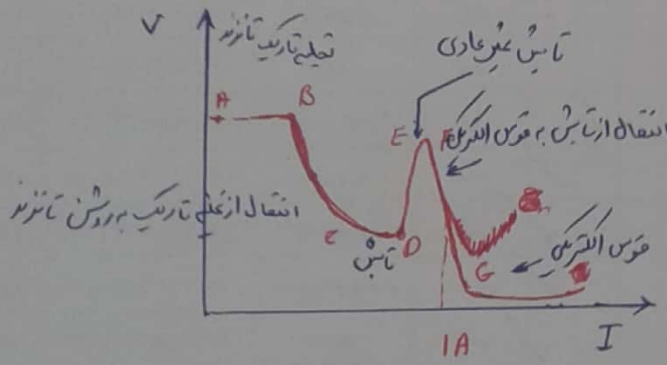
1- نحوه عملکرد تخلیه الکتریکی بستگی دارد 2- به یکنواختی و غیریکنواختی میدان الکتریکی بستگی دارد

3- با افزایش فاصله بین الکترودها زمان شکل گیری زیاد می شود 4- زمان شکل گیری نیز با افزایش دامنه ولتاژ بیشتر از حد ولتاژ شکست کاهش می یابد

چگونگی پس شکست:

پدیده ای است که پس از شکست الکتریکی در گازها رخ می دهد و به لحاظ فنی دارای اهمیت زیادی است.

تابش و قوس الکتریکی از پدیده های پس شکست است.



دیاگرام فواصل مختلف تخلیه

A-B : با افزایش ولتاژ، جریان افزایش می یابد و تخلیه تابنده به سمت تابش پیش می رود.

B-C : تخلیه هنوز مستقل انجام می شود

C-D : جریان سرعت افزایش و ولتاژ الکترودها اندکی کاهش می یابد

D-E : ولتاژ شروع به افزایش می کند

از E به بعد : با افزایش جریان ولتاژ افت ناگهانی دارد. (E-G)

پدیده ای که در ناحیه C تا G رخ می دهد پدیده پس شکست است که از ناحیه تابش (E-C) و ناحیه قوس الکتریکی (G-E) تشکیل شده است

ناحیه تابش: ناحیه تابش با اشتار تابش درخشنده ای مشخص می شود و زمانی که به سوی کاتد حرکت می کند بار فضا شکل دارد. این تابش درخشنده، منتشی از الکترونهایی است که از کاتد رها شده و در نتیجه فضای بین آند و کاتد به صورت سیال خاموش و روشن می شود این تابش را تابش عادی می گویند

اگر جریان افزایش یابد تخلیه تمام سطح کاتد را می پوشاند که این حالت را تابش غیرعادی می گویند

ناحیه تخلیه: اگر جریان فضای الکترودها به حدود IA یا بیشتر افزایش یابد ولتاژ به صورت ناگهانی به حدود 20 تا 50 ولت کاهش می یابد این تخلیه به صورت درخشان و مشعشع ظاهر می شود که این مرحله را قوس تخلیه می گویند

Scanned by CamScanner

تخلیه الکتریکی گاز در میدان الکتریکی غیریکنواخت :

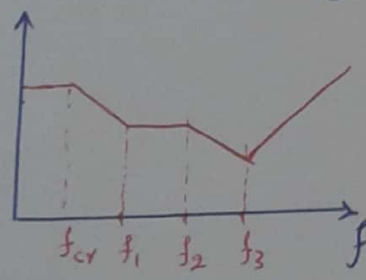
در میدانهای الکتریکی غیریکنواخت مثل میدان بین میله و صفحه، شدت میدان الکتریکی در نقاط مختلف میدان متفاوت است. مثلاً نزدیک میله شدت میدان با مقدار حداکثر خود و نزدیک صفحه، به حداقل خود کاهش می‌یابد. در این شرایط ممکن است شدت حداکثر در اطراف میله به حد شدت میدان لازم برای شکست گاز برسد ولی شدت میدان در بقیه نقاط میدان، خیلی کمتر از آن باشد، بنابراین یونیزاسیون و رسانش الکتریکی فقط در حوالی میله (که شدت میدان الکتریکی آن زیاد است) رخ می‌دهد و در بقیه نقاط یونیزاسیون وجود ندارد. در نتیجه تخلیه الکتریکی موضعی، فقط در اطراف میله رخ می‌دهد. این تخلیه الکتریکی ناقص، به صورت هاله بنفش رنگ در اطراف میله ظاهر می‌شود که به آن کرونا گفته می‌شود. اگر شدت میدان به حد کافی بزرگ باشد جرقه‌ها موضعی از میله شروع شده ولی به الکترود دیگر نمی‌رسد در نتیجه ضریب یونیزاسیون اول تا زمانی که در تمام نقاط میدان یکسان نخواهد بود.

اگر ولتاژ را افزایش دهیم در بقیه نقاط میدان، شدت میدان به حد کافی زیاد گشته و به مقدار بحرانی می‌رسد و در نتیجه جرقه‌ها موضعی شده و الکترود دیگر را (...)

ادامه می‌یابد و شکست کامل گاز بین دو الکترود بوجود می‌آید

تأثیر فرکانس بر ولتاژ شکست گاز:

با افزایش فرکانس ولتاژ اعمالی به گاز از یک مقدار مشخص باعث خواهد شد ولتاژ شکست گاز کاهش یابد دلیل آن این است که با افزایش فرکانس سرعت تغییرات میدان بیشتر شده بنابراین تعداد یونهای مثبت واقع در فضای بین الکترودها افزایش می‌یابد



و در نتیجه شدت میدان الکتریکی تقویت شده و ولتاژ شکست کاهش می‌یابد

$f < f_{cr}$: ولتاژ کاهش می‌یابد

$f_{cr} < f < f_1$: ولتاژ ثابت است چون نوترهای مثبت با الکترونهای آزاد ترکیب شده و هیچ تغییری ایجاد نمی‌شود بنابراین تعادل برقرار می‌شود

$f_1 < f < f_2$: سرعت زمان هر چرخه سیکل به حدی می‌رسد که تعدادی از الکترونهای آزاد با وجود سرعت زیاد آنها فرصت رسیدن به آند را می‌یابند بین حجم زیادی از هر منفی در فضای بین الکترودها تشکیل می‌شود و شدت میدان خنثی می‌گردد و امکان یونیزاسیون و شکست گاز، افزایش قابل ملاحظه‌ای پیدا می‌کند بنابراین ولتاژ شکست گاز شدیداً کاهش می‌یابد

$f > f_3$: ولتاژ شکست گاز کاهش نمی‌یابد و برعکس افزایش می‌یابد زیرا زمان هر چرخه سیکل به حدی کاهش می‌یابد که الکترونهای آزاد فرصت لازم را برای یونیزاسیون را پیدا نمی‌آورند در این حالت اگر ولتاژ اعمالی خیلی زیاد شود شکست گاز به وقوع می‌پیوندد

Scanned by CamScanner

کاربردها عایق های مایع و صنعت :

۱- ترانسفورماتورها ۲- خازن ها ۳- کلیدهای قدرت ۴- کابل ...

در ترانسفورماتور ها وظیفه انتقال حرارت و عایق کردن سیم پیچ از روغن ترانسفورماتور را بر عهده دارند

در کلیدهای قدرت وظیفه عایق و خاموش کنندگی قوس الکتریکی را بر عهده دارند.

مشخصات عایق های مایع :

۱- خاصیت عایقی ۲- انتقال حرارت ۳- خاموش کنندگی قوس الکتریکی

انواع عایق های مایع :

۱- روغن های معدنی ۲- روغن های خام ۳- هیدروکربن های مصنوعی ۴- هیدروکربن های هالوژن دار

۵- روغن های نباتی ۶- استرها

ویژگی های مهم الکتریکی عایق های مایع :

۱- هدایت الکتریکی 10^{-13} تا 10^{-16} $\frac{1}{\Omega cm}$

۲- قدرت دی الکتریک (استقامت الکتریکی) 30 تا 50 $\frac{kV}{cm}$

۳- عدد عایقی 2.2 تا 5

ویژگی های مهم مکانیکی عایق های مایع :

۱- چسبندگی

۲- استحکام گرمایی

۳- غیر قابل اشتعال

۴- گرمای نهان تبخیر برای افت گرمایی

دلیل خوبی عایق های مایع :

۱- حفره قابل جای شدن هستند و می توانند فضاهای کوچک را به راحتی پر کنند

۲- بعد از برقراری شکست الکتریکی عایق مایع و بعد از کاهش میدان الکتریکی، خاصیت عایقی خود را به راحتی باز می گردد.

Scanned by CamScanner

نظریه شکست عایق‌ها مایع :

۱- نظریه شکست الکترونی : شکست الکتریکی عایق‌ها مایع براساس مدل شکست الکتریکی عایق‌ها گازی یعنی بوسیله اثر ضربه‌ای برخورد الکترون‌ها با آن‌ها در میدان الکتریکی بیان می‌کنند

نظریه حباب : منشا صدور الکترون از سطح کاتد در اثر اعمال میدان الکتریکی با اثر حرارت آزاد می‌شود

این روش شکست فقط در مایع‌های خالص صادق است ولی عایق‌های مایع دارای مقدار زیادی ناخالصی هستند بنابراین مقدار شکست آن‌ها خیلی کمتر است از عایق مایع خالص است

۲- نظریه تجزیه الکتریکی عایق‌های مایع : در نظریه تجزیه الکتریکی عایق‌های مایع شکست الکتریکی مایعات را براساس همین ناخالصی‌ها توجیه می‌کند

این ذرات ناخالص شامل حباب‌های گازی ، قطرات مایع و ذرات جامد عوض در عایق مایع هستند که وقتی شکست عایق را تعیین می‌کنند

۳ بر کاربردترین عایق مایع روغن می‌باشد که در صورت خالص بودن استقامت الکتریکی بیشتر از $1MV/cm$ دارد.

عمده‌ترین خصوصیات الکتریکی یک عایق مایع :

۱- استقامت الکتریکی بالا 2- تلفات الکتریکی پایین 3- ضریب تلفات عایقی کوچک 4- مقاومت مخصوص بالا

عایق‌های مایع براساس دو خصوصیت آن‌ها به دو دسته تقسیم می‌شوند :

۱- عایق‌های مایع خالص 2- عایق‌های مایع تجاری

روغن‌های مایع خالص دارای درجه خلوص نسبتاً بالایی است ناخالصی آن‌ها کمتر از 10^{-6} است مثلاً $n\text{-}C_6H_{14}$ نرمال هگزان C_7H_{16} هپتان

عایق‌های مایع تجاری مانند روغن‌ها از نظر شیمیایی خالص نیستند و مخلوطی از مولکول‌های ارگانیک پیچیده تشکیل می‌شوند

عایق مایع الکتریکی به خاطر داشتن خواص الکتریکی مورد نیاز از نوع تجاری است و از ترکیب روغن حاصل از نفت با مواد افزودنی مخصوص به دست می‌آید.

نظریه شکست الکترونی عایق‌های مایع :

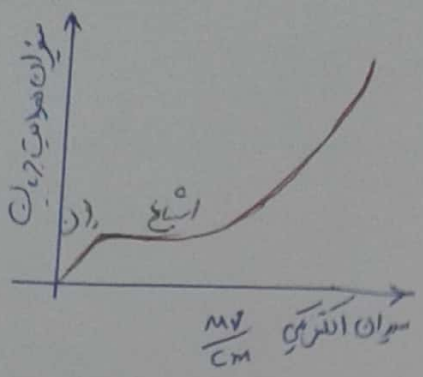
شکست الکتریکی عایق‌های مایع براساس برخورد الکترون‌ها به اتم‌های مایع در یک میدان الکتریکی بیان می‌شود

نظریه شکست الکترونی عایق‌های مایع :

در این نظریه الکترون‌هایی که از سطح کاتد در اثر میدان یک الکتریکی با حرارت خارجی می‌توانند تحت میدان الکتریکی انرژی دریافت کرده و در برخورد با مولکول‌های عایق مایع موجب یونیزاسیون آن‌ها می‌شود. (شکست الکتریکی ناشی از انتشار الکترون توسط کاتد در اثر میدان و حرارت)

شکست الکترونی می‌نویسند

Scanned by CamScanner



در میدان ضعیف جریان از جابجایی یون‌ها انجام می‌شود که به صورت جابجایی ناخالصی‌ها است که با افزایش قدرت میدان تا سطح خطی افزایش می‌یابد

در میدان متوسط این جریان به اشباع می‌رسد.

در میدان‌های قوی، جریان بر اثر انتشار الکترون از کاتد و انجام فرآیند یونیزاسیون اولیه و دوم تا نزدیک اندازه‌ی افزایش می‌یابد تا به شکست عایقی بیانجامد.

عوامل تأثیرگذار بر شکست در مایعات عایق

۱- شدت میدان 2- ماهیت الکترودها 3- جنس کاتد 4- درجه حرارت کاتد تأثیر دارد

5- نوع مایع عایق 6- درجه حرارت مایع 7- آلودگی 8- ساختار مولکولی عایق مایع

شرط لازم شکست الکترونی عایق مایع این است

شرط لازم برای تکمیل بهمن الکترونی این است که انرژی که یک الکترون در طی میانگین فاصله آزاد حرکت می‌آورد، با انرژی لازم برای یونیزه شدن مولکول عایق مایع مساوی یا بزرگتر از آن باشد.

$$e E \lambda \geq W$$

- e: بار الکتریکی
- E: شدت میدان الکتریکی
- λ: میانگین طول فاصله آزاد
- W: انرژی لازم برای یونیزه شدن مولکول

مکانیزم شکست در اثر ذرات ناخالص جامد:

ناخالصی‌های جامد موجود در مایع ممکن است به صورت رشته‌ها یا ذرات جامد معلق شل برادهٔ آهن باشند یا الیافی هستند که ناشی از فیلتر (صافی) و جنس کف یا الیاف مصنوعی هستند که از این صافی‌ها برای جداسازی ناخالصی‌ها روغن استفاده می‌شود که می‌تواند استحکام الکتریکی عایق را کاهش دهد.

اگر ضریب تراوایی ذرات ناخالصی ε_2 با ضریب تراوایی عایق مایع ε_1 متفاوت باشد و ناخالصی‌ها به صورت ذرات کروی با شعاع r باشند، در میدان الکتریکی E نیروی f_e به ذرات وارد می‌شود

$$F_e = \frac{1}{2} r^3 \frac{\varepsilon_2 - \varepsilon_1}{\varepsilon_2 + 2\varepsilon_1} \operatorname{grad} E^2$$

if → ناخالصی‌ها الیاف کاغذ جنس الیاف کاغذ روغن $\Rightarrow \varepsilon_2 > \varepsilon_1 \longrightarrow F_e$ در جهت صاف شدن میدان است

if → ناخالصی‌ها حباب‌های گازی باشند $\Rightarrow \varepsilon_1 > \varepsilon_2 \longrightarrow F_e$ در جهتی ناچار است که کمترین مقدار میدان را دارد

Scanned by CamScanner

if $\varepsilon_2 \to \infty \Rightarrow f_e = f_\infty = \frac{1}{2} r^3 \text{and} E^2$

وجود ذرات خنثی اطراف این الکترودها، میدان موضعی اطراف ذره را تا حدود $\frac{1}{3}$ برابر افزایش می دهد که ممکن است به آستانه یونش الکترون کافی باشد

اگر ذره ناخالصی آب باشد وجود چنین ذراتی امری عادی است، که چون آب ضریب تراوایی الکتریکی بیشتری نسبت به روغن دارد شیوه f به ذرات آب مایل است زیرا رطوبت در روغن باعث افزایش وجود آب و رطوبت و متلاشی شدن را به مقدار زیادی کاهش می دهد.

بنابراین از مواد جذب کننده رطوبت مثل سیلیکاژل استفاده می شود

سیلیکاژل رطوبت را جذب می کند $\Rightarrow$ { صورت / بتفش } $\leftarrow$ رطوبت $\leftarrow$ آبی + سیلیکاژل

مکانیزم شکست در اثر حباب های ناخالصی گازی:

حباب های ناخالصی گازی به روش های زیر ممکن است در مایع بوجود آید

1- تبخیر ناخالصی در اطراف الکترودهای نوک تیز ممکن است باعث تجزیه روغن و در نتیجه ایجاد حباب های گازی گردد

2- حفره های گازی روی سیاره ناخالصی در سطح گاهی بوجود آید

3- تغییر درجه حرارت

4- منشاء گاز

5- بهم زدن روغن

$$E = \frac{3\varepsilon_1}{2\varepsilon_1 + 1} E_0$$

E: شدت میدان الکتریکی در داخل حباب گازی

E_0: شدت میدان الکتریکی در داخل عایق مایع قبل از تشکیل حباب

ε_1: عدد ثابت دی الکتریک روغن

هنگامی که شدت میدان الکتریکی داخل حباب گازی به حد میدان شکست حباب گازی رسید شکست گاز داخل حفره رخ می دهد

بنابراین حباب های ایجاد شده در اثر وجود حفره و شدت الکتریکی در این حفره گازی و در نتیجه بتفش گاز مایع اطراف آن شده و حباب های گازی بیشتری تولید شده و ... در نتیجه حباب ها بین الکترودها شبیه پل بین الکترودها ایجاد و برقرار کرده و باعث شکست الکتریکی مایع می شود

معمولاً شدت میدان الکتریکی داخل حباب ها از شدت میدان الکتریکی عایق مایع بیشتر است.

استقامت الکتریکی حفره های گازی خیلی کمتر است از استقامت الکتریکی روغن است.

مکانیزم شکست در اثر ناخالصی های ذرات مایع دیگر:

جذب رطوبت توسط عایق مایع استقامت الکتریکی آن را به میزان قابل ملاحظه ای کاهش می دهد. استقامت الکتریکی عایق مایع (روغن) به میزان زیادی به رطوبت آن بستگی دارد.

اگر رطوبت به صورت محلول در روغن باشد استقامت الکتریکی روغن کمتر است از حالتی است که رطوبت به صورت قطرات آب شناور در روغن باشد

Scanned by CamScanner

روش‌ها ورود رطوبت به روغن ترانس:

1- از طریق تنفس ترانس 2- اکسیداسیون روغن

روش‌های جلوگیری از ورود رطوبت:

1- استفاده از سیلیکاژل 2- سرکولاسیون روغن

رطوبت می‌تواند باعث افزایش ضریب تلفات عایقی و در نتیجه افزایش تلفات عایقی شود

$I = V^2 C \omega \tan\delta$

I: تلفات عایقی

V: ولتاژ اعمالی

C: ظرفیت خازنی عایق مابین

$\omega = 2\pi f$

$\tan\delta$: ضریب تلفات عایقی

عوامل مؤثر بر ولتاژ شکست عایق‌های مایع:

1- جنس الکترودها 2- شکل الکترودها 3- فاصله بین الکترودها 4- شکل ولتاژ اعمالی به عایق

5- سرعت افزایش ولتاژ 6- دمای حرارت روغن 7- چسبیدن الکترودها به روغن 8- استفاده از ورقه کاغذ نازک بین الکترودها

9- حجم عایق

1- جنس الکترودها: در اثر تابش الکترون از سطح کاتد مولکول‌ها و اتم‌های سطح آن نیز باعث افزایش جریان و نقاط نوک‌تیز و لبه‌های زبر می‌شوند و ناشی از تخلیه به روغن

2- شکل الکترودها: اثر شکل الکترودها بر ولتاژ شکست تأثیر زیاد دارد چون از الکترودها نوک‌تیز میدان قوی‌تر، مایع گرمتر و تخلیه راحت‌تر شروع می‌کند

3- فاصله بین الکترودها: با زیاد کردن فاصله بین الکترودها ولتاژ شکست به همان اندازه زیاد نمی‌شود، بلکه ولتاژ شکست عایق مایع کمتر است از مقدار مورد نظر

$V_s = A \cdot d^n$

V_s: ولتاژ شکست A: عددثابت d: فاصله بین الکترودها n: عددثابت

$A > 1$ به شکل و جنس الکترودها بستگی دارد.

4- شکل ولتاژ اعمالی به عایق: بسته به اینکه ولتاژ دائم - متناوب یا ضربه‌ای باشد ولتاژ شکست عایق متفاوت است

ولتاژ شکست به مدت زمان اعمال ولتاژ بستگی دارد - اگر مدت زمان اعمال ولتاژ کوتاه باشد استقامت الکتریکی بالا می‌رود

ولتاژ شکست عایق مایع برای ولتاژ ضربه‌ای بیشتر از ولتاژ متناوب با فرکانس صنعتی می‌باشد

5- سرعت افزایش ولتاژ: اگر ولتاژ را سریع بالا ببریم ولتاژ بالاتری شکست رخ می‌دهد ولی اگر ولتاژ را آهسته بالا ببریم به دلیل ایجاد ذرات ناخالصی فرصت دارند تا رطوبت سوزن کم‌کم ایجاد شده شکست عایق در ولتاژ پایین‌تری رخ می‌دهد

6- دمای حرارت روغن: هرچه دمای حرارت روغن زیادتر شود رطوبت آن کمتر می‌شود بنابراین ولتاژ شکست افزایش می‌یابد

البته افزایش زیاد دمای حرارت روغن موجب اکسیداسیون روغن و کاهش استقامت الکتریکی روغن می‌شود.

7- چسبیدن الکترودها به روغن: مولکول‌های جامات پل‌ها تشکیل شده از ذرات معلق داخل مایع به الکترودها می‌رسند از آنجایی که عدد دی الکتریک کاغذ بیشتر است از شدت میدان الکتریکی اطراف الکترودها کاسته می‌شود بنابراین باعث بالا رفتن ولتاژ شکست عایق مایع می‌شود

Scanned by CamScanner

8- استفاده از ورق کاغذ نازک بین الکترودها:

آزمون ۵ و ۱۰ در برخی از استانداردها توصیه می‌شود که ورق‌های کاغذی مورد استفاده بین الکترودها از جنس خاصی تهیه شود. این کاغذها باید استقامت الکتریکی بالا، ضخامت یکنواخت و تأثیر ناچیز بر خواص مایع داشته باشند. در این آزمون‌ها، کاغذ نباید باعث افزایش قابل توجه هدایت الکتریکی یا تغییر در ویژگی‌های شیمیایی مایع شود. به همین دلیل، کاغذهای با کیفیت بالا و بدون افزودنی‌های اضافی انتخاب می‌شوند.

9- حجم عایق: با افزایش حجم عایق مایع، استقامت الکتریکی کاهش می‌یابد چون مقدار ناخالصی افزایش می‌یابد

خواص لازم برای عایق روغن در ترانسفورماتور:

1- برای ایزولاسیون از روغن و یا ترکیب روغن و کاغذ استفاده می‌شود

2- برای انتقال حرارت در داخل ترانسفورماتور استفاده می‌شود

خواص روغن ترانسفورماتور:

1- استقامت الکتریکی بالایی داشته باشد

2- ضریب تلفات عایقی کم، و مقاومت مخصوص آن زیاد باشد

ظرفیت عایق — ضریب تلفات عایقی — $P = V^2 C \omega \tan\delta$ — تلفات عایقی — $2\pi f$

3- ویسکوزیته (غلظت، چسبندگی) آن کم باشد. برای حرکت روان روغن در منافذ و لیه پیچ‌ها و انتقال راحت حرارت ویسکوزیته آن باید کم باشد

4- نقطه اشتعال آن بالا باشد. برای جلوگیری از اشتعال روغن در درجه حرارت‌های بالا

روغن‌های ترانسفورماتور تولیدشده که از مواد کلردار ساخته شده که می‌دهند (روغن‌های آسکارل) امروزه از روغن میدل ساخته شده‌اند

5- داشتن حالت میالی در درجه حرارت پایین (دارای نقطه انجماد خیلی پایین باشد).

6- قدرت اکسیداسیون آن خیلی کم باشد. در هنگام افزایش دما اکسیژن با روغن ترکیب و اسیدی تولید می‌کند هم به کاغذ عایق صدمه می‌زند و هم لجن و الیاف ایجاد می‌کند

تیره‌تر شدن رنگ روغن نشان می‌دهد که روغن اکسیداسیون شده است طبق استانداردها عدد اسیدی بیشتر از 0.3 mg تولید لجن بیشتر از 5 g/100 g نباشد

پس شکل ظاهری روغن: صاف، شفاف، بدون مواد معلق یا مواد ته نشین شده باشد

آزمایش روغن ترانسفورماتور:

برای جلوگیری به موقع از بروز خطرات و عیب‌ها باید در ترانسفورماتورها باید هر سال از روغن ترانسفورماتورها نمونه برداری و آزمایشات لازم انجام شود

1- تعیین و تأثیر رنگ روغن:

روغن نمونه برداری شده در ظرف شیشه‌ای در دستگاه مخصوص تعیین و تأثیر رنگ روغن رفته می‌شود

Scanned by CamScanner

2- آنالیز مازها حل شده در روغن:

مازها حل شده در روغن به وسیله خلاء جدا سازی می‌شوند و با استفاده از دستگاه مخصوص مازها کروماتوگرافی و درصد آنها تعیین می‌شود

از درصد نوع مازهای موجود در روغن به حوادث رخ داده در آن می‌توان پی برد

مازها: آلان - ستان - سنواکسیدکربن - دی‌اکسیدکربن - استیلن - اتیلن -

3- اندازه‌گیری درصد اسیدی روغن با استفاده از معرف‌های شیمیایی: میزان ناخالصی‌ها که به صورت رسوب ته نشین یا به صورت کاغذ شسته از

4- اندازه‌گیری میزان رطوبت روغن: از فیلترها آبگیری عبوری دهند

5- بررسی رنگ ظاهری روغن (از نظر کدر بودن یا شفاف بودن) ← در یک ظرف شیشه‌ای می‌ریزیم و به منبع نور مرئی می‌دهیم رنگ آن زرد باشد.

6- اندازه‌گیری ضریب تلفات عایقی tan δ

7- اندازه‌گیری مقاومت مخصوص

8- اندازه‌گیری عدد عایقی به صورت تجربی تعیین می‌شود عدد عایقی بین 5-2/5 است

9- اندازه‌گیری نقطه اشتعال

10- اندازه‌گیری نقطه انجماد

تصفیه روغن ترانسفورماتور:

پس از بهره‌برداری از روغن بر حسب نوع روغن و شرایط بهره‌برداری تغییراتی در آن مشاهده می‌شود

که موجب استهلاک کیفیت 2- کاهش عمر مفید 3- ورود ناخالصی‌ها و آلودگی به روغن 4- تغییرات فیزیکی ناشی از اکسید الکل

روش‌های تصفیه روغن:

1- تصفیه فیزیکی: روغن را آرام گرداند و عمدتاً ناخالصی‌ها را تصفیه می‌کند

2- تصفیه شیمیایی: با اضافه کردن مواد شیمیایی روغن را تصفیه می‌کند

روش‌های تصفیه فیزیکی:

1- تصفیه از آب: در این روش ضمن روغن در ظرف بزرگ ریخته شده و در پایین ظرف سوراخ قرار دارد تا آب خارج شود عرف روغن کمتر از آب است

در روش دوم با استفاده از حرارت آب از روغن جدا می‌شود در این ظرف ریخته و خلاء

2- روش گرفتن ذرات جدا سازی ناخالصی‌ها جامد:

در این روش روغن را در ظرف بزرگ و دوار می‌ریزند و بین 15 تا 45 درجه سانتیگراد حرارت داده و آن را به روش روغن آوردند ناخالصی‌ها جامد

به سمت خروجی ظرف در روغن بور و سطح ظرف ته‌نشین می‌شود.

3- استفاده از فیلترهای کاغذی: با عبور دادن روغن ناخالصی از فیلترهای کاغذی ناخالصی‌ها جامد و مقداری از آب از روغن جدا می‌شود

4- کاربرد این دو جدا کردن مازهای محلول در روغن: با پاشش روغن در محفظه خلاء عمل مازدایی و جدا سازی آب عنوان محلول روغن از روغن انجام می‌شود.

Scanned by CamScanner

2- روش تصفیه شیمیایی:

زمانیکه با افزایش اکسیداسیون روش، نیز ایجاد تکمیل بحث در آن فراهم می‌گردد عمل تصفیه فیزیکی تنها می‌تواند راه‌گشا و راه‌حل مناسب روش نبوده و نیاز است تصفیه شیمیایی روش انجام می‌شود.

در این روش از مواد شیمیایی مثل کلر - تصفیه با جلال‌ها - تصفیه با اسید سولفوریک بالش انجام می‌شود

استفاده از روش و استفاده از عملیات

هزینه این روش زیاد است و برای کارخانجات کوچک و متوسط مقرون به صرفه است

روش عبور با استفاده از خاک زئولیت یکی از روش‌های مهم تصفیه شیمیایی است

Scanned by CamScanner

عایق‌های جامد:

عایق‌های جامد بخش عمده‌ای از عایق‌ها را تشکیل می‌دهند و خواص آن را تشکیل می‌دهند

خصوصیات عایق‌های جامد:

۱- استقامت مکانیکی زیادی دارند

2- در حالت معمولی جریان الکتریکی در عایق‌های جامد کم است، علت کم بودن الکترون‌های آزاد در این عایق‌ها است

3- عایق‌های جامد در صورت وقوع تخلیه الکتریکی و شکست الکتریکی دشمنی قابل استفاده نیست

4- عمل پلاریزاسیون در عایق‌های جامد می‌تواند باعث ایجاد جریان شود. (قطب بندی بار الکتریکی مثبت و منفی مولکول تحت تاثیر میدان الکتریکی)

5- حضور ناخالصی‌ها در عایق جامد الکترون‌ها را از آن‌ها آزاد کرده و باعث افزایش جریان رسانایی عایق جامد می‌شود

تفاوت عایق‌های جامد و مایع:

۱- در عایق‌های جامد بعد از شکست الکتریکی و وقوع تخلیه الکتریکی دشمنی قابل استفاده نخواهد بود ولی در عایق‌های مایع این چنین نیست

2- عایق‌های جامد با بروز حرقه در آن‌ها معمولا خراب شده و یک کانال کربنی ایجاد می‌شود، لذا در آن وجود دارد که خاصیت عایقی خود را از دست می‌دهد ولی در عایق‌های مایع اینچنین نیست

3- در شرایط معمولی در عایق‌های جامد جریان الکتریکی به علت کم بودن الکترون‌های آزاد کم است ولی الکترون‌های آزاد در عایق‌های مایع و خالص بیشتر از جامد می‌باشد. پس جریان رسانایی عایق جامد در اثر الکترون‌های آزاد کم است (ناچیز)

4- شباهت‌های عایق جامد با عایق‌های مایع:

۱- عمل پلاریزاسیون در عایق‌های جامد باعث ایجاد جریان می‌شود

2- حضور ناخالصی‌ها در آن‌ها باعث افزایش جریان رسانایی می‌شود

مکانیزم‌های شکست عایق جامد را نام ببرید:

۱- مکانیزم شکست ذاتی

2- مکانیزم شکست الکترومکانیکی

3- مکانیزم شکست حرارتی

4- مکانیزم شکست فرسودگی

5- مکانیزم شکست لایه‌ها

در طراحی عایق‌ها باید عواملی که منجر به یکی از این شکست‌ها می‌شود را مورد توجه قرار داد و با مدیریت و کنار گذاشتن این تجهیزات را به‌دست آورد

پایان فصل ۴ رفت که با این هزار و یک شکست آن‌ها باشد.

Scanned by CamScanner

مکانیزم شکست ذاتی :

اثر عایق حامد، مقاومت و هدایت و درجه حرارت و شرایط محیطی کاملاً تحت کنترل باشد و به نوعی دیگر میدان الکتریکی قرار گیرد که تخلیه الکتریکی خارجی به وجود نیاید، در این صورت، شکست الکتریکی در شدت میدان کمی بالا در حدود تا $15 \frac{MV}{cm}$ رخ خواهد داد. چنین شکست الکتریکی را که تنها به ترکیب شیمیایی و خواص عایقی شکست ماده بستگی دارد (شکست ذاتی) می‌گویند.

و یا شکست ذاتی : حداکثر ولتاژی است که یک عایق تحمل کند .

شکست ذاتی الکتریکی معمولاً بسیار کوتاه و در حدود 10^{-8} تا 10^{-7} ثانیه رخ می‌دهد بنابراین باید ماهیت الکترونی باشد. بطور کلی شکست ذاتی وقتی اتفاق می‌افتد که الکترون‌های عایق از میدان اعمال شده، انرژی کافی برای عبور از باند ظرفیت را به باند هدایت به دست آورند

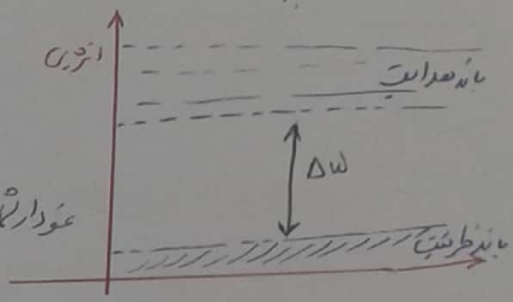
الکترون → شبکه → $T_e = T$ دمای شبکه = دمای الکترون

الکترون + شبکه ← تبادل انرژی بین الکترون و شبکه ← بیشتر انرژی جذب شده از میدان

if در عایق حامد ⇒ تعداد کافی الکترون + برخوردهای مناسب

در عایق جامد شکل ⇒ $T_e > T$ شبکه

تأثیر الکترون‌های خودآزاد تحت تأثیر میدان شتاب است و انرژی منتقل شده به شبکه



نمودار شماتیک سطح انرژی در یک عایق جامد

مکانیزم شکست الکتریکی بهمنی :

وقتی یک عایق در میدان الکتریکی قوی قرار می‌گیرد (با عددی الکترون e) الکترون‌ها جابه‌جا می‌شوند و شتاب می‌گیرند و به استقامت بهمنی عایق طول آن از d_0 به d تغییر می‌کند

if d_0 = ضخامت اولیه قطعه عایق با ثابت دی الکتریک ۲ باشد ⇒ در صورت تحلیل میزان الکترون استانه توسط عایق حامد ⇒ قسمتی ناشی از میزان الکترون استانه

استقامت بهمنی = متناظر

d = ضخامت لایه عایق بعد از اعمال ولتاژ V

$$\varepsilon \frac{V^2}{2d^2} = 2 \ln\left(\frac{d_0}{d}\right) \Rightarrow V^2 = d^2 \frac{2}{\varepsilon} \ln\left(\frac{d_0}{d}\right) \Rightarrow V = \sqrt{\frac{2d^2}{\varepsilon} \ln\left(\frac{d_0}{d}\right)}$$

هیچ ولتاژی نمی‌تواند مقدار پایداری $\frac{d}{d_0}$ کمتر از 0.6 تولید کند، زیرا اثر در این مقدار شکست ذاتی رخ می‌دهد، افزایش بیشتر در مقدار V به ناپایداری و فروپاشی مکانیکی عایق و همزمان شکست الکتریکی می‌انجامد

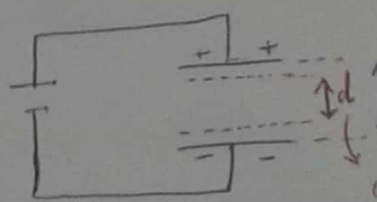
شرط بحرانی $\frac{dV}{dd} = 0 \rightarrow \frac{d}{d_0} = e^{-1/2} = 0.6$

$$V_{max} = 0.6\, d_0 \sqrt{\frac{2}{\varepsilon}}$$

$$E_{max} = \frac{V_{max}}{d_0}$$

$$E_{max} = 0.6 \left[\frac{2}{\varepsilon}\right]^{1/2}$$

حداکثر مقدار میدان الکتریکی که در آن عایق پایدار تحمل شکست



مکانیزم شکست حرارتی:

ولتاژ شکست عایق جامد با مقاومت آن افزایش می‌یابد. اما اگر مقاومت عایق جامد شیب شود حرارتی به دلیل افزایش حرارتی عایق وجود می‌آید تعیین کننده خواهد بود.

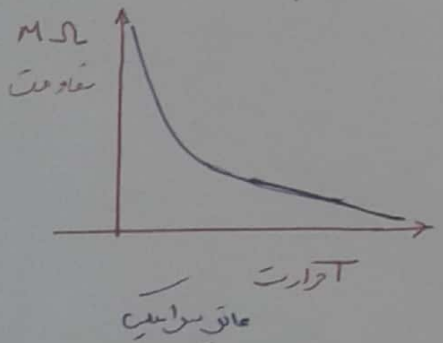
هر عایق جامدی دارای یک مقاومت الکتریکی می‌باشد که به این مقدار مقاومت به مقدار بالا بودن استحکام الکتریکی عایق‌های جامد بسیار بالا می‌باشد در عایق‌ها و نیم هادی‌ها با افزایش درجه حرارت عایق مقاومت آن دما کاهش یافته و قابلیت هدایت الکتریکی و رسانایی آنها افزایش می‌یابد

همانطور که می‌دانید عایق تحت تأثیر میدان الکتریکی قرار گرفته و به علت جریان رسانایی بسیار کم آنها و به خاطر تلفات دی‌الکتریک در اثر پلاریزاسیون به طور

$\sigma = Ae^{-\frac{U}{kT}}$ ← ثابت هدایت ← ثابت بولتزمن ← دما

بیوسته در عایق حرارت تولید می‌شود

دمای عایق جامد در اثر عبور جریان رسانایی I از آن زیاد می‌شود (RI^2)



افزایش دما باعث افزایش قابلیت هدایتی عایق و در نتیجه افزایش I خواهد شد که افزایش I، خود شدت تلفات حرارتی RI^2 را زیاد می‌کند.

اگر دما محیط که با شدت زیاد حرارت به محیط منتقل می‌شود و در نتیجه تعادل برقرار می‌شود که شدت حرارت تولید شده در عایق برابر مجموع حرارت انتقال داده شده می‌باشد

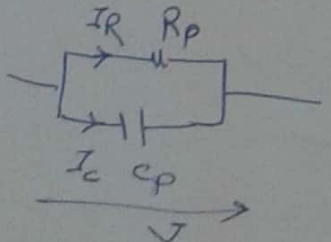
اگر درجه حرارت محیط در درجه حرارت داخل عایق باشد انتقال حرارتی بین عایق و محیط صورت نمی‌گیرد بنابراین ناپایداری حرارتی به وجود می‌آید در نتیجه باعث افزایش دائمی درجه حرارت عایق و در نتیجه افزایش سریع جریان رسانایی از عایق شده و فوس الکتریکی در داخل عایق تشکیل می‌شود.

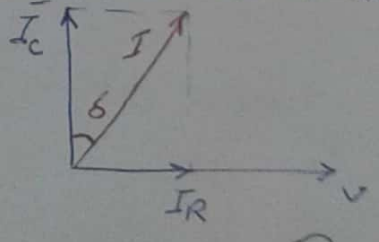
اگر ولتاژ A_c به عایق اعمال شود شکست عایق سریعتر اتفاق می‌افتد به اعمال ولتاژ D_c: چون علاوه بر جریان ناشی از الکترون‌ها بواسطه اینکه پلاریزاسیون در هر نیم سیکل تغییر می‌کند در اثر جابجایی قطبی‌های پلاریزاسیون انرژی حرارتی اضافی به وجود می‌آید و می‌تواند ناپایداری حرارتی به وجود آورد.

تمرین: با استفاده ضریب تلفات عایقی در مکانیزم شکست حرارتی:

در عایق جامد بین آنها فلزی یک خازن به وجود می‌آید. اگر خازن ایدال باشد تلفات حرارتی صفر می‌باشد. در ولتاژ A_c، جریان 9% درجه از ولتاژ جلو حرکت.

چون خازن ایدال وجود ندارد بین مقاومت اهمی R همواره وجود دارد. بنابراین جریان ولتاژ آن دارای اختلاف فاز کمتر از





$I_c = j c_p \omega V$

$I_R = \frac{V}{R_p}$ $\Rightarrow I = I_R + I_c = \frac{V}{R_p} + j c_p \omega V$ چون δ بود 9%

$I = \left(\frac{1}{R_p} + j c_p \omega\right) V$

Scanned by CamScanner

جریان I_R با ولتاژ V هم فاز است. ولی جریان I_c عمود بر V جا می‌شود

$$\tan\delta = \frac{I_R}{I_c} = \frac{\frac{V}{R_p}}{\omega C_p V} = \frac{1}{R_p C_p \omega}$$

$\tan\delta$: ضریب تلفات عایقی می‌گویند علت قرارداد این اسم آن است که تلفات حرارتی عایق ضریبی از $\tan\delta$ است

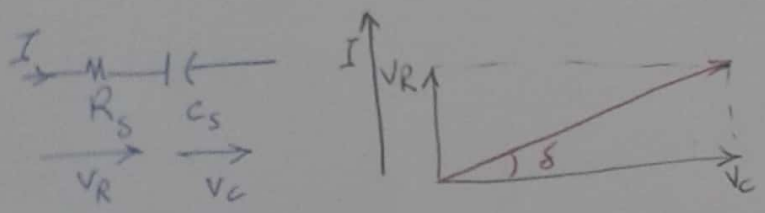
در عایق‌های معمولی $\tan\delta$ خیلی کوچک است و $I \simeq I_c$. ضریب تلفات عایقی مشخص کننده مناسب بودن عایق است

و هم ابعاد عایق تأثیر دارد:

ابعاد عایق ↑ ⟶ $C \uparrow$, $R \downarrow$

$\tan\delta$ { با دمای حرارت عایق ↑ ⟶ α ، با فرکانس ↑ ⟶ α

نوع دوم: خازن سری با مقاومت R



$V = V_R + V_c$

$$\tan\delta = \frac{V_R}{V_c} = \frac{R_s I}{I/C_s\omega} = R_s C_s \omega$$

سری موازی

$$W = R_p I_R^2 = R_p \frac{V^2}{R_p^2} = \frac{V^2}{R_p} \Rightarrow W = V^2 2\pi f C_p \tan\delta$$

مقاومت موازی ایجاد شده در عایق R_p در اثر تلفات عایق

$$\frac{1}{R_p} = \omega C_p \tan\delta$$

مکانیزم شکست فرسایشی:

غالباً در عایق‌های جامد بر اثر گذشت زمان و به سبب وجود حفره‌ها حلوی گاز، شکست الکتریکی اتفاق می‌افتد

هر چند مقاومتی ساخت عایق‌های جامد بهتر روز بیشتر شد ولی باز هم توان از ایجاد حفره‌ها (گاز) پیش گیری کرد و از طرفی بسیاری الکترودها تعدادی ناصاف بودند و حفره‌ها از گاز پیش تر ناحیه ایجاد می‌شود.

حفره‌هایی که در عایق‌های جامد وجود دارند میدان الکتریکی شکست آنها از میدان الکتریکی شکست عایق جامد خیلی کمتر بوده و همچنین به دلیل پایین بودن عدد دی الکتریک این حفره‌ها شدت میدان الکتریکی داخل این حفره‌ها از شدت میدان الکتریکی داخل عایق جامد بیشتر بوده و معمولاً هدف بر اینها کاملاً ممکن است و تا زمانی که این حفره‌ها تا حدود زیادی شکست آنها افزایش پیدا نکند شکست الکتریکی رخ نمی‌دهد. در صورتی که داخل حفره‌ها گاز باشد پدیده شکست الکتریکی اتفاق افتاده و الکترون‌های آزاد در راستای میدان الکتریکی شتاب گرفته و با برخورد با عایق در محل حفره‌ها نشسته و باعث افزایش مقاومت عایقی می‌شود. در نتیجه به تدریج این حفره‌ها عمیق‌تر و بزرگتر شده و به یکدیگر می‌پیوندند و باعث ایجاد کانال شده و نهایتاً باعث تخلیه الکتریکی عایق جامد می‌شوند

Scanned by CamScanner

مکانیزم شکست لبه :

در عمل در بسیاری از عایق‌ها عایق جامد به یک یا چند ماده دی‌الکتریک متصل است اگر یکی از این مواد عایق دارای ضعف باشد، آن نقطه ولتاژ شکست بیشتر تحت تأثیر ناحیه ضعیف قرار می‌گیرد.

در تماس الکترودهای فلزی با عایق‌های جامد در لبه‌ها میدان الکتریکی خیلی قوی ایجاد می‌شود که می‌تواند منجر به ایجاد جرقه‌های سطحی روی عایق‌ها جامد شوند. این جرقه‌های سطحی می‌تواند به تدریج باعث کربنیزه شدن سطح عایق و گسترش آن در داخل عایق شود. این جرقه‌ها به صورت شاخه درخت ادامه یافته و از این رو به این جرقه‌ها، شکست شاخه‌ای می‌گویند.

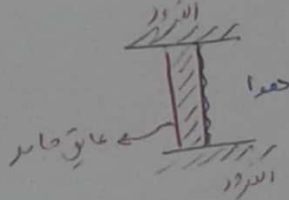
یک دیسک برای کاهش اثر لبه، افزایش قطر الکترودهای باشد.

تخلیه الکتریکی سطحی :

با قرار دادن عایق بین دو الکترود نسبت به حالتی که عایق وجود ندارد ولتاژ شکست تغییر می‌کند در این حالت، جنس عایق، وضعیت سطح عایق و شکل میدان الکتریکی تأثیر گذار است

منظور از تخلیه سطحی: تخلیه‌ای است که روی سطح خارجی عایق جامد رخ می‌دهد (تخلیه‌ای است که در فصل مشترک دو عایق جامد و گاز رخ می‌دهد) ولتاژ شکست عایق جامد معمولاً پایین‌تر از عایق‌های گازی است.

اگر در یک میدان یکنواخت به فاصله d فاصله بین دو الکترود ولتاژ را به تدریج بالا ببریم در ولتاژی مانند V_1 در عایق گازی شکست ایجاد می‌شود حال اگر بین دو الکترود عایق جامد قرار دهیم و ولتاژ را به تدریج افزایش دهیم در ولتاژی معادل V_2 ($V_2 < V_1$) شکست گاز همواره روی سطح عایق جامد اتفاق می‌افتد



علت آن است: ۱- سطح عایق جامد کاملاً صاف نیست و دارای برآمدگی و فرورفتگی‌هایی است که باعث می‌شود شدت میدان الکتریکی در فرورفتگی‌ها از شدت میدان داخل گاز بیشتر شود در نتیجه گاز داخل فرورفتگی‌ها دچار شکست شده و شرایط تخلیه را موجود می‌آورد

2- سطح خارجی عایق جامد کاملاً صاف نیست و یونیزی روی سطح آن یکنواخت نیست

Scanned by CamScanner

رفتار این در سطح عالی جامعه:

این بررسی نشانه وجود آمال یک لایه کوچک (سرهدایت) و دانمی روی سطح عالی جامعه است که میتوانند با این آمال استفاده ابزاری عالی جامعه را با همراه خواهد داشت

این بررسی نمونه از اعالی جامعه ای است که از سواد آلی ساخته شده اند رفع می دهد

تر آعالی جامعه ای که دسته عالی آزاد مواد شیمیایی به سر و زمان آلودگی صنعتی یا اصلاح مدی آب را می پوشانند. لایه ها آلودگی به همراه رطوبت جریان شستی سطح عالی را افزایش می دهند که باعث می شدن سطح عالی و خشک شدن لایه رطوبت می شود.

این نقاط مرطوب مورد زدن می شود که این مورد ها سبب کوچیز شدن سطح عالی شده که این رد میرفتهای سطح عالی تشکیل می شود.

Scanned by CamScanner