

فناوری پلاسمای اتمسفریک بعنوان یکی از بروزترین تکنولوژی ها در عرصه گندزدایی و ... توسط الکترون ها و بمباران یونی و استفاده از اشعه ماوراء بنفش باعث تخریب غشای سلولی و تخریب DNA باکتریه ا و ویروس ها می گردد.

به طور کلی پلاسما، به عنوان حالت چهارم ماده شناخته می شود. هنگامی که دما افزایش می یابد، انرژی مولکول ها زیاد می شود و حالت ماده را تغییر می دهد. انرژی زیاد مولکول ها منجر به جداسازی اتم های گازی و در نهایت آزادسازی ذرات باردار، الکترون ها و یون های باردار مثبت می شود.

ناحیه ای که شامل الکترون و یون های مثبت در حال تعادل است پلاسما گفته می شود. اما در واقع پلاسما شامل ذرات باردار (الکترون-یون ها)، اتم ها و مولکول های برانگیخته، رادیکال های آزاد، اتم های فعال و فوتون های UV است که وجود این عوامل در فضای پلاسما می تواند خواص متفاوتی را برای آن تعریف کند.



پلاسما حالت چهارم ماده و گاز یونیزه شده است که شامل الکترون ها، بارهای مثبت و یون های منفی، رادیکال های آزاد و اتم های گازی است که توسط محدوده وسیعی از دما و فشار تولید می شود. مزیت این روش سریع و ارزان بودن، انجام فرآیند در فشار اتمسفری و دمای محیط، نفوذپذیری کم می باشد.

کاربردهای کلد پلاسما رو به افزایش می باشد که شامل کاربرد آن در صنعت غذا، پارچه، کاربردهای پزشکی، صنایع بسته بندی، استریلیزاسیون و کاربردهای میکروبی و محیط زیست می باشد. این تکنیک در صنایع غذایی به طور موفقیت آمیزی به کار رفته است.

پلاسمای سرد (cold plasma) و کاربرد آن در صنایع غذایی

هدف از این مطلب بررسی اصول پلاسمای سرد شامل تعریف، تولید، دسته بندی و کاربرد آن در صنایع غذایی می باشد. نوآوری هایی در صنعت غذا شکل گرفت که فرآیند را در دماهای پایین برای حفظ کیفیت غذا و مواد مغذی آن انجام می دهد که پلاسما از دسته این فن آوری ها می باشد.

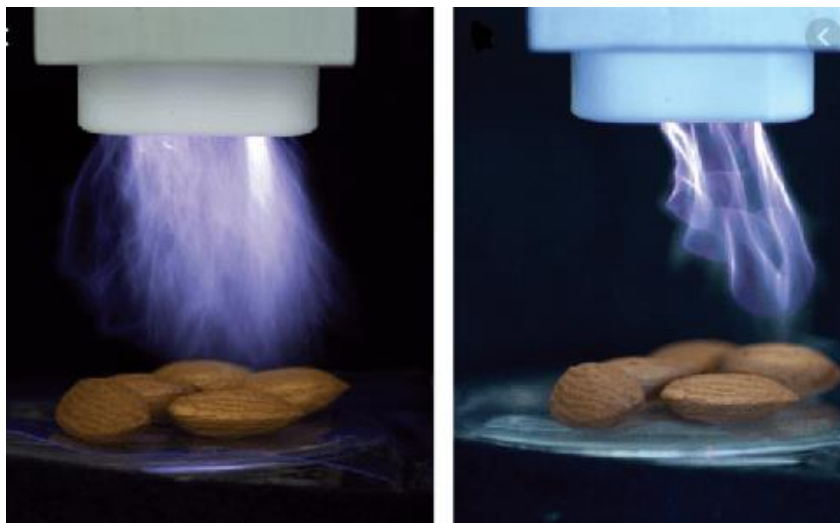
حذف آلودگی های مواد غذایی با پلاسما سرد

آلودگی های میکروبی غذاها یک موضوع مهم و اساسی برای صنایع غذایی می باشد. روش های مرسوم غیرفعال نمودن یا از بین بردن پاتوژن ها در غذاها ، حرارت دادن می باشد. حرارت دادن غذاها، اثرات جنبی ناخواسته در طعم و خواص اصلی آنها می گذارد.

افزایش تقاضا برای غذاهای تازه و کمتر فرآوری شده باعث گردیده تحقیقات زیادی در جهت گسترش روش های نوین غیرحرارتی از قبیل فشار هیدرواستاتیک بالا، میدان الکتریکی ضربه ای PEF ، میدان مغناطیسی ارتعاشی، ماوراء صوت با توان بالا و ... انجام پذیرد.

کاربرد پلاسمای فشار اتمسفری غیر حرارتی در زمینه های مختلف بیوپزشکی مثل ضدعفونی، انعقاد خون و ترمیم بافت ها بسیار مورد توجه است. روشهای قدیمی برای مواد حساس به گرما مناسب نیستند و از طرف دیگر پس ماندهای گازی به جای می گذارند. اخیراً پلاسما به عنوان یک روش غیرفعال سازی غیرحرارتی در مقالات تحقیقاتی در فرآیندهای صنایع غذایی معرفی شده است.

هنگامی که میکروارگانیسم ها در سطح یک محصول غذایی قرار دارند ، می توان از پلاسمای سرد برای غیرفعال کردن سلولهای رویشی و اسپورها استفاده کرد. از آنجا که این عمل در دمای پایین انجام می شود ، تأثیرات روی کیفیت مواد غذایی و ظاهر محصول حداقل است.



تعریف پلاسما

پلاسما به عنوان حالت چهارم ماده شناخته می شود. پلاسما را می توان به این صورت تعریف کرد که حالتی از گازیونیزه می باشد که دارای یون های باردار با بار منفی و مثبت و الکترون های آزاد و انواع اجزاء طبیعی (رادیکال و برانگیخته) است.

پلاسما به دو نوع براساس تفاوت در ویژگی ها تقسیم بندی می شوند: پلاسمای سرد و گرم حرارت دادن گاز اتم ها و ملکول ها را یونیزه می کند (تعداد الکترون در آنها کاهش یا افزایش می یابد)، بنابراین باعث تبدیل آن به پلاسما می شود که شامل اجزای باردار است.

یونیزاسیون می تواند توسط وسایل دیگر مانند میدان الکترومغناطیس قوی به همراه لیزر یا مولد مایکروویو تحریک می شود و همراه با تجزیه باندهای ملکولی می باشد. پلاسما توسط فراهم نمودن انرژی گازهای خنثی که باعث تشکیل حامل های باردار می شود، تولید می گردد.

پلاسما ماده ای است که به روش الکتریکی در حالت گازی فعال شده و به روش تخلیه الکتریکی تولید می شود. اولین بار در سال 1928 توسط آقای Irvin Langmuir کلمه پلاسما برای گازهای یونیزه شده به کار برده شد. تا قبل از سال 1990، پلاسمای پایدار تهییج شده فقط تحت خلاء و یا در محیط گازهایی همچون هلیوم، آرگون تولید می شد.

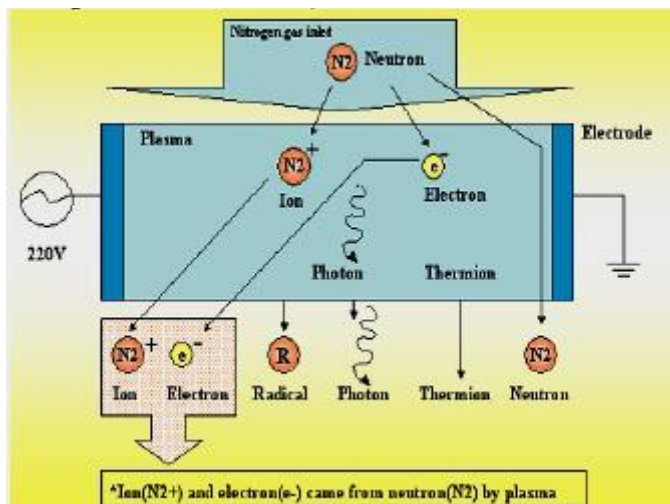
پیشرفت روش های تولید پلاسمای گازی در دمای محیط فرآیند جدید برای اطمینان از ایمنی میکروبی طیف وسیعی از محصولات را مهیا کرده است.

تولید پلاسما

پلاسما به روش انتقال انتخابی مولد الکترون های پلاسما در برابر ایجاد فرکانس بالا یا پالس تولید می شود. پلاسما توسط محدوده وسیعی از فشار و دما تولید می شود که این انرژی توسط مکانیکی، حرارتی، هسته ای، تابشی و مغناطیسی تامین می شود اما بهترین روش برای یونیزاسیون روش الکتریکی و مغناطیسی می باشد.

به عنوان مثال شعله به عنوان منبع انرژی حرارتی می باشد که از واکنش های گرمازای شیمیایی در ملکول ها به عنوان منبع انرژی استفاده می شود. همچنین از **Adiabatic compression** کردن گازها که باعث بالا رفتن دمای گاز به نقطه پلاسما استفاده می کنند.

یکی دیگر از روش های تولید پلاسما توسط اشعه های انرژی دار که در حجم گاز در حال تعادل هستند می باشد. وقتی الکترون ها و پروتون ها با انرژی کافی با اتم ها و ملکول های گازی برخورد می کنند توسط یونیزاسیون یا از دست دادن الکترون از هر اتم گازی پلاسما تولید می شود.



مزایای پلاسما

پلاسما یک روش سریع می باشد و به خاطر عدم نفوذ آن می توان برای استریلیزاسیون سطوح به کار برد. هزینه آن کم می باشد. توانایی غیرفعال سازی میکروارگانیسم ها را دارد. از نظر ایمنی دوست دار محیط زیست می باشد. فرآیند را در دما و فشار محیط انجام می دهد که اثرات مخرب حرارتی را کاهش می دهد.

تقسیم بندی پلاسما

به طور کلی پلاسما را به دو دسته کلی پلاسما سرد، پلاسما حرارتی و گرم تقسیم می کنند. پلاسما گرم یا دمای بالا شامل یون ها، الکترون ها و اجزای خنثی است که در فاز تعادل حرارتی (Thermal equilibrium) هستند. پلاسما دمای پایین به دو دسته Local thermodynamic equilibrium (LTE) و (NTP) equilibrium non local thermodynamic تقسیم می شوند.

پلاسما گرم توسط شعله و جرقه و میکروویو تولید می شود اما در پلاسما سرد از حرکت حرارتی یون ها و نیروی فشار و نیروی مغناطیسی صرف نظر کرده و دما در حد دمای اتاق باقی می ماند. در تولید پلاسما سرد بیشتر انرژی الکتریکی صرف اجزای الکترون شده و دما در حد دمای اتاق باقی می ماند و این باعث می شود این فرآیند برای مواد حساس به حرارت مناسب گردد.

پلاسمای سرد-Cold Plasma

در تخلیه های گازی با فشار پایین، آهنگ برخورد بین الکترون ها و مولکول های گاز به اندازه ی کافی نیست، بنابراین یک تعادل غیردمایی بین الکترون ها و مولکول های گاز وجود دارد. چنان که ذرات پر انرژی را بیشتر، الکترون ها تشکیل می دهند و در نتیجه دمای الکترون ها به شدت بالاتر از ذرات سنگین پلاسما خواهد بود.

در این حالت رابطه ی دمایی بین ذرات توسط رابطه زیر بیان می شود $Te \gg Ti > Tg$:

که در اینجا Te, Ti, Tg ، به ترتیب دمای الکترون، یون و اتم های گازی موجود در پلاسما هستند. در این نوع پلاسما، دمای الکترون برای مثال می تواند تا 2000 کلون برسد اما دمای گاز نزدیک به دمای اتاق باقی می ماند. این نوع تکنولوژی تولید پلاسما را پلاسمای سرد می نامند که گستره دمایی آن بین 300 تا 400 کلون است.

پلاسمای گرم

در تخلیه های گازی با فشار بالا، برخورد بین الکترون ها و مولکول های گاز بیشتر است. این پلاسمای گرم معمولاً توسط تخلیه قوسی یا فرکانس رادیویی که فشار بالا است و برخورد بین الکترونها و مولکول های گاز بیشتر است، اتفاق می افتد.

در این حالت شرط تعادل ترمودینامیکی بر آن حاکم و رابطه زیر برقرار است: $Te = Tg$ که در اینجا Te و Tg به ترتیب دمای الکترون و اتم های گازی موجود در پلاسما هستند. این و نوع پلاسما را، پلاسمای گرم می نامند که گستره دمایی آن از 2000 تا 3000 کلون تغییر می کند.

کاربردهای پلاسما

پلاسما در موارد متعددی کاربرد دارد از جمله کاربردهای آن می توان به پاکسازی هوا در محیط های بسته، جداسازی گازهای ازت از دود آگزوزهای ماشین ها، بهبود کیفیت سوخت و کمک سوخت پلاسمایی، تجزیه ترکیبات آلی فرار (VOC)، و برای استرلیزاسیون مواد حساس به حرارت اشاره کرد.

همچنین پلاسما در صنعت پزشکی و دندانپزشکی، تصفیه آب، صنعت غذا، غیرفعال سازی میکروارگانیسم ها، صنعت پارچه ، صنعت بسته بندی ، برای پاکسازی سطوح و ... اشاره کرد. در این جا چند کاربرد آن به طور مختصری توضیح داده می شود.

1- استرلیزاسیون توسط پلاسما:

اخیراً کاربرد استرلیزاسیون سطوح و وسایل پزشکی به کمک پلاسما سرد آرگونی مورد توجه قرار گرفته است. از **Cylindrical Reactor** همراه با لوله پیرکس به عنوان دی الکتریک استفاده می شود. پلاسما گاهی سبب آب دوستی سطوح می شود که به خاطر افزایش ظرفیت جذب آب باعث رشد باکتری می شود.

مقداری H_2O_2 در حد هزاران ppb تولید می شود که باعث استرلیزاسیون می شود همچنین مقدار قابل توجهی H_2 و O_2 هم تولید می شود. طبق آزمایشات انجام شده *E. coli* طی مدت 20 دقیقه غیرفعال می شود که به خاطر تخریب غشا و دیواره باکتری ها می شود.

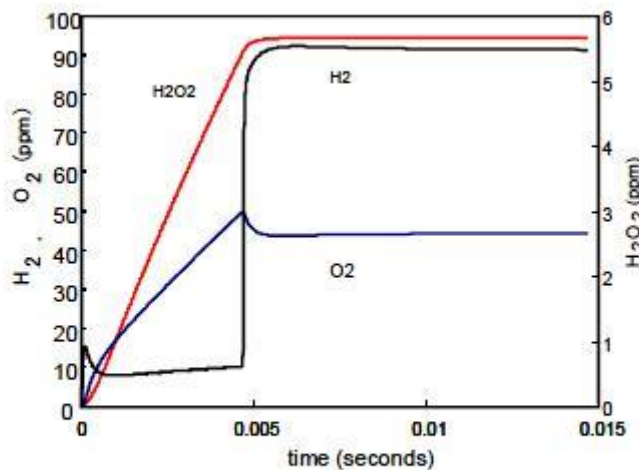


Fig. 12. Result of simulation with dissociation of hydrogen peroxide in the plasma zone for the case of 2 L/min and 50 J/L.

2- غیرفعال سازی میکروبی:

پلاسمای سرد توسط الکترون ها و بمباران یونی و مقداری هم اثر حرارتی و تولید رادیکال های آزاد و در معرض اشعه ماوراء بنفش قرار گرفتن باعث تخریب غشای سلولی باکتریایی شده و پروتئین ها را دناتوره کرده و همچنین سبب تخریب DNA می شود.

نشت ذرات فعال همچون رادیکال های آزاد و ملکول های مهیج از طریق غشای سلولی باکتری ها باعث ایجاد آسیب جدی به ملکول های بزرگ چون پروتئین ها ، لیپیدها ، اسیدهای نوکلئیک می شود. در حقیقت به تازگی

معلوم شده که روش کلد پلاسما سیستم ترمیم DNA و عکس العمل استرس اکسیداسیونی را در اشرشیاکولی تحریک می نماید.

رادیکال های آزاد موجود در پلاسما سرد همچنین قادر است جذب سطحی میکروارگانیسم ها را برای تشکیل مواد فراری چون CO2 که نهایتاً از سلول حذف می گردد را ایجاد می کند. ذراتی مانند الکترون ها و یون ها پیوسته با ذرات فعال واکنش می دهند تا تشکیل میکروارگانیسم غیرفعال دهند.

نشان داده شده است که شکست پیوندهای شیمیایی ، سایشی ، تخریب منطقه ای در غشا با نفوذ ذرات فعال سمی به داخل سلول امکان پذیر است. هم مکانیزم شیمیایی و هم فیزیکی در تخریب غشای سلولی موثرند. به علاوه یون های پلاسما مانند کاتالیستی برای اکسیداسیون و پرواکسیدان درون سلولی و در محیط خارج سلولی عمل می کنند.

غیرفعال سازی باسیلوس آمیلولیکوفشنز

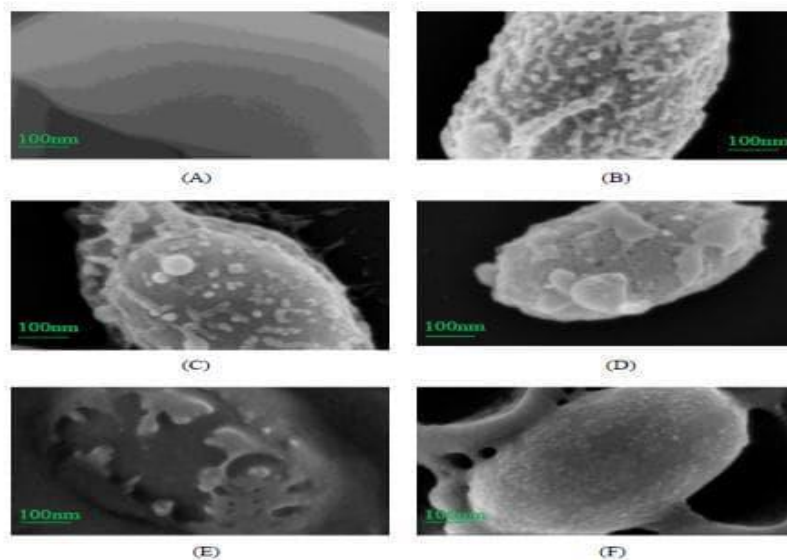
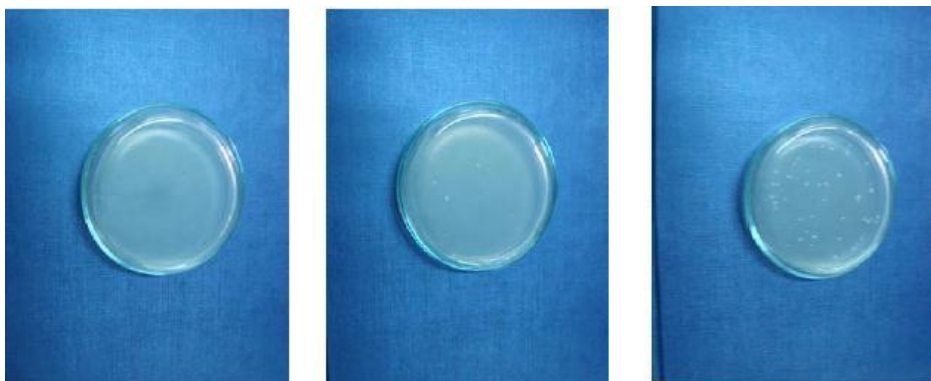


Figure 3- 8 SEM imaging: (A) Dried control, (B) Dried spores plasma treated for 1 min; (C) Dried spores plasma treated for 3 min; (D) Dried spores plasma treated for 5 min; (E) Wet spores plasma treated for 1 min; (F) Wet spores plasma treated for 3 min.

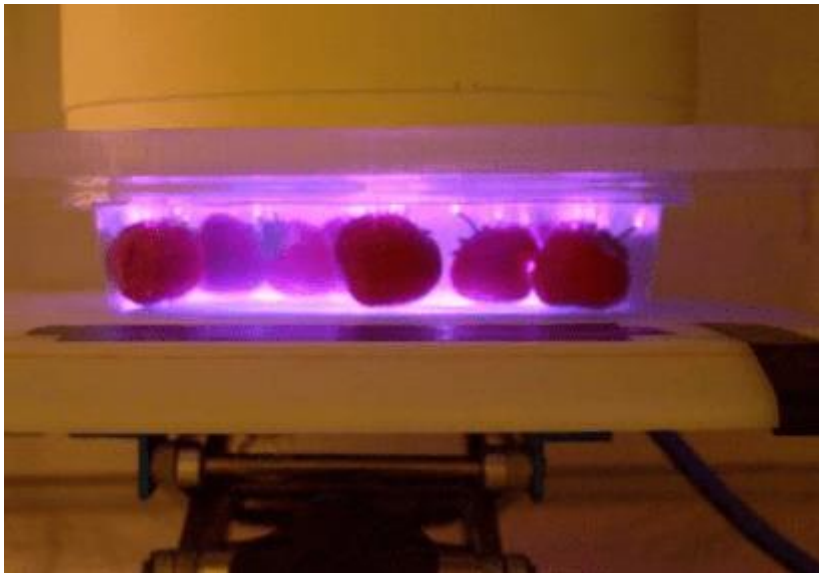
غیرفعال سازی قارچ کاندیدا



ضد عفونی مواد بسته بندی با پلاسمای سرد

پلاسمای سرد می تواند برای غیرفعال کردن میکروارگانیسم های رویشی و اسپور روی مواد بسته بندی استفاده شود. به خصوص برای محصولات حساس به دما ، این می تواند یک مزیت آشکار در مقایسه با عملیات حرارتی داشته باشد. علاوه بر این ، پلاسمای همچنین می تواند مقدار آب مورد استفاده برای ضد عفونی کننده مواد بسته بندی را کاهش دهد.

از آنجا که پلاسمای سرد گاز است ، بسته های با اشکال نامنظم مانند بطری ها می توانند بطور مؤثر مورد عمل قرار واقع شوند ، برخلاف فن آوری هایی مانند UV یا نور پالس که سایه در آن رخ می دهد.



کاربرد کلد پلاسمای در پزشکی و دندانپزشکی

پلاسمای سرد یک گاز یونیزه شده است که اخیراً توسط محققان به عنوان یک روش درمانی در دندانپزشکی و آنکولوژی مورد مطالعه قرار گرفته است. چندین گاز مختلف برای تولید پلاسمای سرد مانند هلیوم ، آرگون ، نیتروژن ، هلیوکس و هوا می تواند مورد استفاده قرار گیرد. روشهای تولید بسیاری وجود دارد که با استفاده از آنها ، پلاسمای اتمسفر سرد ایجاد می شود. هر روش منحصر به فرد را می توان در روشهای مختلف زیست پزشکی استفاده کرد.

در دندانپزشکی ، محققان بیشتر از اثرات ضد میکروبی ایجاد شده توسط پلاسمای ، به عنوان ابزاری برای از بین بردن بیوفیلم های دندانی و ریشه کن کردن پاتوژن های دهان بررسی کرده اند. پلاسمای سرد نقش جزئی ، اما مهمی در سفید کردن دندان و ترمیم کامپوزیت ها داشته است.

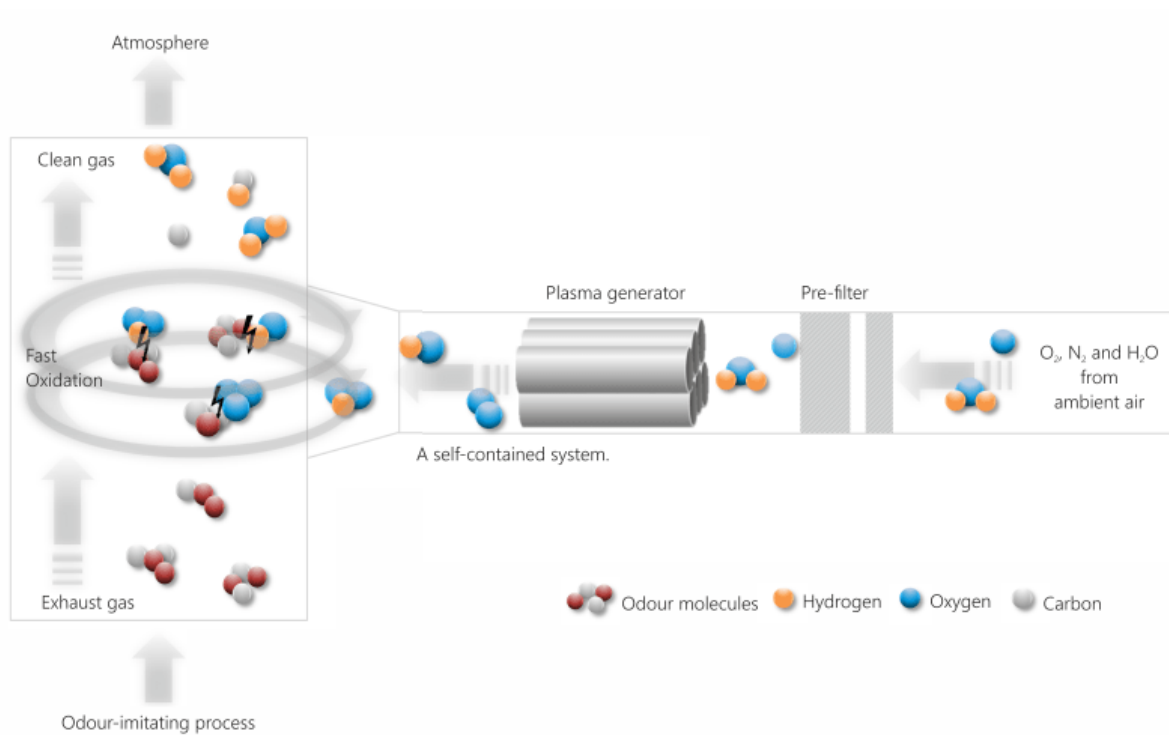
ازن ژنراتور پلاسما امروزه در مطب اغلب دکترها بعنوان یکی از اولین تجهیزات پزشکی وجود داشته باشد.

پلاسما سرد در صنعت آبی پروری

با همه مزایای صنعت آبی پروری اما بحث پسابهای مزارع پرورش ماهی و آلودگی آب مزارع آبیپروری در کشورهای پیشرفته نیز مشکلی اساسی برای این صنعت محسوب می شود. از همین رو امروزه در برخی کشورها مزارع پرورش ماهی را ملزم به ایجاد تاسیسات تصفیه پساب کرده اند. پساب مزارع پرورش ماهی معمولا حاوی مقادیر متغیری مواد آلی و میکروارگانیسم ها است که مربوط به فعالیت های حیاتی ماهی هستند. میزان فسفات ها و نیترات های معدنی و مواد معلق در پساب ها به صورت بالقوه ممکن است وجود داشته باشد که برای آبیان خطرآفرین میباشد. بسیاری از میکروارگانیسم ها از طریق آب ورودی به مزارع پرورش ماهی باعث بروز بیماری ها در آبیان می شوند. با توجه به روش های میکروبی زدایی رایج، استفاده از فناوری پلاسمای سرد به خاطر کم هزینه بودن و داشتن آلودگی و آسیب های زیست محیطی کمتر، در استریل کردن آب استخرها در مزارع آبی پروری و کشتن میکروب ها و همچنین استریل کردن بافت های زنده حیوانی و انسانی در محل به منظور حذف آلودگی ها و عفونت های بافتی، یکی از تکنیکهایی است که در دهه اخیر به سرعت در جهان رو به افزایش است و نظر محققان زیادی را به سوی خود جلب نموده است، استفاده از فناوری پلاسما میباشد؛ به طوری که می توان از پلاسماهای گازی برای زدودن اشکال رویشی از قبیل باکتری ها، قارچ ها و حتی از بین بردن ویروس ها استفاده کرد.

پلازما سرد تصفیه هوا و گاز صنعتی

پلازما سرد یک فناوری نوآورانه است که برای تصفیه هوا و گاز صنعتی استفاده می شود. این فناوری مولکولهای بو را از بین می برد و یک روش جایگزین موثر و مناسب را برای احتراق حرارتی، اسکرابر شیمیایی یا فیلتر زیستی نشان می دهد. این سیستم می تواند در صنایع مختلف، به عنوان مثال در صنعت دخانیات، لاستیک، ماهی، کشاورزی، مواد غذایی و نگه داری حیوانات اهلی مورد استفاده قرار گیرد.



عوامل موثر بر مقاومت میکروبی در مقابل پلازما سرد

پارامترهای متعددی بر روی راندمان پلازما اثر می گذارد. از جمله پارامترهای موثر می توان به موارد زیر اشاره کرد: رشد فازی، شرایط رشد و ذخیره سازی، بار میکروبی، سطوح، لیپید، PH و اسیدیته، *Salmonella* Serovar.

کاربرد پلاسما در بسته بندی

یکی از دسته های بزرگ مواد که در بسیاری از زمینه ها کاربرد زیادی پیدا کرده است پلاستیک – پلیمرها هستند. اکثر پلیمرهای مرسوم ، در برخی کاربردهای مهم به علت ویژگی های ضعیف سطحی مانند پایین بودن انرژی آزاد سطح ، رطوبت پذیری اندک ، محدود شده اند و بسیاری از فرآیندهای صنعتی مانند تمیز کردن ، اتصال، چاپ ، نیاز به موادی با چسبندگی مناسب دارند ، بنابراین باید ویژگی های سطحی این مواد بهبود یابند.

نزدیک بودن دمای این نوع پلاسما به دمای اتاق، اثرات منفی حرارتی برسطوح به ویژه سطوحی که به گرما حساس هستند را می کاهد. یکی از ویژگی های قابل اصلاح با پردازش پلاسما، بهبود آب دوستی، رطوبت پذیری، افزایش انرژی سطح و نهایتاً بهبود چسبندگی سطح می باشد.

جمع بندی اثرگذاری پلاسما

اگر چه مطالعات نشان می دهد که روش پلاسما برای کشتن میکروارگانیسم ها اثربخش می باشد با این حال تعداد کمی راجع به اثر پلاسما بر روی غذاها می دانند و مشخص نشده که پلاسما بر روی مواد موجود در غذاها مانند آب ، لیپیدها ، پروتئین ها ، کربوهیدرات ها و ترکیبات فنلی اثر می گذارد.

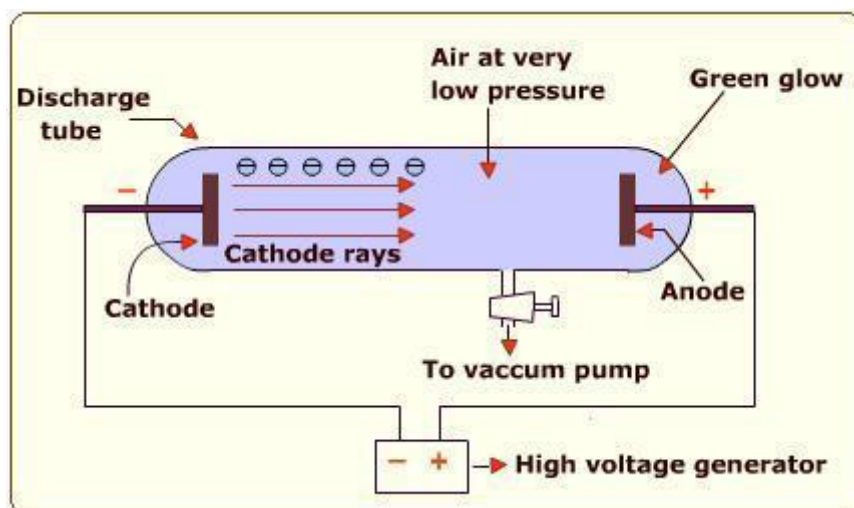
به علاوه این نکته برای یادآوری مهم است که چون پلاسما در غذا نفوذ نمی کند، لذا تغییر در اجزاء غذا فقط در سطح غذا صورت گیرد. مطالعات دیگری درباره با تغییرات شیمیایی در روش پلاسما لازم است انجام شود تا به درستی اثر پلاسما روی کیفیت و طول عمر غذا و اینکه هیچ محصول جانبی زیان آوری در طی فرآیند تولید نمی شود ، مورد ارزیابی قرار گیرد.

تولید پلاسما با تخلیه الکتریکی

تخلیه الکتریکی در حقیقت روشی است که با آن می توان پلاسما تولید نمود. اصطلاح تخلیه الکتریکی گاز ، از فرایند تخلیه یک خازن در مداری شامل دو الکترود با فاصله مشخص نشات گرفته است. اگر ولتاژ به حد کافی بالا باشد ، شکست الکتریکی رخ داده ، گاز یونیزه می شود و پلاسما تولید می گردد.

امروزه، تخلیه الکتریکی به شارش جریان الکتریکی از گاز یونیزه یا هر فرایند یونیزاسیون توسط اعمال میدان الکتریکی ، اطلاق می شود. یکی از ابتدایی ترین روش ها برای ایجاد تخلیه الکتریکی در گازها ، استفاده از یک تیوب خلا می باشد.

فرانسیس هوکسی اولین کسی بود که در حدود دهه 1750، با باردار کردن الکتروستاتیکی یک حباب شیشه ای که هوای درون آن به وسیله پمپ های خلا آن روزگار مکیده شده بود ، تخلیه الکتریکی را به طور مصنوعی ایجاد کرد.



شکل 1 تشکیل تخلیه الکتریکی

تخلیه الکتریکی در گاز کم فشار در داخل تیوب تخلیه با دو الکتروود تخت موازی، در شکل 1 نشان داده شده است. برای ایجاد تخلیه الکتریکی در فشار پایین از ولتاژ DC استفاده می شود.

تخلیه الکتریکی می تواند در فشارها و فرکانس های مختلف ایجاد گردد. بنابراین محدودیتی برای ایجاد تخلیه الکتریکی وجود ندارد. براساس نوع کاربردی که برای آن پلاسما در فشار جو تشکیل می شود، از فرکانس های پایین (در حدود چند کیلوهرتز) استفاده می شود.

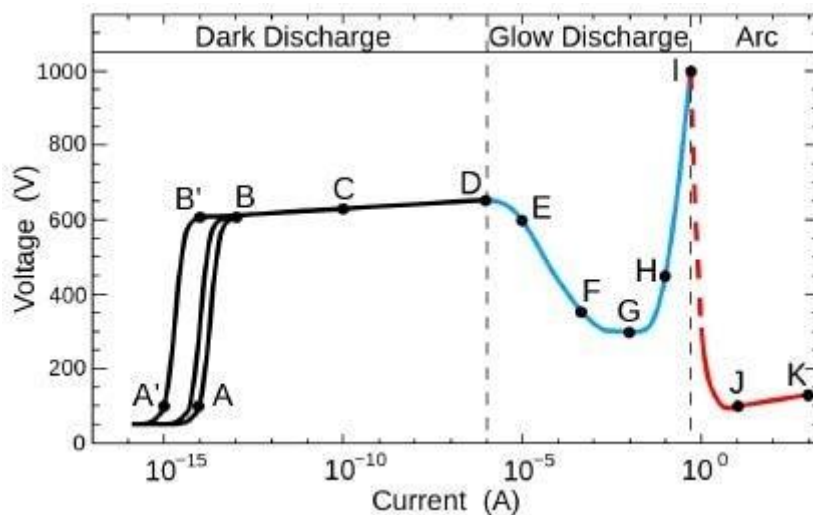
همچنین اگر محدودیتی در دمای پلاسما وجود نداشته باشد و چگالی پلاسما مهم باشد، می توان از تخلیه الکتریکی در فشار و فرکانس بالا استفاده نمود.

انواع تخلیه الکتریکی بر اساس فرکانس

- نوع تخلیه الکتریکی بازه
- فرکانس پایین $f > 1\text{MHz}$
- فرکانس رادیویی $f < 111\text{MHz}$
- فرکانس میکروویو در ادامه مفاهیم و اصول فیزیکی تخلیه الکتریکی در فشار پایین و ولتاژ DC توضیح داده خواهد شد.

نظریه نمودار ولتاژ-جریان

یکی از روش هایی که در تقسیم بندی تخلیه های الکتریکی به کار می رود، بررسی منحنی تغییرات ولتاژ الکتریکی نسبت به شدت جریان الکتریکی است. این منحنی برای تخلیه الکتریکی ایجاد شده در فشار پایین و ولتاژ DC بدست آمده است.



انواع رژیم های پلاسما بر حسب تغییرات جریان و ولتاژ

ناحیه ی تخلیه را می توان به سه منطقه ی کلی تقسیم کرد:

1. تخلیه ی تاریک: برای اختلاف پتانسیل های بسیار ناچیز، گاز همانند یک عایق نسبتاً خوب رفتار می کند. لذا زمانی که اختلاف پتانسیل های عادی و کم اعمال شود، در لوله هیچ اتفاق قابل توجهی روی نمی دهد و جریانی بین الکترود ها رد نمی شود. این ناحیه را "ناحیه اشباع" می گویند. اگر ولتاژ بالاتری اعمال شود، شدت جریان به طور ناگهانی افزایش می یابد در حالی که اختلاف پتانسیل بین دو الکترود لوله ی تخلیه، تقریباً ثابت می ماند.

این ولتاژ خاص معروف به ولتا شکست (V_b) است. در این گونه تخلیه ها الکترون های تولید شده برای ایجاد یونش به اندازه ی کافی انرژی دارند و چون بر اثر یونش الکترون های ثانویه داءما در حال تولیدند، جریان تخلیه به تدریج

افزایش می یابد. شدت جریان در این محدوده چیزی در حدود 10-6-10-8 آمپر است و ولتاژ تقریباً ثابت می ماند و هیچ گونه نوری از لوله ی تخلیه در این شرایط گسیل نمی شوند. به همین دلیل گاهی اوقات این گونه تخلیه ها را “تخلیه ی تاریک” یا “تخلیه ی تاونزند” می نامند.

2. تخلیه ی نورانی : اگر شدت جریان تخلیه را افزایش دهیم، اختلاف پتانسیل مورد نیاز برای نگهداری تخلیه شروع به کاهش می کند. با این افت ولتاژ، شدت جریان تخلیه شروع به افزایش می کند تا اینکه ولتاژ به مقدار ثابتی می رسد. این نوع تخلیه را زیرهنجار می گویند. جریان تخلیه در این شرایط، چیزی در حدود چند دهم یا صدم میکروآمپر است. سپس با افزایش مجدد جریان، برای مدت زمان نسبتاً کوتاهی ولتاژ ثابت باقی می ماند.

در این حالت می توان گسیل نورهای مرئی را در لوله ی تخلیه مشاهده کرد، این ناحیه را تخلیه ی نورانی نرمال می گویند. در ادامه ی فرایند، با افزایش شدت جریان تخلیه، اختلاف پتانسیل ضروری برای نگهداری نیز افزایش می یابد، این ناحیه به تخلیه ی نورانی غیرنرمال معروف است. شدت جریان در این نوع تخلیه ها چیزی در حدود چند میلی آمپر است.

3. تخلیه ی قوسی: با زیاد شدن مجدد جریان، به طور ناگهانی ولتاژ شروع به کاهش می کند، در این حالت شدت جریان لوله ی تخلیه بیش از یک آمپر می شود. این نوع تخلیه ها را “تخلیه قوسی غیر حرارتی” می نامند، چرا که در این حالت دمای الکترون و یون یکسان نیست.

همچنین قابل ذکر است که در این ناحیه پتانسیل با معکوس شدن شدت جریان رابطه ای مستقیم دارد. در ناحیه ی بعدی که به “تخلیه ی قوسی حرارتی” معروف است، دمای الکترون و یون تقریباً یکسان است و با افزایش ولتاژ، جریان نیز زیاد می شود، همچنین پلاسما نزدیک به تعادل ترمودینامیکی است.

گستره ی شدت جریان و ولتاژ برای هر یک از تخلیه های فوق الذکر بستگی به پارامترهای مختلف تخلیه و لوله هایی که به کار گرفته شده است دارد. برای مثال لوله های تخلیه الکتریکی بلندتر نیاز به ولتاژ شکست و اختلاف پتانسیل بیشتری نسبت به لوله های کوتاه تر دارند.

ازن ژنراتور پلاسما

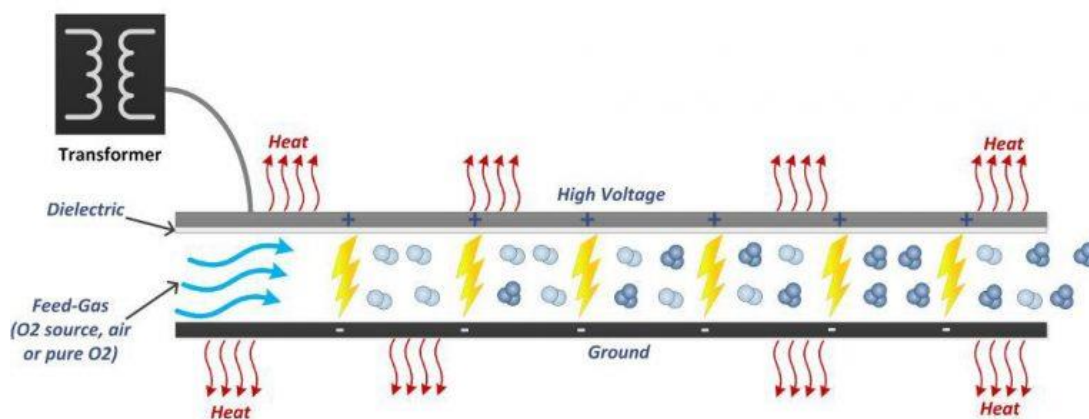
ازن (O₃) به دلیل توانایی در اکسید کردن، توانسته است در باکتری زدایی و از بین بردن ویروس ها کاربرد زیادی پیدا کند. مهم ترین کاربرد ازن، در پاکسازی آب است و به دلیل قدرت بیشتر اکسیداسیون ازن نسبت به کلر و نگهداری و بهره برداری ساده تر، مورد استقبال گسترده ای قرار گرفته است. ازن می تواند مواد آلی و غیرآلی ترکیبات آبی را اکسید کند و در نتیجه در آب های آشامیدنی و استخرها کاربرد زیادی داشته باشد.

برای تولید ازن یک مولکول دو اتمی اکسیژن در ابتدا باید تقسیم شود و رادیکال آزاد اکسیژن تولید کند. این رادیکال تولیدی در ادامه با اکسیژن دو اتمی دیگر واکنش داده و تولید یک مولکول اتمی ازن می کند.

روش تولید صنعتی ازن مطلوب، همان روش تخلیه سد دی الکتریک است. نخستین تحقیقات در زمینه تولید ازن توسط زیمنس در حدود سال های 1857 انجام شد. در این فرآیند با قرار دادن گاز اکسیژن یا هوا در بین دو تیوب شیشه ای هم محور با استفاده از یک میدان متناوب گاز ازن تولید می شد. در اوایل قرن بیستم تحقیقات آزمایشگاهی گسترده ای توسط امیل واربرگ و گروهی از مهندسين الکترونیک بر روی تخلیه سد دی الکتریک انجام شد. بکر از آلمان و اوتو در فرانسه تغییرات گسترده ای را در بهینه سازی تولید ازن با استفاده از تخلیه سد دی الکتریک انجام دادند.

گام مهمی نیز در زمینه مشخصه یابی پلاسما توسط باس انجام گرفت. او دریافت که تخلیه الکتریکی هوا در فشار اتمسفری بین دو الکتروود مسطح که روی آن ها دی الکتریک پوشانده است، همیشه با حضور تعداد زیادی جریان های رشته ای کوچک و گذرا رخ می دهد که بعدها برای هدف های مختلف به کار برده شد.

محیط پلاسما به دلیل وجود برخوردهای الکترونی- یونی و نیز ترکیبات فعال، محیطی مناسب برای تبدیل مولکول های اکسیژن به ازن می باشد. در واقع برای تولید ازن در روش تخلیه الکتریکی اکسیژن از فضای مابین دو الکتروود که توسط مواد دی الکتریک پوشانده شده است، عبور داده می شود. در اثر اعمال ولتاژ بالا به الکتروودها، تخلیه الکتریکی بین دو الکتروود رخ می دهد که باعث تبدیل اکسیژن به ازن در فضای تخلیه می شود.



مکانیسم تولید ازن به روش تخلیه سد دی الکتریک

یک **ازن ژنراتور صنعتی** می تواند شامل کمپرسور هوا (و یا منبع اکسیژن ساز)، فیلترهای گرد و غبار ، خشک کن های هوا، منبع تغذیه ولتاژ بالا، الکتروودها ، دی الکتریک و سیستم خنک کننده باشد. الکتروودها غالباً توسط آب یا هوا خنک می شوند. در **ازن ژنراتور خانگی** به طور معمول از خنک کننده هوا استفاده می شود.

دستگاه ازن ژنراتور پلاسما می تواند از هوای محیط یا اکسیژن خالص استفاده نماید. برای آماده سازی این هوا از خشک کن های هوا و فیلترهای گرد و غبار استفاده می شود. عوامل مهم تاثیرگذار در تولید ازن عبارتند از: غلظت اکسیژن ورودی، رطوبت و خلوص هوای ورودی، دمای آب خنک کننده و پارامترهای الکتریکی منبع تغذیه.

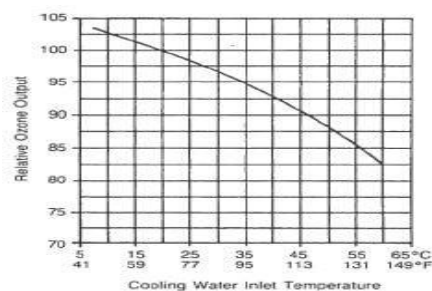
تولید ازن با گرما همراه است. بنابراین خنک کردن الکترودها امری ضروری است. تشکیل ازن یک واکنش برگشت پذیر است که با افزایش دمای محیط احتمال تبدیل ملکول های ازن به اکسیژن افزایش می یابد. شکل A رابطه بین بازده تولید ازن را با دمای آب خنک کننده نشان می دهد. این نمودار مشخص می کند که افزایش دمای آب خنک کننده الکترودها با کاهش تولید ازن همراه است.

برای جلوگیری از تجزیه ازن، درجه حرارت در گپ (فاصله بین دو الکتروود) نباید بیشتر از 25 درجه سانتیگراد باشد.

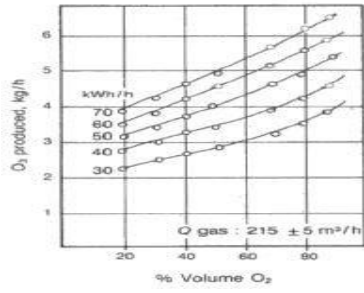
قبل از ورود هوا بین الکترودها، خشک کن های هوا باید هوا را خشک کنند. هوای محیط حاوی رطوبت است، که با ازن واکنش نشان می دهد و منجر به تولید ترکیبات ناخواسته می گردد و حجم ازن تولیدی را کاهش می دهد.

ازن از اکسیژن تولید می شود، بنابراین می تواند از هوای محیط (دارای 21٪ اکسیژن) یا اکسیژن تقریباً خالص (به عنوان مثال 95٪) تولید شود. غلظت ازن تولید شده وابسته به غلظت اکسیژن می باشد.

این رابطه در شکل B مشخص شده است جایی که غلظت اکسیژن در برابر غلظت ازن مشخص شده است. خطوط متنوع ژنراتور ازن را با مصرف انرژی متفاوت نشان می دهد. به طور خلاصه، می توان ادعا کرد که تولید ازن در هنگام استفاده از اکسیژن خالص، با توان الکتریکی ثابت، با ضریب 1/7 تا 2/5 افزایش می یابد.



شکل A تاثیر خنک کننده آب بر بازده تولید ازن



شکل B تاثیر غلظت اکسیژن بر تولید ازن در توان های الکتریکی مختلف