

Technologie Generowania Plazmy Niskotemperaturowej

lut 1, 2026

Technologie Generowania Plazmy Niskotemperaturowej

[Read more](#)

Kod

```
\documentclass[11pt, a4paper]{article}

% --- UNIVERSAL PREAMBLE BLOCK ---
\usepackage[a4paper, top=2.5cm, bottom=2.5cm, left=2cm, right=2cm]{geometry}
\usepackage{fontspec}

\usepackage[polish, bidi=basic, provide=*]{babel}

\babelprovide[import, onchar=ids fonts]{polish}
\babelprovide[import, onchar=ids fonts]{english}

% Set default/Latin font to Sans Serif in the main (rm) slot
\babelfont{rm}{Noto Sans}
% Assign a specific font for Polish text
\babelfont[polish]{rm}{Noto Sans}

% Add because main language is not English
\usepackage{enumitem}
\setlist[itemize]{label=-}

% Additional packages for technical content
\usepackage{amsmath}
\usepackage{booktabs}
\usepackage{titlesec}
\usepackage{xcolor}
\usepackage{url}
\usepackage{float}

% --- TIKZ GRAPHICS SETUP ---
\usepackage{tikz}
% Using circuits.ee.IEC for electrical schematics (resistors, inductors)
\usetikzlibrary{patterns, positioning, arrows.meta, decorations.pathmorphing, shapes.geometric, calc, circuits.ee.IEC}

% Custom section formatting
\titleformat{\section}
{\normalfont\Large\bfseries\color{blue!40!black}}{\thesection}{1em}{}
```

\title{\textbf{Technologie Generowania Plazmy Niskotemperaturowej}}\ \large Szczegóły Konstrukcyjne i Przegląd Rozwiązań

\author{Opracowanie Techniczne}

\date{\today}

\begin{document}

\maketitle

\begin{abstract}

Niniejszy dokument stanowi techniczny opis metod generowania plazmy niskotemperaturowej (tzw. zimnej plazmy). Dokument koncentruje się na szczegółach inżynierskich reaktorów DBD, dysz plazmowych oraz układów rezonansowych typu Kacher Browina. Przedstawiono przykłady komercyjnych urządzeń medycznych i przemysłowych oraz zamieszczono poprawny schemat ideowy generatora w układzie Browina.

\end{abstract}

\tableofcontents

\vspace{1cm}

\section{Wstęp}

Plazma niskotemperaturowa (CAP) znajduje zastosowanie tam, gdzie wymagana jest wysoka reaktywność chemiczna przy zachowaniu niskiej temperatury gazu nośnego ($<40^{\circ}\text{C}$). Kluczem do efektywności jest dobór odpowiedniej topologii układu generującego.

\section{Wyładowanie Barrierowe (DBD)}

\subsection{Szczegóły Konstrukcyjne}

Reaktory DBD (Dielectric Barrier Discharge) charakteryzują się obecnością co najmniej jednej warstwy dielektryka w torze prądowym.

\begin{itemize}

\item \textbf{Dielektryki:} Najczęściej stosuje się szkło borokrzemowe, kwarc, ceramikę kordierytową (Al_2O_3) lub polimery (Kapton, Teflon). Grubość bariery wynosi zazwyczaj od 1 do 3 mm.

\item \textbf{Szczelina wyładowcza:} Odległość między elektrodami jest krytyczna i wynosi od 0.1 mm (dla ozonatorów) do kilku mm.

\item \textbf{Chłodzenie:} W rozwiązaniach przemysłowych o dużej mocy (powyżej 500 W) stosuje się chłodzenie cieczą (woda dejonizowana przepływająca przez elektrody) lub wymuszone chłodzenie powietrzem, aby zapobiec degradacji dielektryka.

\item \textbf{Zasilanie:} Falowniki rezonansowe pracujące w zakresie 1-100 kHz. Napięcia rzędu 5-30 kVpp.

\end{itemize}

\subsection{Przykłady Rozwiązań i Urządzeń}

Technologia DBD jest szeroko stosowana w przemyśle ciężkim i precyzyjnym. Poniżej przedstawiono szczegółowe przykłady wdrożeń:

\begin{enumerate}

\item \textbf{Wielkoskalowe Generatory Ozonu (Uzdatnianie Wody):}

\begin{itemize}

\item \textit{Przykład:} Systemy \textbf{Wedeco (Xylem)} lub \textbf{Ozonía}.

\item \textit{Zastosowanie:} Miejskie oczyszczalnie ścieków i stacje uzdatniania wody.

\item \textit{Opis techniczny:} Reaktory te składają się z tysięcy rur dielektrycznych (często szklanych) umieszczonych w płaszczu wodnym (stal nierdzewna). Tlen przepływa przez szczelinę wyładowczą, gdzie mikrowyładowania przekształcają go w ozon (O_3). Wydajność takich systemów sięga setek kilogramów ozonu na godzinę.

\end{itemize}

\item \textbf{Aktywacja Foliai "Corona" (Przemysł Opakowaniowy):}

\begin{itemize}

\item \textit{Przykład:} Urządzenia firm \textbf{Softal}, \textbf{Vetter}, \textbf{Meisenbach}.

\item \textit{Zastosowanie:} Przygotowanie folii polimerowych (PE, PP, PET) do druku i laminowania.

\item \textit{Opis techniczny:} Polimery mają naturalnie niską energię powierzchniową (są hydrofobowe), co utrudnia przyczepność farb. Wałek pokryty dielektrykiem (silikonem lub ceramiką) przesuwá folię pod elektrodą WN. Plazma powietrzna utlenia powierzchnię folii, tworząc grupy karboksylowe i hydroksylowe, co drastycznie zwiększa jej zwilżalność (napięcie powierzchniowe wzrasta z ok. 30 do ponad 40 dyn/cm).

\end{itemize}

\item \textbf{Motoryzacja (Klejenie Reflektorów):}

\begin{itemize}

\item \textit{Przykład:} Systemy \textbf{Tantec} (np. PlasmaTEC-X).

\item \textit{Zastosowanie:} Uszczelnianie i klejenie kloszy reflektorów samochodowych.

\item \textit{Opis techniczny:} Przed nałożeniem kleju poliuretanowego, rowek w obudowie reflektora (często wykonany z polipropylenu) jest traktowany głowicą DBD profilowaną do kształtu detalu. Zapewnia to hermetyczność połączenia i odporność na wibracje przez lata eksploatacji.

\end{itemize}

\item \textbf{Oczyszczanie Gazów Przemysłowych (De-NO_x / De-SO_x):}

\begin{itemize}

\item \textit{Zastosowanie:} Elektrownie i spalarnie odpadów.

\item \textit{Opis techniczny:} Reaktory DBD montowane w kominach. Wysokoenergetyczne elektrony w plazmie rozbijają cząsteczki tlenków azotu (NO_x) i siarki (SO_x), które następnie reagują z dodanym amoniakiem, tworząc stałe sole (np. azotan amonu), łatwe do odfiltrowania w elektrofiltrach.

\end{itemize}

\item \textbf{Produkcja Taśm Kompozytowych Kapton (Poliimidowych):}

\begin{itemize}

\item \textit{Problem:} Folie poliimidowe (Kapton®) charakteryzują się doskonałą odpornością termiczną i elektryczną, ale posiadają skrajnie niską energię powierzchniową, co uniemożliwia trwałe łączenie ich z innymi materiałami.

\item \textit{Proces:} Zastosowanie wyladowania barierowego (DBD) w atmosferze powietrza lub azotu prowadzi do funkcjonalizacji powierzchni poprzez "szczepienie" grup polarnych (hydroksylowych -OH, karboksylowych -COOH) oraz nanostrukturyzację powierzchni (zwiększenie chropowatości w skali nano).

\item \textit{Zastosowanie Przemysłowe:}

\begin{itemize}

\item \textbf{FCCL (Flexible Copper Clad Laminate):} Niezbędny proces przy produkcji elastycznych obwodów drukowanych, umożliwiającý bezpośrednie napyłanie lub laminowanie miedzi na poliimid bez użycia klejów (tzw. laminaty bezklejowe), co poprawia właściwości dielektryczne przy wysokich częstotliwościach.

\item \textbf{Przemysł Lotniczy:} Produkcja kompozytowych taśm izolacyjnych (Kapton + FEP/PTFE) do owijania wiązek kablowych, gdzie plazma zapewnia integralność warstw w ekstremalnych warunkach termicznych.

\end{itemize}

\end{itemize}

\end{enumerate}

\subsection{Zaawansowane Modyfikacje: Elektrody Tekstylne}

W nowoczesnych układach badawczych rozważa się zastąpienie litych elektrod metalowych materiałami o rozwiniętej powierzchni właściwej.

\begin{itemize}

\item \textbf{Koncepcja:} Użycie aktywowanej tkaniny węglowej (carbon fabric) jako elektrody WN.

\item \textbf{Problem izolacji:} Bezpośrednie użycie tkaniny przewodzącej w układzie DBD wymaga bariery dielektrycznej. Tradycyjne dielektryki (płyty szklane) niwelują zaletę faktury tkaniny, tworząc płaską barierę.

\item \textbf{Rozwiązanie (Powłoki Konforemne):} W celu zachowania "rozwiniętej powierzchni" dielektryka, na tkaninę węglową nakłada się cienką warstwę izolatora, która idealnie odwzorowuje kształt włókien.

\begin{itemize}

\item \textbf{Teflon (PTFE):} Trudny do nałożenia cienką warstwą bez zalewania mikroporów. Wymagałby zaawansowanych metod polimeryzacji plazmowej.

\item \textbf{Parylen (Parylene C):} Nakładany w procesie CVD (Chemical Vapor Deposition). Pozwala uzyskać szczelną warstwę dielektryczną o grubości rzędu 10--50 μm na każdym pojedynczym włóknie tkaniny.

\end{itemize}

\item \textbf{Zaleta fizyczna:} Taka konstrukcja powoduje silne, lokalne wzmocnienie pola elektrycznego na krzywiznach powlekanych włókien węglowych. Ułatwia to zapłon wyładowania przy niższym napięciu oraz generuje gęstą sieć mikrowyładowań na powierzchni odwzorowującej splot tkaniny.

\end{itemize}

\begin{figure}[htbp]

\centering

\begin{tikzpicture}[scale=1.2]

% Ground Electrode (Cooled)

\draw[fill=gray!20, thick] (0,0) rectangle (6, 0.6);

\node at (3, 0.3) {\textbf{Elektroda Uziemiona (chłodzona wodą)}};

% Dielectric Barrier

\draw[pattern=north east lines, pattern color=blue!50] (0, 2.0) rectangle (6, 2.4);

\node[fill=white, inner sep=1pt] at (3, 2.2) {\small Dielektryk (Ceramika/Szkło)};

% HV Electrode

\draw[fill=gray!40, thick] (0, 2.4) rectangle (6, 2.8);

\node at (3, 2.6) {\textbf{Elektroda WN}};

% Plasma Discharges

\foreach \x in {0.4, 0.8, ..., 5.6} {

\draw[violet, thick, decorate, decoration={snake, amplitude=0.8pt, segment length=3pt}] (\x, 0.6) -- (\x, 2.0);

```

}
\node[violet] at (3, 1.3) {\textit{Filamenty plazmowe}};

% Gas Flow indication
\draw[->, ultra thick, blue] (-1, 1.3) -- (-0.1, 1.3) node[midway, above] {Gaz};
\draw[->, ultra thick, blue] (6.1, 1.3) -- (7, 1.3);

\end{tikzpicture}
\caption{Przekrój reaktora DBD z zaznaczonym przepływem gazu.}
\label{fig:dbd}
\end{figure}

```

\section{Dysza Plazmowa (Plasma Jet)}

\subsection{Szczegóły Konstrukcyjne}

Dysze typu APPJ (Atmospheric Pressure Plasma Jet) generują "pióropusz" (effluent) zimnej plazmy.

\begin{itemize}

\item \textbf{Gazy robocze:} Gazy szlachetne (Hel, Argon) ze względu na łatwość jonizacji i niską temperaturę gazu ($T_{\text{gas}} < 40^{\circ}\text{C}$). Przepływ typowy: $2 - 10$ slm (standardowe litry na minutę).

\item \textbf{Topologia elektrod:} Często układ "igła-pierścień" lub dwie elektrody pierścieniowe na rurce kwarcowej.

\item \textbf{Częstotliwość:} Często stosuje się pasmo radiowe (RF) 13.56 MHz, co pozwala na uzyskanie stabilnego wyładowania przy niższym napięciu zapłonu niż w przypadku niskich częstotliwości.

\end{itemize}

\subsection{Przykłady Urządzeń Komercyjnych}

\begin{enumerate}

\item \textbf{kINPen® MED (neoplas med GmbH):} Pierwsze na świecie urządzenie typu plasma jet dopuszczone jako wyrób medyczny klasy IIa. Stosowane do leczenia ran przewlekłych i chorób skóry. Pracuje na argonie.

\item \textbf{Piezobrush® PZ3 (Relyon Plasma / TDK):} Ręczne urządzenie typu "pen" wykorzystujące piezoelektryczny transformator (technologia CeraPlas™) do generowania plazmy z powietrza, bez zewnętrznego zasilania gazem.

\item \textbf{Adtec Steriplas:} Urządzenie medyczne do walki z infekcjami bakteryjnymi i biofilmami w ranach.

\end{enumerate}

\begin{figure}[htbp]

```

\centering
\begin{tikzpicture}[>=Stealth, scale=1]
% Tube
\draw[thick, fill=white] (0, -0.8) rectangle (5, 0.8);
\node at (2.5, 0.5) {Rurka kapilarna (Kwarc)};

% Inner Electrode (Needle)
\draw[fill=black!80] (0, -0.1) -- (2.5, -0.1) -- (2.8, 0) -- (2.5, 0.1) -- (0, 0.1) -- cycle;
\node[left] at (0, 0) {Elektroda RF/HV};

```

```

% Outer Electrode (Ring)
\draw[fill=gray!50] (3.0, 0.8) rectangle (3.5, 1.1);
\draw[fill=gray!50] (3.0, -0.8) rectangle (3.5, -1.1);
\draw[dashed] (3.25, 0.8) -- (3.25, -0.8);
\node[above] at (3.25, 1.1) {GND};

% Plasma Plume
\shade[left color=violet!90, right color=white] (5, 0.4) -- (7.5, 0) -- (5, -0.4) -- cycle;
\node[violet, right] at (5.5, 0.6) {Zimna Plazma (Effluent)};

% Gas Input
\draw[->, thick, blue] (-1.5, 0) -- (-0.1, 0) node[midway, above] {Argon 5 slm};

\end{tikzpicture}
\caption{Schemat dyszy plazmowej w konfiguracji z elektrodą centralną.}
\label{fig:jet}
\end{figure}

```

\section{Kacher Browina (Układ Rezonansowy)}

\subsection{Zasada Działania i Specyfika}

Kacher Browina (ros. \textit{Качер Бровина}) to wariant generatora typu SSTC (Solid State Tesla Coil) pracujący w klasie E lub zbliżonej, charakteryzujący się silnym sprzężeniem zwrotnym z cewki wtórnej bezpośrednio do bazy tranzystora.

\begin{itemize}

- \item \textbf{Autorezonans:} Układ samoczynnie dostraja się do częstotliwości rezonansowej cewki wtórnej (często pasmo MHz).

- \item \textbf{Wyładowanie:} Generuje tzw. "miotłkę" (brush discharge) o charakterze pojemnościowym. Plazma jest "zimna" w dotyku przy krótkim kontakcie dzięki efektowi naskórkowemu (prąd płynie po powierzchni skóry), jednak punktowo posiada wysoką temperaturę.

- \item \textbf{Zastosowanie:} Głównie edukacyjne, demonstracyjne (bezbprzewodowy przesył energii) oraz w amatorskich badaniach nad polem elektromagnetycznym. Nie jest to urządzenie medyczne.

\end{itemize}

\subsection{Schemat Ideowy (Wektorowy)}

Poniższy schemat przedstawia klasyczną topologię Kachera na tranzystorze bipolarnym.

% Force figure placement Here with [H] from float package

```

\begin{figure}[H]
\centering
\begin{tikzpicture}[circuit ee IEC, font=\sffamily\small, scale=1.2]

```

```

% Power Rails

```

```

\draw (-1, 4) -- (5, 4) node[right] {+VCC (12-24V)};
\draw (-1, 0) -- (5, 0) node[right] {GND};

```

```

% Transistor Q1 (Manual construction)

```

```

\coordinate (Q_base_node) at (2.6, 1.5);

```

```

\coordinate (Q_coll_node) at (3.0, 2.2);
\coordinate (Q_emit_node) at (3.0, 0.8);

% Draw Transistor Symbol
\draw [thick] (2.6, 1.2) -- (2.6, 1.8); % Base Bar
\draw (Q_base_node) -- (2.0, 1.5); % Base lead out to left
\draw (2.6, 1.7) -- (3.0, 2.2) -- (3.0, 2.5); % Collector internal + lead up
\draw [-{Stealth}] (2.6, 1.3) -- (3.0, 0.8); % Emitter internal arrow
\draw (3.0, 0.8) -- (3.0, 0); % Emitter lead down to GND
\draw (2.85, 1.5) circle (0.45); % Circle around transistor
\node at (3.5, 1.5) {Q1};

% Collector Circuit: Q1 -> L1 -> VCC
\draw (3.0, 2.5) to[inductor={info=$L_1$ (Pierw.)}] (3.0, 4);

% Base Bias Divider: VCC -> R1 -> Base -> R2 -> GND
\draw (0, 4) to[resistor={info=$R_1$}] (0, 1.5) to[resistor={info=$R_2$}] (0, 0);
\draw (0, 1.5) -- (2.0, 1.5); % Connect divider to base lead

% Feedback Path: L2 bottom -> Base
\draw (2.0, 1.5) -- (1.5, 1.5) -- (1.5, 0.5) -- (5, 0.5)
    to[inductor={info=$L_2$ (Wtórna)}] (5, 4.5);

% Plasma Output
\node[circle, fill, inner sep=1.5pt] at (5, 4.5) {};
\draw[thick, violet] (5, 4.5) -- (5.2, 5.0) -- (4.8, 5.2) -- (5.3, 5.5);
\node[right, violet] at (5.3, 5.0) {Plazma};

% Transistor Label Detail
\node[right, scale=0.8] at (3.1, 0.5) {(np. 2SC5200)};

\end{tikzpicture}
\caption{Kompletny schemat ideowy generatora Kacher Browina.}
\label{fig:kacher_schematic}
\end{figure}

\section{Bibliografia i Źródła}

\begin{thebibliography}{9}

\bibitem{weltmann}
K.D. Weltmann et al.,
\textit{Atmospheric pressure plasma jet for medical therapy: plasma parameters and risk estimation},
Plasma Processes and Polymers, 2009.

\bibitem{laroussi}
M. Laroussi,
\textit{Low-temperature plasmas for medicine?},
IEEE Transactions on Plasma Science, 2009.

```

\bibitem{kinpen}

Dokumentacja techniczna urządzenia \textbf{kINPen® MED},
Producent: neoplas med GmbH, \url{https://neoplas-med.eu}

\bibitem{piezobrush}

Opis technologii CeraPlas™ i urządzenia \textbf{Piezobrush® PZ3},
Producent: Relyon Plasma / TDK Electronics.

\bibitem{brovin}

Materiały dotyczące generatora Browina (Kachera),
Opis patentowy RU oraz publikacje techniczne Vladimira Ilicha Brovina.

\end{thebibliography}

\end{document}