

MICROPLASMAS LUMINESCENTES EM BAIXA E ALTA PRESSÃO

Bogos Nubar Sismanoglu – E-mail: boghosnubar@gmail.com

Resumo: Os microplasmas surgem como novos conceitos de aplicação nas diversas áreas da engenharia, para produção de sensores, iluminação, fontes de radiação, além de aplicações na área médica. Neste trabalho, estudos ópticos e elétricos foram realizados em microplasmas luminescentes em pressões no intervalo de 10 a 800Torr, em gás argônio ou ar, operadas em corrente contínua. Os dispositivos de microplasmas são do tipo microcatodo oco aberto (duas folhas de metal separadas por isolante elétrico, atravessados por um furo com diâmetro de algumas centenas de micrometros), microcatodo oco fechado (MCOF) com furo catódico e microanodo oco (furo anódico) ou “cathode boundary layer” – CBL. Foram levantadas curvas características tensão-corrente e curvas de Paschen para algumas situações de descarga. Foi observada a curva de histerese na transição entre a ruptura do gás e a pré-descarga para baixas correntes. Algumas fotografias foram obtidas para se observar os diferentes modos de operação. Microdescargas em paralelo foram acesas em um único dispositivo na região de operação com resistividade positiva (região de Townsend). Através da espectroscopia óptica de emissão obteve-se alguns parâmetros destas microdescargas para a mistura de gases Ar+2% H_2 para o MCOF e o CBL, para a faixa de 1 a 5mA e a pressão variando de 210 a 500Torr: a temperatura do gás, obtida através das linhas rotacionais $OH(A^2\Sigma^+, v=0 \rightarrow X^2\Pi, v'=0)$ foi de $(500 \pm 45)K$ para o MCOF e $(700 \pm 55)K$ para o CBL; a temperatura de excitação eletrônica foi de $(8000 \pm 540)K$ para ambas as modalidades; a densidade de elétrons variou de $(5,0 \pm 0,5)10^{13}$ a $(2,0 \pm 0,3)10^{14}cm^{-3}$ para o MCOF e de $(8,0 \pm 0,6)10^{13}$ a $(5,5 \pm 0,4)10^{14}cm^{-3}$ para o CBL. Estes resultados mostram que, para uma determinada corrente elétrica de operação, a densidade de potência no corpo do plasma é maior na descarga CBL, na comparação deste com um MCOF similar.

Palavras-chave: Microplasmas luminescentes, Espectroscopia de emissão óptica, Microcatodo oco.

MICROPLASMAS LUMINESCENT IN LOW AND HIGH PRESSURE

Abstract: Microplasmas appear as new concepts for application in different areas of engineering, production of sensors, lighting, radiation sources, and applications in medicine. In this work direct current glow microplasma fed by argon or air were used to study optical and electrical parameters for pressures ranging from 10 to 800Torr. The microplasma devices are: open microhollow cathode (OMHC) (a sandwich of metal + dielectric + metal with a few hundreds micrometre size borehole in it); closed microhollow cathode (blind hole - CMHC) and microhollow anode (cathode boundary layer -CBL). It was plotted V-I characteristics curves and Paschen's curves. Hysteresis behaviour was observed in V-I characteristics in a transition between the gas breakdown and the Townsend regime for low current. Digital pictures were obtained to better understand the different modes of operation. Parallel operation was possible showing the positive resistivity. Through optical emission spectroscopy plasma parameters were obtained for a range of pressure (210 to 500Torr) and current (1 to 5mA): the gas temperature obtained from $OH(A^2\Sigma^+, v=0 \rightarrow X^2\Pi, v'=0)$ rotational lines was $(500 \pm 45)K$ for CMHC and $(700 \pm 55)K$ for CBL; The excitation temperature was $(8000 \pm 540)K$ for both discharges; electron number density ranging from $(5.0 \pm 0.5)10^{13}$ to $(2.0 \pm 0.3)10^{14}cm^{-3}$ for CMHC and from $(8.0 \pm 0.6)10^{13}$ to $(5.5 \pm 0.4)10^{14}cm^{-3}$ for CBL. These results show the greater power density of CBL in comparison to CMHC ones.

Keywords: microplasmas, optical emission spectroscopy, microhollow cathode.

1. INTRODUÇÃO

O Departamento de Física do ITA vem desenvolvendo na última década diversos estudos ópticos e elétricos de microplasmas luminescentes, juntamente com aplicações como corrosão e tratamento de superfícies, deposições de filmes e produção de partículas ativas e radiação UV [1 – 11].

Os microplasmas produzidos são de radiofrequência (RF), de microondas, corrente contínua (CC) e também no modo pulsado. A partir dos estudos realizados por Schoenbach *et*

al [12] nosso grupo pesquisou microplasmas na modalidade de “microcatodo oco”, onde o dispositivo é constituído por três camadas finas, duas de metal separadas por um dielétrico, sendo atravessadas por um furo cilíndrico cujo diâmetro fica em torno de 200 μ m. Também estudou-se o microcatodo oco fechado, o microanodo oco e as microdescargas em forma de microestrias, além das operações em paralelo envolvendo uma matriz de microplasmas acesos no mesmo dispositivo [7, 13]. A partir daí vários trabalhos foram publicados com o objetivo principal de caracterizar óptica e eletricamente estas novas modalidades de descargas elétricas [2 – 11].

A Espectroscopia de Emissão Óptica (EEO) torna-se útil na caracterização óptica devido ao seu caráter não intrusivo e devido à reduzida dimensão dos microplasmas. Através da caracterização óptica obtiveram-se: temperatura do gás (T_g), temperatura de elétrons (T_e), temperatura de excitação (T_{exc}), temperatura do átomo de hidrogênio nas descargas de Ar + 2% H_2 (T_h), temperatura rotacional (T_{rot}) das espécies OH, O₂ e N₂ comumente encontradas nas descargas abertas em ar atmosférico, temperatura vibracional (T_v) de moléculas diatômicas (N₂), densidade de elétrons (n_e), densidade de espécies metaestáveis como o Ar₂ (n_m), entre outros. Através da EEO com resolução espacial e com emprego de espectrômetro de alta resolução (0,0001nm) pode-se obter a distribuição radial destas temperaturas e densidades com a conhecida técnica da inversão de Abel [13].

O estudo e aplicação do alargamento de linhas espectrais (alargamento Doppler, van der Waals, Stark-microcampo e Stark devido ao intenso campo elétrico externo) - comumente para as linhas de Balmer do átomo de hidrogênio e para as linhas de Ar e He - pode ser útil na determinação da densidade de espécies ativas do plasma, principalmente nos microplasmas em elevada pressão. Os alargamentos Stark das linhas de Balmer H α e H β são particularmente úteis na obtenção do perfil do gradiente do campo elétrico ao longo do plasma ou na região de bainha catódica, propiciando a obtenção de outros parâmetros importantes do plasma [13].

Neste artigo caracterizar-se-ão os microplasmas nas suas várias modalidades já citadas anteriormente. Além dos levantamentos das curvas características de tensão-corrente, serão apresentadas as curvas de Paschen e estimados alguns parâmetros ópticos dos microplasmas através do emprego da EOE.

2. MONTAGEM EXPERIMENTAL

O volume no qual as microdescargas são produzidas é composto de um tubo de vidro de quartzo com diâmetro interno de 10 cm e comprimento de 16 cm (Figura 1). Ele é fechado por duas tampas de alumínio com entradas para: três eletrodos, sistema de gás, três barômetros, bomba de vácuo e válvula de entrada de ar. Os três eletrodos cilíndricos maciços de cobre são recobertos por um tubo de vidro para permitir sua movimentação na direção longitudinal sem comprometer o vácuo, além de manter o isolamento elétrico. A fonte de tensão de CC pode fornecer uma tensão máxima de 5 kV, operando uma corrente de descarga de até 300 mA. Há nela um conjunto de 8 resistores de 47 k Ω cada, que podem ser associados em série e/ou em paralelo através de um sistema de chaveamento, para serem empregados como limitadores de corrente para as descargas.

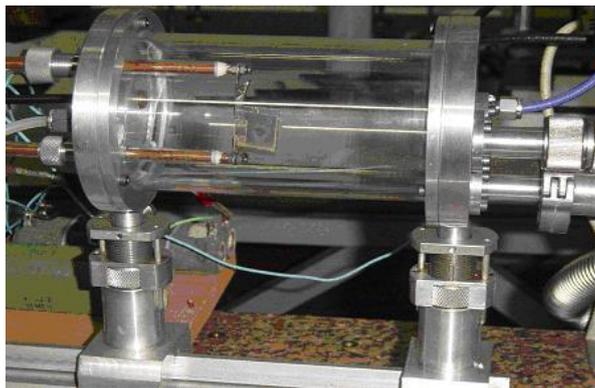


Figura 1 - Vista geral da câmara de descarga com dispositivo de MCOA.

A injeção de argônio de pureza 99,995% na descarga é controlada por um fluxímetro modelo MKS 247C. Produziu-se vácuo na razão de $8\text{m}^3/\text{h}$ com o uso de uma bomba de vácuo mecânica Edwards que forneceu vácuo final de $1,2 \times 10^{-2}\text{mbar}$. Os desvios e os erros experimentais deste artigo são de natureza estatística (desvio padrão) levando-se em consideração a reprodutibilidade dos experimentos em pelo menos 5 eventos de cada situação experimental. Nos gráficos presentes neste artigo, onde as barras de erro não aparecem, subentende-se que estes erros são de natureza intrínseca do próprio aparelho de medição, geralmente inferiores a 1%. Nos gráficos onde o fluxo de gás não aparece subentende-se que a operação de descarga ocorreu no modo estático, na ausência de fluxo.

Várias configurações de microplasmas foram construídas e estudadas sob o ponto de vista elétrico para operar no modo de descarga brilhante auto-sustentável em gás argônio e ar atmosférico. A pressão foi variada de aproximadamente 10Torr a 800Torr. Os experimentos com as microdescargas foram realizados em dispositivos com um único furo e também em operações de descargas associadas em paralelo, em sistemas multifuros. Caracterizou-se eletricamente o microcatodo oco aberto (MCOA) e fechado (MCOF), e o microcatodo plano com anodo oco (“cathode boundary layer” - CBL), todos no modo CC. A densidade de elétrons para alguns valores de pressão foi obtida através da aplicação dos métodos empregados em trabalhos anteriores [2 – 11, 13]. Para isto, usou-se a mistura gasosa 98%Ar + 2%H₂, para que as linhas de Balmer fossem mais intensas. Através das intensas linhas de Ar e Ar⁺ estimou-se a temperatura eletrônica pelo método gráfico de Boltzmann.

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Na Figura 2 é apresentada a curva característica de tensão-corrente evoluindo desde a descarga escura, com correntes muito baixas, passando do ponto de ruptura do gás e atingindo a descarga brilhante, esta com corrente elétrica da ordem de mA. Esta curva foi obtida na descarga de microcatodo oco aberto (MCOA) com eletrodos de molibdênio (espessura de $100\mu\text{m}$), furo com diâmetro de $700\mu\text{m}$, folha de mica com espessura de $100\mu\text{m}$, com gás argônio (fluxo de 200sccm, 1sccm = $1,667 \cdot 10^{-8}\text{m}^3/\text{s}$).

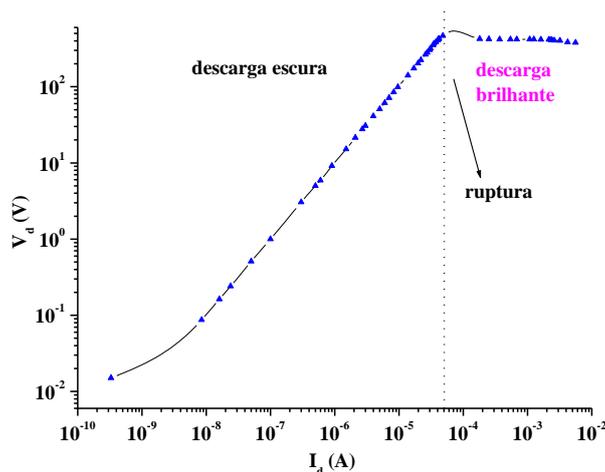


Figura 2 - Curva de tensão-corrente de uma descarga de microcatodo oco aberto, com eletrodos de Mo ($100\mu\text{m}$), mica ($d = 100\mu\text{m}$), furo com diâmetro $D = 700\mu\text{m}$, operada em Ar no modo CC.

O MCOA consiste de duas folhas finas de metal separadas por um filme de dielétrico, todas unidas com adesivo à base de epóxi, e atravessados por um furo vazante, com diâmetro pequeno, da ordem de centenas de μm . A referência [4] apresenta resultados elétricos para esta microdescarga. Obteve-se a curva de “histerese” de tensão-corrente (Fig. 3), que mostra o salto na intensidade da corrente elétrica com o conseqüente decréscimo na tensão de sustentação da descarga, no momento da ruptura elétrica do gás. Pode-se observar nesta figura que, após a ruptura do gás (ponto A), adentrou-se na região de descarga brilhante, no modo Townsend, com baixa corrente elétrica.

Esta descarga foi realizada em ar atmosférico, na pressão de 50Torr, em MCOA, furo com diâmetro de $200\mu\text{m}$, eletrodos de cobre e mica com espessura de $60\mu\text{m}$. Nesta região brilhante (B), elevando-se a corrente observou-se a inclinação positiva da curva tensão-corrente. Após ter sido alcançado um certo valor de corrente fez-se o caminho inverso, ou seja, diminuiu-se a corrente até a extinção total da descarga (C e D). Neste caminho de volta obtiveram-se valores de tensão e corrente de transição abaixo dos obtidos anteriormente. A partir daí, repetiu-se novamente o experimento e obteve-se a mesma curva. Esta curva mostra que correntes de descarga mais baixas podem ser alcançadas, além daquela corrente obtida logo após a ruptura do gás, desde que esta já tenha ocorrido. Observa-se na Figura 3 que a utilização de dispositivos de microdescarga constituídos de dielétricos muito finos, ou seja, com uma distância catodo-anodo muito pequena (inferior a $100\mu\text{m}$), propicia a ruptura do gás na região de pré-descarga brilhante com intensidade de corrente muito baixa, enquanto que dielétricos muito espessos levam à descarga brilhante normal.

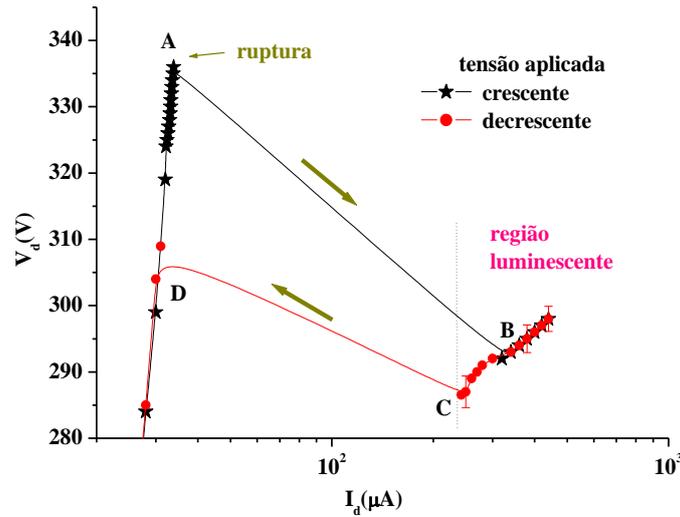


Figura 3 - Curva de tensão-corrente representativa da região de transição para a descarga auto-sustentada de microcatodo oco aberto, com eletrodos de cobre (60μm), mica com espessura $d = 60\mu\text{m}$, furo com diâmetro $D = 200\mu\text{m}$, na pressão de 50Torr. Usou-se o ar atmosférico como gás.

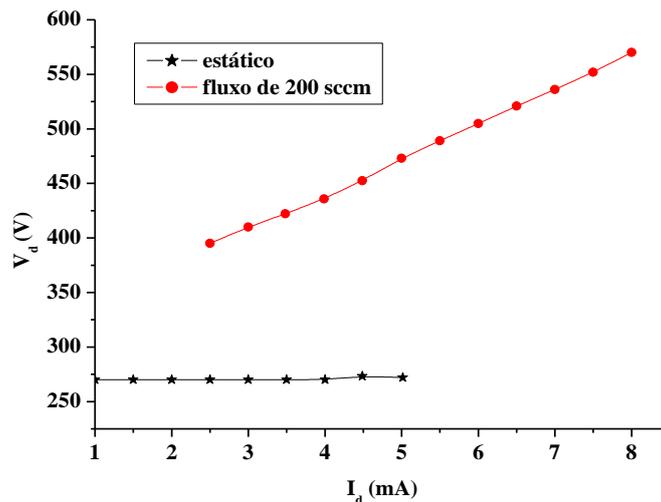


Figura 4 - Microcatodo oco operado nos modos estático ξ e dinâmico „, este com fluxo de 200sccm, com eletrodos de Mo, mica (250μm), furo com diâmetro $D = 400\mu\text{m}$, na pressão de 350Torr em argônio.

Na Figura 4 observa-se o comportamento da curva característica de tensão-corrente, na operação da descarga brilhante com fluxo de gás argônio de 200sccm, injetado diretamente na câmara de descarga. A primeira observação está na inclinação da curva, que agora mostra um comportamento resistivo do plasma. Isto é uma consequência do fato de que o fluxo de gás diminui o aquecimento, que levaria a adicionais emissões secundárias de elétrons. Observa-se também que a tensão da descarga é significativamente maior quando se opera em fluxo, objetivando-se manter o nível de ionização constante no orifício. A curva de tensão-corrente, na descarga com fluxo de gás, inicia-se numa corrente maior, comparada com a descarga no modo estático. Isto ocorre porque, na operação com fluxo, a intensidade do campo elétrico requerida para solicitar a ruptura do gás é maior, aumentando a multiplicação de elétrons no efeito avalanche e a descarga, portanto, se inicia diretamente em correntes mais elevadas.

Consegue-se, deste modo, operar uma descarga de microcatodo oco em ar atmosférico simplesmente injetando gás argônio no sentido do anodo para o catodo, o que estabiliza a descarga [8, 9].

Para a maioria das aplicações práticas, deverão ser gerados plasmas com áreas mais extensas. A solução está em se produzir microdescargas associadas paralelamente num dispositivo multifuros. Como vimos anteriormente, na região brilhante de pré-descarga ou descarga de Townsend, caracterizada por correntes baixas, a curva característica de tensão-corrente apresenta variação de resistividade positiva e o plasma comporta-se como um resistor. Num dispositivo com 4 furos, por exemplo, impede-se o alastramento do plasma pela superfície catódica, no modo brilhante normal de operação, simplesmente cobrindo o catodo com uma folha de dielétrico, deixando apenas a abertura catódica exposta (Figura 5). Assim, o plasma evolui diretamente para o modo anômalo brilhante, caracterizado pela resistência diferencial positiva, permitindo deste modo a associação em paralelo de outras microdescargas. Na Figura 6 obtive-se a curva tensão-corrente para o MCOA, para 1, 2 e 4 furos, em folha de cobre e dielétrico de papel de mica com espessura $d = 250\mu\text{m}$, furo com diâmetro $D = 500\mu\text{m}$ e operando em argônio, na pressão $P = 40\text{Torr}$.

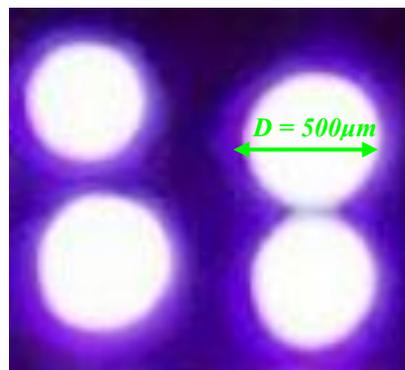


Figura 5 - Fotografia de 4 descargas luminescentes acesas em paralelo.

Pode-se observar nesta figura a inclinação positiva da curva tensão-corrente e, a partir dela, pode-se obter a resistência elétrica de cada associação, para 1, 2 e 4 furos e então, respectivamente, encontram-se os valores $R_1 = 32 \text{ k}\Omega$, $R_2 = 15 \text{ k}\Omega$ e $R_4 = 7 \text{ k}\Omega$, aproximadamente. A relação aproximada $R_1 = 2R_2 = 4R_4$ mostra que, para um determinado valor da tensão de operação da descarga V_d , a intensidade da corrente elétrica total será $I_4 = 2I_2 = 4I_1$, respectivamente, para a operação em 4, 2 e 1 furos, e a intensidade da corrente elétrica que flui pelo plasma de um determinado furo será sempre I_1 , com resistência elétrica R_1 . Para um certo valor de V_d , a intensidade da corrente elétrica para o sistema com 1 furo será dada por $V_d = R_1 I_1$ e para um sistema com n furos, a corrente será obtida por $V_d = R_n n I_1$, o que resulta em $R_1 = n R_n$.

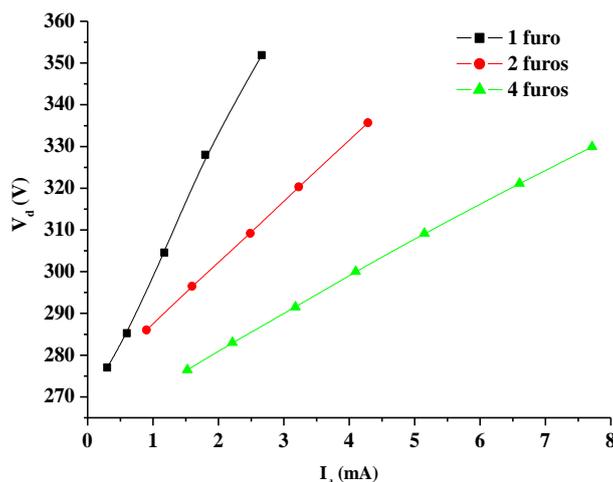


Figura 6 - Operação em paralelo da descarga de microcatodo oco aberto, com a superfície catódica coberta com um filme de dielétrico, na pressão de 40Torr, em gás argônio, mantendo apenas os furos ($D = 500\mu\text{m}$) expostos.

Na modalidade de microdescarga apresentada na Figura 7, o furo cego atravessa uma das folhas de metal e o dielétrico. Do ponto de vista da curva de tensão-corrente e da emissão de luz pelos furos, que serão discutidos a seguir, duas descargas distintas podem ser obtidas a partir deste dispositivo: a descarga de microcatodo oco fechado (MCOF), quando o orifício está no metal polarizado negativamente (orifício catódico) e a descarga de microanodo oco fechado ou descarga de catodo plano com anodo aberto (cathode boundary layer – CBL).

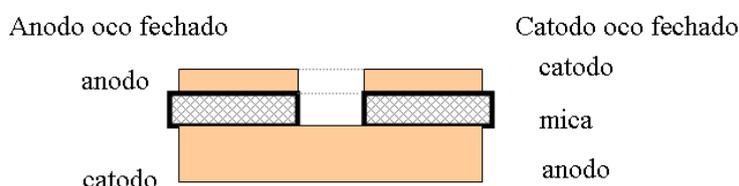


Figura 7 - Configuração de catodo oco fechado e anodo oco fechado, de acordo com a polarização elétrica dos terminais.

A Figura 8 compara a curva de tensão-corrente de uma descarga luminescente nestas duas configurações, para algumas pressões de operação. Utilizou-se, neste caso, um dispositivo construído com folhas de molibdênio, com espessura de $100\mu\text{m}$, furo de $600\mu\text{m}$, para gerar microplasma de argônio. O experimento foi implementado para uma pressão reduzida $PD = 1,2$ a 30Torr.cm, e observa-se que no modo de operação CBL a resistividade do plasma é positiva, enquanto que na operação do microcatodo oco fechado, o modo normal luminescente é mais presente na descarga. No microcatodo oco fechado, assim como ocorre no microcatodo oco aberto, pode-se dizer que o volume de plasma é reduzido devido ao pequeno livre caminho médio dos elétrons observado nas operações de média e alta pressão, as mais comuns nestes tipos de descarga, e a área do catodo coberta pelo plasma é pequena. Ao elevarmos a corrente elétrica observamos um aumento nesta área, mantendo-se constante a tensão da descarga. Esta região é conhecida como descarga luminescente normal. Comparado

com o CBL, o micro catodo oco possui uma área catódica maior, possibilitando uma maior expansão do plasma.

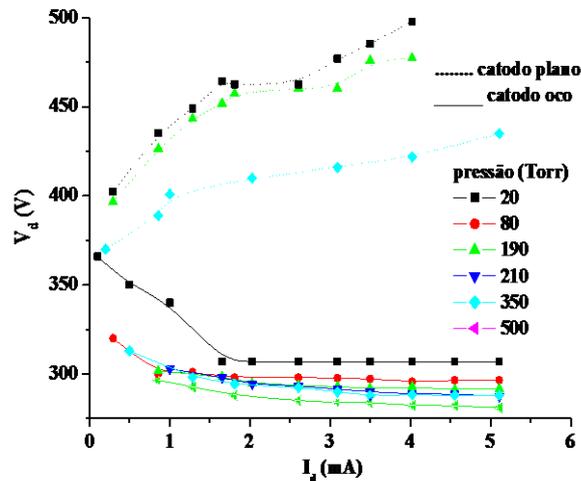


Figura 8 - Curva de tensão-corrente obtida nas descargas de microcatodo oco fechado (linha cheia) e CBL (linha tracejada), para várias pressões de operação. Os eletrodos são de Mo (100 μ m) e o furo tem diâmetro $D = 600 \mu$ m.

Na descarga CBL observa-se a inclinação positiva da curva de tensão-corrente, para uma ampla faixa de pressão. A inclinação diminui com a elevação da pressão, o que mostra uma elevação da ionização. Devido à pequena área catódica, a descarga ocupa praticamente todo o volume do furo e, ao elevarmos a tensão da fonte, elevamos a intensidade da corrente que flui pelo plasma, sem aumentarmos a área de atuação do plasma, elevando a tensão da descarga. Observa-se também na Figura 8 que, para uma mesma corrente de descarga, a tensão de sustentação da descarga é maior para a operação de catodo plano (CBL). Este comportamento é bastante conhecido em descargas em baixa pressão de catodo plano e catodo oco convencional.

A Figura 9 mostra a fotografia obtida destas microdescargas de catodo oco e de catodo plano, nas mesmas condições de operação, para uma corrente elétrica de 4mA. A pressão de operação das descargas foi de 350Torr. Nesta corrente, a descarga de microcatodo oco está no modo normal de operação. Verificamos que a intensidade luminosa emitida está correlacionada com a potência elétrica da descarga, visto que a luz emitida pela descarga CBL é mais intensa e homogênea para toda a área do orifício, em comparação com a luz mais tênue emitida pela descarga de catodo oco. Isto mostra, portanto, que a potência elétrica maior verificada na descarga CBL está atuando diretamente no corpo do plasma. Através do uso da espectroscopia óptica de emissão e dos métodos já empregados em trabalhos recentes [2 -11, 13] obtivemos alguns parâmetros destes dois tipos de microdescargas (Figura 8), para a faixa de 1 a 5mA e a pressão variando de 210 a 500Torr: a temperatura do gás foi de (500 ± 45) K para o MCOF e (700 ± 55) K para o CBL; a temperatura de excitação eletrônica foi de (8000 ± 540) K para ambas as modalidades; a densidade de elétrons variou de $(5,0 \pm 0,5)10^{13}$ a $(2,0 \pm 0,3)10^{14}$ cm⁻³ para o MCOF e de $(8,0 \pm 0,6)10^{13}$ a $(5,5 \pm 0,4)10^{14}$ cm⁻³ para o CBL. Estes resultados corroboram o que foi citado anteriormente, ou seja, que a elevada intensidade luminosa emitida pela descarga CBL, comparativamente com a de MCOF, é resultante da alta densidade de potência elétrica na região da descarga, o que favorece a elevação da

temperatura do gás e da densidade eletrônica. Já a Fig. 10 mostra a fotografia digital para dispositivo com furo de diâmetro $D = 1,1\text{cm}$. Aqui, a descarga é operada na configuração de catodo oco “convencional” a 4Torr, visto que o diâmetro do furo é grande, possibilitando a formação de elétrons “pendulares”, que oscilam no corpo do plasma aumentando, portanto, a eficiência de ionização. Deste modo, o plasma se concentra no centro do furo e afastado de suas bordas, com luminosidade emitida superior ao da observada na configuração de catodo plano. Não se devem confundir as propriedades desta descarga de catodo oco “convencional” à baixa pressão, para furos grandes, com as da microdescarga de catodo oco, pois, apesar dos nomes parecidos, esta última não propicia a formação de elétrons pendulares devido ao reduzido livre caminho médio dos elétrons e, deste modo, o “efeito” de catodo oco não é observado nesta descarga, de acordo com resultados obtidos recentemente [3].

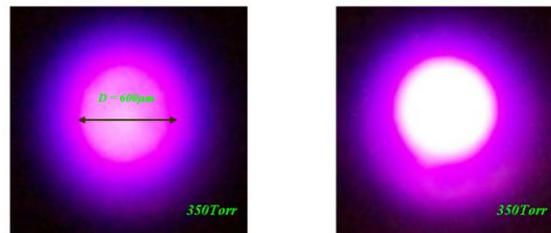


Figura 9 - Fotografias digitais comparando a emissão luminosa através da descarga de catodo oco operando no modo normal (esquerda) e da descarga de catodo plano (direita).

Outra característica importante das microdescargas, confinadas em furos com volume bastante reduzido, é a densidade de potência bastante elevada destes microplasmas, sendo superior a $100\text{kW}/\text{cm}^3$ nestes dispositivos apresentados.

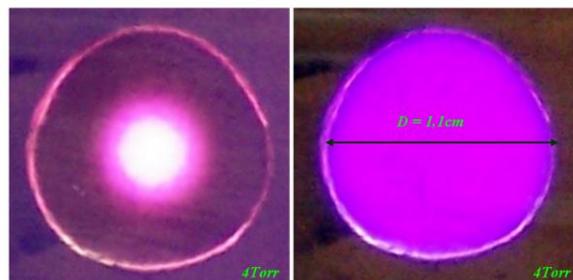


Figura 10 - Fotografias comparando a emissão luminosa através da descarga de catodo oco operando no modo catodo oco (esquerda) e da descarga de catodo plano (direita). O furo tem diâmetro $D = 1,1\text{cm}$ operando a 4Torr (gas Ar).

Na Figura 11 comparam-se as curvas de Paschen das descargas de catodo oco e plano (CBL), para furo com diâmetro de $300\mu\text{m}$, em argônio. O que se fez foi usar o mesmo dispositivo, uma vez polarizado como catodo oco e, na outra vez, como catodo plano. Analogamente aos casos já conhecidos de descargas de catodo plano e oco convencionais à baixa pressão, aqui também podemos observar a eficiência maior de ionização na descarga de catodo oco para valores de Pd menores que $1\text{Torr}\cdot\text{cm}$. Nestas situações, a geometria de catodo oco requer um menor valor de tensão aplicada para a ruptura do gás. A descarga de anodo plano (CBL) ocorre com tensões de ruptura menores, para valores de $P\cdot d$ maiores que $2\text{Torr}\cdot\text{cm}$, quando comparamos com a descarga convencional de catodo-anodo planos. Observamos que de aproximadamente 2 a $20\text{Torr}\cdot\text{cm}$ (67 a 670Torr), a tensão de ruptura na

descarga CBL praticamente permaneceu inalterada, o que não ocorre na descarga convencional.

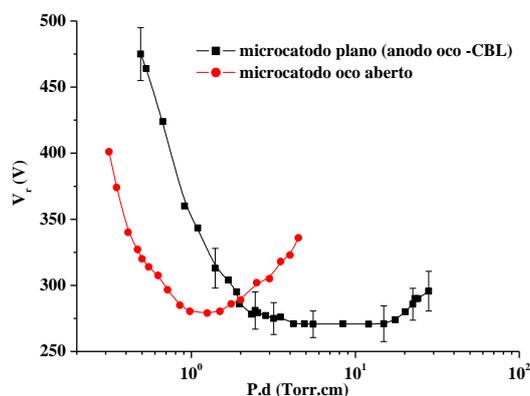


Figura 11 - Comparativo entre as curvas de Paschen nas descargas de microcatodo oco aberto e CBL para furo com diâmetro $D = 300\mu\text{m}$, em argônio.

A Figura 12 mostra um dispositivo CBL onde se substituiu o furo por uma fenda bastante delgada e comprida. Para a fabricação de tal dispositivo, abre-se uma fenda numa folha de cobre e igualmente numa folha de mica. A largura da fenda é controlada visualmente com a utilização de um microscópio com uma câmera CCD acoplada. Consegue-se, assim, uma área extensa de plasma em alta pressão, já que se consegue facilmente operá-las em paralelo num mesmo dispositivo.

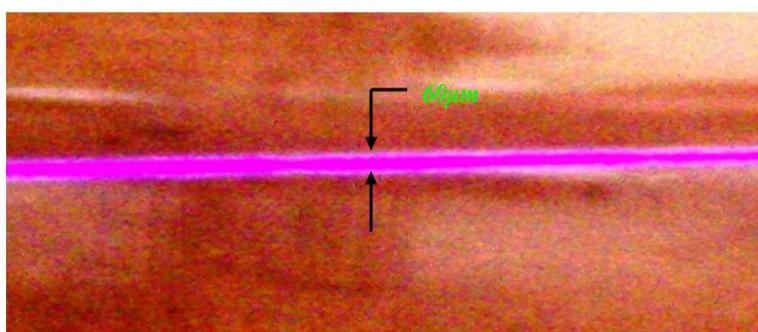


Figura 12 - Descarga CBL em formato de microestria com largura de $60\mu\text{m}$ e comprimento de 5cm a 620Torr.

4. CONCLUSÕES

Através da espectroscopia óptica de emissão com monocromador de alta resolução espacial (Yvon Jobin – 0,0001nm) obtiveram-se alguns parâmetros de microplasmas para a mistura de gases $\text{Ar}+2\%\text{H}_2$ para o microcatodo oco fechado (MCOF) e para o microanodo oco fechado (ou cathode bondery layer - CBL), para a faixa de 1 a 5mA e a pressão variando de 210 a 500Torr: a temperatura do gás, obtida através das linhas rotacionais $\text{OH}(A^2\Sigma^+, v=0 \rightarrow X^2\Pi, v'=0)$ foi de $(500 \pm 45)\text{K}$ para o MCOF e $(700 \pm 55)\text{K}$ para o CBL; a temperatura de excitação eletrônica foi de $(8000 \pm 540)\text{K}$ para ambas as modalidades; a densidade de elétrons variou de $(5,0 \pm 0,5)10^{13}$ a $(2,0 \pm 0,3)10^{14}\text{cm}^{-3}$ para o MCOF e de $(8,0 \pm 0,6)10^{13}$ a $(5,5 \pm 0,4)10^{14}\text{cm}^{-3}$ para o CBL. Foram levantadas curvas características tensão-corrente e curvas de Paschen para algumas situações de descarga. Foi observada a curva de histerese na

transição entre a ruptura do gás e a pré-descarga para baixas correntes. Para dispositivos com dielétrico muito fino há a possibilidade de se romper o gás na região de Townsend, em baixas correntes. Os diferentes modos de operação das descargas de MCOF e CBL foram observados através de fotografias, mostrando que a intensidade luminosa de emissão é maior para a descarga de CBL, devido à elevada potência elétrica da descarga. Microdescargas em paralelo foram acesas em um único dispositivo na região de operação com resistividade positiva (região de Townsend). A produção de microdescargas através de microestrias mostra que é possível obter uma área grande de descarga em dispositivos do tipo CBL.

Agradecimentos

Os autores agradecem à FAPESP pelo apoio à pesquisa no Laboratório de Mecânica e no Laboratório de Óptica e Espectroscopia do Depto de Física do ITA. O autor agradece ao Cnpq pela bolsa de Produtividade DT 2012.

REFERÊNCIAS

- [1] <http://www.ief.ita.br>.
- [2] PESSOA, R. S.; SISMANOGLU, B. N.; AMORIM, J.; PETRACONI, G.; MACIEL, H. S., *Hollow cathode discharges: low and high-pressure operation, in Gas Discharges, Fundamentals and Applications*, Transworld Research Network, India, 2007.
- [3] SISMANOGLU, B. N.; AMORIM, J., *European Physical Journal: Applied Physics* 41 (2008) 165-172.
- [4] GOMES, M. P.; SISMANOGLU, B. N.; AMORIM, J., *Brazilian Journal of Physics* 39 (2009) 25-30.
- [5] SISMANOGLU, B. N.; AMORIM, J.; SOUZA-CORRÊA, J. A.; OLIVEIRA, C.; GOMES, M. P., *Spectrochimica Acta Part B* 64 (2009) 1287-1293.
- [6] OLIVEIRA, C.; SOUZA-CORRÊA, J. A.; GOMES, M. P.; SISMANOGLU, B. N.; AMORIM, J., *Applied Physics Letters* 93 (2008) 041503 (3 pages).
- [7] SISMANOGLU, B. N., *Caracterização de microplasmas anulares e tubulares. Aplicação em microjatos de plasmas*, Dissertação de Mestrado (2005), Instituto Tecnológico de Aeronáutica, São José dos Campos (SP).
- [8] SISMANOGLU, B. N.; CAETANO, R., *Revista Brasileira de Aplicações de Vácuo* 29 (2010) 25-30.
- [9] SISMANOGLU, B. N.; GRIGOROV, K. G.; CAETANO, R.; REZENDE, M. V. O.; HOYER, Y. D., *European Physical Journal D* 60 (2010) 505-516.
- [10] SISMANOGLU, B. N.; GRIGOROV, K. G.; SANTOS, R. A.; CAETANO, R.; REZENDE, M. V. O.; HOYER, Y. D.; RIBAS, V. W., *European Physical Journal D* 60 (2010) 479-487.
- [11] SISMANOGLU, B. N.; CUNHA, C. L. A.; GOMES, M. P.; CAETANO, R.; GRIGOROV, K. G., *Brazilian Journal of Physics*, 40 (2010) 459-463.
- [12] SCHOENBACH, H. H.; MOSELHY, M.; SHI, W.; BENTLEY, R., *Journal of Vacuum Science and Technology A* 21 (2003) 1260-1265.
- [13] SISMANOGLU, B. N. *Estudo e caracterização de microplasmas luminescentes através da espectroscopia óptica de emissão*, Tese de Doutorado (2010), Instituto Tecnológico de Aeronáutica, São José dos Campos (SP).