



ESTUDO DE CRESCIMENTO DE DIAMANTE CVD POLICRISTALINO VISANDO OTIMIZAR A ÁREA DE DEPOSIÇÃO PARA O DIAMANTE MONOCRISTALINO

SIERRA, G. J.¹, VIEIRA, J.¹, CORAT, E.J.², TRAVA-AIROLDI, V. J.²

¹Aluno de doutorado do curso em Engenharia e Tecnologia Espaciais / Ciência e Tecnologia de Materiais e Sensores

²Laboratório Associado de Sensores e Materiais (LABAS)

Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, SP, Brasil

javier.sierra@inpe.br

Resumo. O propósito deste trabalho foi estudar parâmetros críticos para crescimento de diamante de grau monocristalino para aplicações espaciais, nas áreas da microeletrônica e óptica. Neste trabalho, foram estudadas condições de crescimento de filmes de diamante policristalino através do método de deposição química da fase vapor ativada por plasma de microondas (MWPACVD). Como resultado, a morfologia dos filmes não apresentou alterações significativas para porta-substratos diferentes, entretanto, condições de potência de micro-ondas (2,4 kW) e pressões mais baixas (100 Torr) levaram a uma redução na intensidade e alargamento do pico característico e aumento na luminescência observada por espectroscopia Raman. Resultados prévios mostram que para a deposição de diamante policristalino se permitiram obter filmes de boa qualidade com ótimas taxas de crescimento de até 16 μ /h. Os filmes foram avaliados por Microscopia eletrônica de varredura e espectroscopia de espalhamento Raman para análise de topografia, taxa de crescimento e qualidade do filme.

Palavras-chave: Plasma, MWPACVD, Diamante Monocristalino, Filmes Finos e Espessos.

1. Introdução

Na década dos anos 80 a pesquisa de diamante CVD foi impulsionada pela descoberta na utilização do hidrogênio atômico (SPITSYN; BOUILOV; DERJAGUIN, 1981) como precursor na síntese do diamante na fase de vapor. Em seguida uma série de estudos surgiram (SILVA et al., 1996; TRAVA-AIROLDI et al., 1995), com a possibilidade de deposição em diferentes tipos de substratos (DAMM et al., 2017; FRAGA et al., 2018; TRAVA-AIROLDI et al., 1995, 2003) aumentando uma janela de aplicações inovadoras (TRAVA-AIROLDI; CORAT; BARANAUSKAS, 1997; TRAVA-AIROLDI; CORAT; MORO, 2006) até que evoluiu mais expressivamente na estrutura monocristalina, ganhando força pelas propriedades mecânicas, físicas, químicas, elétricas e ópticas (ACHARD; TALLAIRE, 2018; MOKUNO; YAMADA; CHAYAHARA, 2018; WANG et al., 2019). A natureza única do diamante o faz um material escasso e caro quando é proveniente de mineração, soma-se a isto o fato de que durante sua formação a presença de diversos elementos como metais, silício, boro e nitrogênio o atribuem defeitos indesejáveis para aplicações de maior valor tecnológico. Ou seja, dispositivos isolantes elétricos, semicondutores, sensores de radiação, janelas ópticas, ópticas para laser, etc, exigem um estrito controle de impurezas e a mais comum encontrada é o nitrogênio (BREEDING; SHIGLEY, 2009) afetando propriedades estéticas, ópticas e a



condutividade elétrica. Somado a isso, procura-se uniformidade, maiores taxas de crescimento e elevada pureza do filme (LIANG et al., 2009).

Neste trabalho tem-se como objetivo estudar parâmetros críticos na deposição filmes de diamante CVD de elevada qualidade estrutural, utilizando dois tipos de porta-substrato de molibdênio de distinta área de deposição (3,8 e 7,07 cm²), via deposição química na fase de vapor por plasma de micro-ondas e como agentes precursores foi utilizada uma mistura gasosa de H₂/CH₄ de um fluxo de 200 sccm. A dissipação térmica e área de deposição são alguns deles. A novidade deste trabalho é o estudo da área de deposição visando a posterior sintetização de monocristais de diamante CVD em grande área.

2. Metodologia

2.1. Sistema MWPACVD

Foi utilizado um reator MWPACVD de fabricação própria da câmara unida a um gerador de micro-ondas de 2,45 GHz de alta potência (Muegge MX600D) para formação da descarga de plasma. A potência de descarga é transportada por um guia de micro-ondas retangular e acoplada na cavidade modular por uma antena circular e transmitida por uma janela de quartzo fundido. Esta encontra-se refrigerada por ar comprimido de modo que o dano por superaquecimento e corrosão na janela pode ser reduzido de forma eficaz. A descarga de plasma ocorre sobre o porta-substrato de molibdênio que está resfriado por um trocador de calor de cobre, permitindo controlar a temperatura do substrato em altas densidades de potência durante a deposição do CVD. O controle de temperatura é feito mediante um pirômetro ótico vermelho de duas cores (*Dr. Mergetalher GmbH LASCON LPCO3 pyrometer*) no intervalo de 300 °C a 1300 °C com precisão de 0,1 °C.

2.2. Preparação dos substratos e crescimento de filmes de diamante policristalino

Foram utilizados substratos de silício monocristalino com uma face polida com dimensões 3x3x0,3 mm³ e 5x5x0,3 mm³, com o objetivo de testar experimentalmente a geometria das sementes (substratos) de diamante para a deposição do SCD e determinar a taxa de crescimento do diamante CVD em função da pressão e potência aplicada de micro-ondas. Foi realizada uma limpeza no ultrassom para a remoção de gordura, poeiras, e óxidos presentes na superfície de deposição com desengordurante (10%), *tinner*, álcool isopropílico e água DI por 8 minutos para cada etapa.

Em seguida foi realizado o processo de semeadura utilizando o método ESND (*do inglês, Electrostatic Self-Assembly Seeding of Nanocrystalline Diamond*), com objetivo de melhorar a taxa de nucleação e o crescimento dos filmes de diamante policristalino. Os substratos de silício foram submersos em uma solução polimérica de caráter catiônico, conhecida como PDDA (*do inglês, poly(diallyldimethylammonium chloride)*) por 30 minutos para garantir uma funcionalização eficiente (WANG et al., 2017). Após foram lavados em água DI e novamente submersos em uma solução aniônica de nanopartículas de diamante PSS (*do inglês, poly(diallyldimethylammonium chloride)*), por mais 30 minutos e finalmente lavados em água DI e secados ao ar livre.

O processo de deposição de diamante CVD está dividido em duas fases. Na primeira utilizou-se o porta-substrato A com uma área de deposição de 3,8 cm² para os substratos de silício de 3x3x0,3 mm³, na faixa de potência de 2,4 – 4,2 kW e pressão entre 100 – 200 Torr. Para a segunda deposição foi utilizado o porta-substrato B para uma área de deposição de 7,8 mm² utilizado os substratos de silício de dimensões de 5x5x0,3 mm³, usando uma potência incidente de 3,6 kW e 170 Torr mantendo uma temperatura em média de 873,5 °C. Para todos os experimentos o tempo de deposição foi de 135 minutos de crescimento do CVD utilizando a técnica de descarga de plasma de micro-ondas MWPACVD em 2,45 GHz de alta potência (6 kW). Adicionalmente foram feitas várias purgas com gás hidrogênio na linha de alimentação e câmara, minimizando qualquer contaminante presente no ambiente de crescimento. Mantiveram-se fixos os parâmetros do fluxo de gases em 200 sccm com um percentual de 2 % de CH₄ para todos os experimentos.



2.3. Caracterização dos filmes de diamante

A superfície morfológica dos filmes de diamante policristalino e a medida das taxas de crescimento foram caracterizadas por microscopia eletrônica de varredura SEM-FEG (*do inglês Scanning Electron Microscopy Field Emission Gun*) da marca Tescan – Mira 3. A qualidade estrutural dos filmes foi caracterizada por Espectroscopia de Espalhamento Raman utilizando o Espectrômetro Raman LabRAM Horiban Evolution, por excitação através de laser com comprimento de onda de 514, tempo de aquisição de dados de 20 segundos, com 3 acumulações para cada espectro e para cada amostra foram realizados quatro espectros em regiões diferentes, ambos pertencentes ao LABAS-INPE.

3. Resultados e Discussão

3.1. Caracterização do Sistema MWPACVD

A caracterização do sistema de deposição química na fase de vapor compreendeu em aspectos tais como a obtenção do plasma, a relação entre as potências incidente e refletida, tipos de porta-substrato, parâmetros de funcionamento do sistema MWPACVD e área de deposição e temperatura do porta-substrato. Em primeiro lugar foi aplicada uma potência e pressão mínimas de 600 W e 10,5 Torr respectivamente, com um fluxo de gás hidrogênio de 100 sccm, gerando a descarga de plasma sobre o porta-substrato de molibdênio. A posição do porta-substrato foi identificada mediante a movimentação na vertical do eixo central até conseguir uma estabilidade visualmente perceptível do plasma. Ou seja, a cavidade ressonante é modificada e a geometria da esfera de plasma é mudada. Em algumas ocasiões esta é achatada na parte de cima ou também o plasma pode-se formar em uma região diferente da área de deposição, sendo necessário modificar o modo de oscilação que pode ser aumentado pelo modo gradual da pressão, como também junto com a potência incidente dos micro-ondas.

Por outro lado, a relação entre as potências incidente e refletida foi identificada especialmente em elevadas pressões acima de 200 Torr, onde tende aumentar consideravelmente. Essa foi ajustada por meio dos sintonizadores, chegando ser de 0% e de 0,2% (12 W) para potências superiores a 3,6 kW. Desta maneira, supõe-se que o reator opera de forma eficiente havendo poucas perdas de potência incidente. As duas principais perdas de energia correspondem a energia não utilizada, isto é, potência refletida que é absorvida de volta no sistema coletor, micro-ondas absorvidos pelas paredes internas da câmara e em qualquer material dielétrico durante o percurso das micro-ondas, como também possível vazamento. Um reator MWPACVD projetado e operado corretamente, apresenta pouca ou nenhuma perda de energia, seja em potência refletida ou nas paredes ôhmicas e dielétrica dentro da rede de acoplamento. Isso acontece devido à eficiência do acoplamento dos micro-ondas ser alta, dessa forma aproveita-se ao máximo a energia incidente.

Outro aspecto importante na deposição do diamante é a obtenção do plasma, que é um parâmetro fundamental relacionado com a área de deposição onde se procura gerar com a maior densidade possível. Além disso, a dissipação térmica entre a semente e o porta-substrato é crucial, e o porta-substrato é uma peça chave nesses aspectos. Para isto foi necessário a fabricação e teste de vários tipos com diferentes geometrias e materiais, tais como: grafite, nióbio e finalmente molibdênio, como foi estudado em um trabalho prévio nosso (SIERRA; CORAT; TRAVA-AIROLDI, 2018; SIERRA GÓMEZ, 2019). Obteve-se bom desempenho utilizando molibdênio por ser três vezes mais condutor térmico (138 W/mK) que o nióbio. Para o projeto do porta-substrato teve-se como referência à dissipação térmica, minimizando os efeitos de contaminação devido aos efeitos de *sputtering* pelo plasma ativo e conseguiu-se uma melhor distribuição de calor e uma maior área de deposição do diamante.



Na Figura 1 se exhibe os dois tipos de porta-substrato projetados para a deposição do diamante CVD. Na Figura 1(a) observa-se o porta-substrato com cavidade para a deposição de diamante em amostras de $3 \times 3 \times 0,3 \text{ mm}^3$ com boa qualidade estrutural. Com o desenvolvimento do porta-substrato de cavidade conseguiu-se uma deposição uniforme de MCD em toda área de deposição sem o crescimento preferencial na borda de silício de diamante policristalino que é indesejável para o SCD. Enquanto o porta-substrato da Figura 1(b), denominado porta-substrato B, foi projetado para a produção em escala de várias amostras. Estima-se o crescimento de máximo 20 amostras simultâneas ($3 \times 3 \text{ mm}^2$) aproximadamente garantindo a mesma qualidade estrutural e cristalina para todos os substratos. Esse porta-substrato B consiste em duas peças uma fixa e outra móvel onde se consegue controlar a temperatura, ou seja, com a movimentação do êmbolo do porta-substrato a cavidade ressonante é regulada de modo que a esfera de plasma é concentrada no centro da região de deposição.

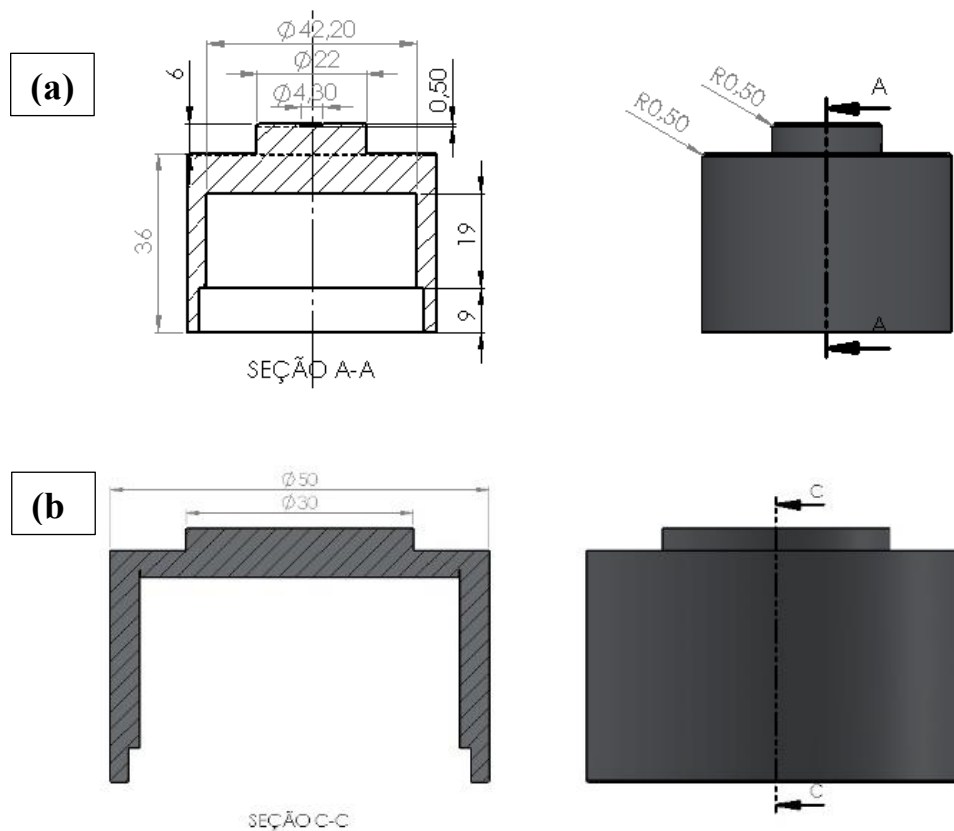


Figura 1. Esquema do porta-substrato. (a) Porta substrato-A, área de deposição de $3,8 \text{ cm}^2$. (b) Porta-substrato-B, área de deposição $7,07 \text{ cm}^2$. Cotas em mm. Fonte: produção do autor.

Um segundo aspecto importante na deposição do diamante é a área de deposição proveniente da formação da esfera de plasma nas melhores condições possíveis. A dependência dessa área de deposição está em função de alguns parâmetros como a potência incidente, pressão e geometria do porta-substrato. Foi observado que em pressões maiores a 200 Torr e potências incidente dos micro-ondas, se consegue reduzir a esfera de plasma a poucos mm de diâmetro diminuindo a área de deposição, enquanto para potências altas a área de deposição é maior, ou seja, obteve-se maiores densidades de potência. Desta forma consegue-se uma maior área de deposição com o aumento gradual de potência e um ajuste fino da pressão. Para nosso reator é possível conseguir descargas próximo a 300 Torr, mas a deposição não é uniforme. Isto acontece, por que nestas condições as descargas são intensas, semelhantes a um arco e podem se movimentar pela câmara na medida que



reagem com as forças de convecção causadas pelo fluxo de gás ao redor e dentro da descarga de plasma (GU et al., 2012).

A temperatura faz parte de outro parâmetro de grande importância, pois interfere diretamente na qualidade do filme como na taxa de crescimento que sua vez depende da pressão interna na câmara do reator. Temperaturas acima de 850 °C são favoráveis para a deposição do diamante MCD, ou seja, a deposição de fases carbonosas de não diamante são extintas ou diminuídas, melhorando a qualidade e cristalinidade do filme. O controle da temperatura pode-se dar pelo ajuste da pressão e/ou potência incidente. Observou-se um melhor controle da temperatura com o ajuste da potência enquanto para um incremento de 1 Torr na pressão se incrementa 2 °C a temperatura do substrato, aproximadamente.

Em altas densidades de plasma uma pequena variação na pressão interna da câmara interfere na temperatura do substrato. Isto ocorre porque em temperaturas elevadas (300 Torr) há um incremento da temperatura da fase gasosa, ocasionado pelo aumento da dissociação das moléculas e o caminho médio dos íons e elétrons é menor, ou seja, a colisão deles com o substrato é bem menor (GRACIO; FAN; MADALENO, 2010).

Desta forma foi caracterizado nosso sistema de deposição. A seguinte etapa foi a deposição de diamante policristalino em substratos de silício para estudo das possíveis melhores condições de crescimento do diamante monocristalino avaliando a qualidade do filme e taxa de crescimento.

3.2. Espectroscopia de Espalhamento Raman

A pureza de todos os filmes foi avaliada para os crescimentos do porta-substrato A e B. Para 2,4 kW e 100, 150 e 200 Torr, nestas condições, houve uma influência negativa na qualidade promovendo a formação de ligações do tipo sp^2 em vez da hibridização do diamante sp^3 . Foram identificadas as bandas D em 1340-1350 cm^{-1} , as bandas de trans-poliacetileno entre 1430-1470 cm^{-1} , possível formação nos limites de grão, e a banda G entre 1520-1580 cm^{-1} . Adicionalmente foi identificada em 1500 cm^{-1} a banda de não-diamante. Na medida que foi aumentada a densidade de plasma foi melhorada significativamente a qualidade do filme, apresentando o pico característico do diamante em 1331,7 cm^{-1} e a FWHM em 8,2 cm^{-1} em 1362 W/ cm^3 para condições de 4,2 kW e 200 Torr de pressão.

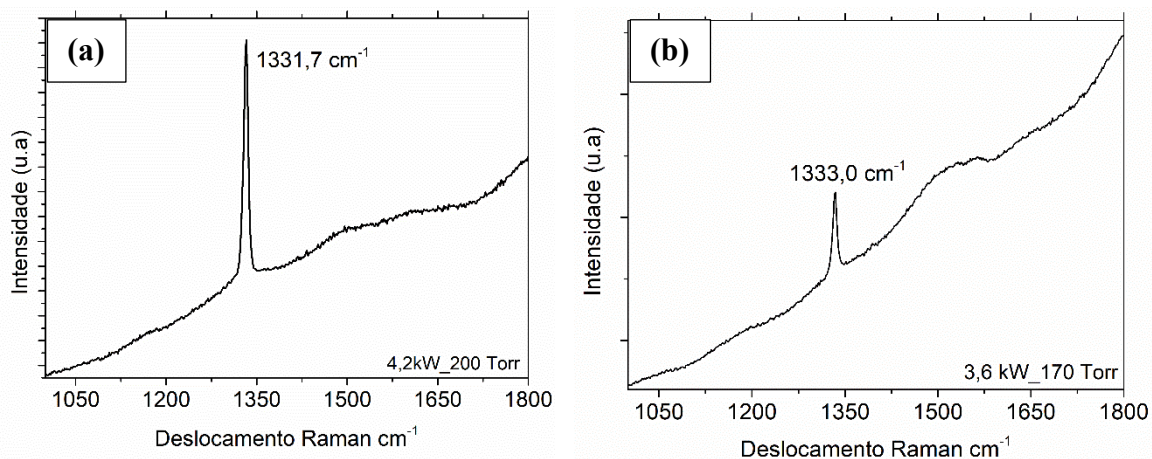


Figura 2. Espectroscopia de espalhamento Raman para MCD. (a) porta-substrato A. (b) porta-substrato B. Fonte: produção do autor.

Isto se deve a atividade energética dos elétrons é incrementada, elevando o grau de ionização do gás hidrogênio (MANKELEVICH; MAY, 2008; SIERRA GÓMEZ, 2019), por conseguinte, promove o



aumento na concentração de hidrogênio atômico estabilizando a fase metaestável do diamante, isto é, perdurando a hibridação sp^3 que evita a grafitação do filme.

Por outro lado, para o porta-substrato B foi aumentada a área de deposição, o que implicou um novo desenho de um porta-substrato com uma área de deposição de $7,07 \text{ cm}^2$. Foi realizado um mapeamento para toda a área de deposição por espectroscopia Raman, identificando o pico característico do diamante em 1333 cm^{-1} (Figura 2b), corresponde a hibridações sp^3 . Também foi identificada a banda do grafite de baixa intensidade em 1550 cm^{-1} comparada com o pico do diamante. Isto indica um bom prospecto para a deposição do diamante monocristalino em maior escala e é possível garantir uma boa qualidade homogênea para todas as amostras postas na área de deposição de $7,07 \text{ cm}^2$.

3.3. Superfície morfológica.

Para o porta-substrato A, o diamante depositado em baixas densidades de potência (400 W/cm^3) teve influência no tamanho de grão sendo inferior a $1 \mu\text{m}$, favorecendo a taxa de renucleação, isto para temperaturas de $600\text{-}700 \text{ }^\circ\text{C}$. Na medida que foi incrementada a pressão e potência da fonte, observa-se uma mudança na morfologia dos grãos obtendo uma granulometria mista entre $1 \mu\text{m}$ e $3 \mu\text{m}$. Para condições de 200 Torr e 4,2 kW, a variação do tamanho de grão não é tão diferenciada, mas sem, a taxa de renucleação é menor da taxa de crescimento, o que indica que a temperatura tem influência direta na deposição do diamante CVD.

Acredita-se que em estas condições os parâmetros de crescimento são favorecidos pela cinética de deposição obtendo-se um tamanho de grão superior a $5 \mu\text{m}$ (Figura 3a). Já para temperaturas superiores a $800 \text{ }^\circ\text{C}$ a taxa de crescimento se vê compensado. Desta maneira, a estabilização das fases $\{100\}$, $\{110\}$ e $\{113\}$ está mais ligada a cinética de reação que a termodinâmica, isto é, a densidade de hidrogênio na superfície de deposição tem uma grande influência. Por FEG-MEV indicou que para todas as amostras crescidas no porta-substrato B, teve a mesma microestrutura como o exibe na Figura 3b. Não foi observada renucleação de novos grãos permitindo obter um filme de boa qualidade.

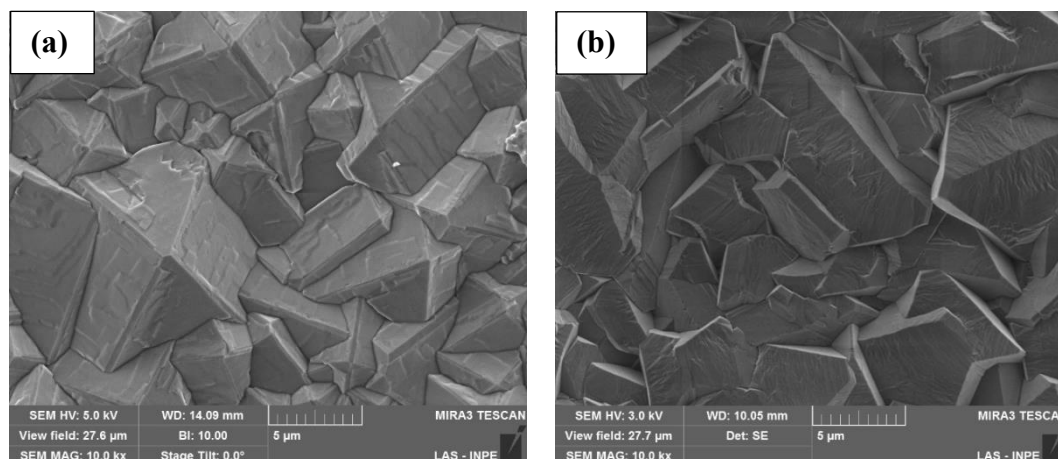


Figura 3. Micrografia por SEM- FEG do MCD. (a) a 4,2 kW e 200 Torr porta-substrato A. (b) a 3,0 kW e 170 Torr porta-substrato B. Fonte: produção do autor.

3.4. Taxas de crescimento.

Na Figura 4(a) exibe a densidade de potência em função da pressão para quatro tipos de potência aplicada. De acordo a esses cálculos de densidade de potência realizados para o porta-substrato A, foi notado que a renucleação se relaciona mais com o incremento da pressão do que com a potência



incidente. O que indica que ao operar em altas densidades de potência ($> 1000 \text{ W/cm}^3$), permite-se formar uma esfera de plasma intensa de coloração verde tênue brilhante centrada na região de descarga e sua vez, consegue-se uma maior taxa de crescimento como o indica a Figura 4(b) (WIDMANN et al., 2016). Essa dependência entre a densidade de plasma e a qualidade do filme é devido a geração de grandes quantidades de hidrogênio atômico e hidrocarbonetos, precursores de hibridações sp^3 e evitando a formação de ligações sp^2 .

Condições favoráveis para a produção de diamante CVD via MWPACVD de acordo às características de nosso reator, consegue-se em densidades de potência de $> 1000 \text{ W/cm}^3$ com temperatura superior a $850 \text{ }^\circ\text{C}$, estimando uma taxa de crescimento de aproximadamente $10 \mu\text{/h}$ para o MCD. Em densidades de plasma próximo a 1362 W/cm^3 indicam resultados promissores com boa taxa de crescimento aproximadamente em $16 \mu\text{/h}$ e filmes de alta qualidade estrutural. A densidade de potência foi calculada tomando como referência outros trabalhos onde indicam a divisão da potência incidente entre o volume da esfera de plasma intenso sobre o porta-substrato e da mesma forma relaciona a coloração do plasma (LU et al., 2013).

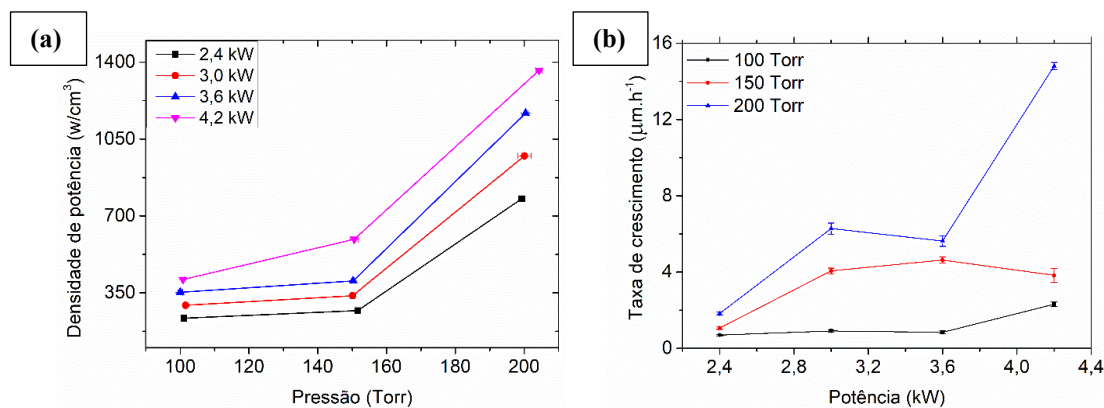


Figura 4. Parâmetros de crescimento do MCD porta-substrato A. (a) densidade de plasma versus pressão. (b) Taxa de crescimento vs potência. Fonte: produção do autor.

Para o porta-substrato B a temperatura de deposição foi mantida na faixa de $869,5\text{-}873,5 \text{ }^\circ\text{C}$, isto para as 8 amostras, ou seja, a região de descarga foi uniforme e a distribuição das taxas de crescimento esteve entre $5,05\text{-}7,88 \mu\text{/h}$. Esta variação da taxa de crescimento acredita-se que teve influência pelo plasma não estar bem centralizado na região de descarga.

4. Conclusão

Obteve-se ótimos parâmetros de deposição do diamante policristalino em altas densidades de plasma (1000 W/cm^3) com bom controle da temperatura e permitiu-se obter uma taxa de crescimento de até $16 \mu\text{/h}$ com elevada qualidade revelada por espectroscopia Raman. Foi conseguida uma maior área de deposição de $7,07 \text{ cm}^2$ garantindo uniformidade e qualidade do filme, o que é um bom prospecto para a deposição de diamante monocristalino de grande área. A fotoluminescência dos espectros Raman acredita-se que se deve a incorporação de inclusões de molibdênio provenientes do porta-substrato por *sputtering*, tema que será estudado em maior profundidade.

Agradecimentos: Os autores agradecem à CAPES e FAPESP que deram o apoio financeiro para o desenvolvimento desta pesquisa.

Referências



- ACHARD, J.; TALLAIRE, A. Diamond wafer technologies for semiconductor device applications. In: **Power Electronics Device Applications of Diamond Semiconductors**. Villetaneuse, France: Elsevier, 2018. p. 1–26.
- BREEDING, C. M.; SHIGLEY, J. E. The “Type” Classification System of Diamonds and Its Importance in Gemology. **Gems & Gemology**, v. 45, n. 2, p. 96–111, 1 jul. 2009.
- DAMM, D. D. et al. Synthesis of Vanadium Interface for HFCVD Diamond Deposition on Steel Surface. **Materials Research**, v. 20, n. suppl 2, p. 248–253, 6 jul. 2017.
- FRAGA, M. A. et al. Addressing the Properties of Ultrananano- and Microcrystalline CVD Diamond Films Grown on 4H-SiC Substrates. **Materials Science Forum**, v. 924, p. 927–930, jun. 2018.
- GRACIO, J. J.; FAN, Q. H.; MADALENO, J. C. Diamond growth by chemical vapour deposition. **Journal of Physics D: Applied Physics**, v. 43, n. 37, p. 1–22, 22 set. 2010.
- GU, Y. et al. Microwave plasma reactor design for high pressure and high power density diamond synthesis. **Diamond and Related Materials**, v. 24, p. 210–214, 1 abr. 2012.
- LIANG, Q. et al. Recent advances in high-growth rate single-crystal CVD diamond. **Diamond and Related Materials**, v. 18, n. 5–8, p. 698–703, 1 maio 2009.
- LU, J. et al. Experimentally defining the safe and efficient, high pressure microwave plasma assisted CVD operating regime for single crystal diamond synthesis. **Diamond and Related Materials**, v. 37, p. 17–28, ago. 2013.
- MANKELEVICH, Y. A.; MAY, P. W. New insights into the mechanism of CVD diamond growth: Single crystal diamond in MW PECVD reactors. **Diamond and Related Materials**, v. 17, n. 7–10, p. 1021–1028, jul. 2008.
- MOKUNO, Y.; YAMADA, H.; CHAYAHARA, A. Diamond wafer technologies for semiconductor device applications. In: **Power Electronics Device Applications of Diamond Semiconductors**. Osaka - Japan: Elsevier, 2018. p. 41–57.
- SIERRA, G. J.; CORAT, E. J.; TRAVA-AIROLDI, V. J. DEPOSIÇÃO DE FILMES DE DIAMANTE POLICRISTALINO CVD USANDO MPACVD. p. 1–6, 2018.
- SIERRA GÓMEZ, J. ESTUDO DO AMBIENTE DE CRESCIMENTO DE FILMES MONOCRISTALINOS DE DIAMANTE POR MWPACVD. [s.l.] Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE, 2019.
- SILVA, F. et al. Control of an MPACVD reactor for polycrystalline textured diamond films synthesis: role of microwave power density. **Diamond and Related Materials**, v. 5, n. 3–5, p. 338–344, abr. 1996.
- SPITSYN, B. V.; BOUILOV, L. L.; DERJAGUIN, B. V. Vapor growth of diamond on diamond and other surfaces. **Journal of Crystal Growth**, v. 52, p. 219–226, 1 abr. 1981.
- TRAVA-AIROLDI, V. J. et al. Columnar CVD diamond growth structure on irregular surface substrates. **Diamond and Related Materials**, v. 4, n. 11, p. 1255–1259, out. 1995.
- TRAVA-AIROLDI, V. J. et al. Studies of molybdenum surface modification for growth of adherent CVD diamond film. **Materials Research**, v. 6, n. 2, p. 305–309, jun. 2003.
- TRAVA-AIROLDI, V. J.; CORAT, E. J.; BARANAUSKAS, V. Diamond Chemical Vapor Deposition: Emerging Technology for Tooling Applications. **Key Engineering Materials**, v. 138–140, p. 195–244, 1997.
- TRAVA-AIROLDI, V. J.; CORAT, E. J.; MORO, J. R. Studies of Cvd Diamond Applications As Ultrasound Abrading Devices in Odontology and Related Uses. **Revista Brasileira de Aplicações de Vácuo**, v. 25, p. 71–74, 2006.
- WANG, J. et al. n-type large single crystal diamond with S doping and B-S co-doping grown in FeNi–C system. **International Journal of Refractory Metals and Hard Materials**, v. 81, p. 100–110, 1 jun. 2019.
- WANG, T. et al. Enhanced nucleation of diamond on three dimensional tools via stabilized colloidal nanodiamond in electrostatic self-assembly seeding process. **Journal of Colloid and Interface Science**, v. 506, p. 543–552, nov. 2017.
- WIDMANN, C. J. et al. Homoepitaxial growth of single crystalline CVD-diamond. **Diamond and Related Materials**, v. 64, p. 1–7, abr. 2016.