

BOMBAS MAGNETO-IÔNICAS

São bombas de ultra-alto vácuo, cujo princípio de funcionamento é a captura das espécies gasosas por um filme de titânio depositado de modo contínuo no interior da bomba pelo processo de *sputtering*. Como as demais bombas de sorção, não necessitam de óleos para seu funcionamento e produzem vácuos extremamente limpos, o que é imprescindível em muitos experimentos e processos. Bombas desse tipo são mostradas na Fig. 1.



Figura 1. Bombas magneto-iônicas de diferentes velocidades de bombeamento.

Bombas magneto-iônicas (BMI) são construídas em diversas configurações de modo a atender diferentes propósitos tais como natureza do gás a bombear e intervalo de pressão de trabalho. Neste texto, as bombas nas configurações mais frequentemente usadas são descritas.

Invariavelmente, as BMI funcionam com campos elétrico e magnético combinados, produzidos, respectivamente por eletrodos internos e por um imã permanente. A Fig. 2 mostra os eletrodos e o imã de uma BMI na configuração denominada *diodo*. Duas placas de titânio constituem o catodo, e o anodo é formado por um conjunto de células hexagonais adjacentes na forma de um favo de mel. (Alternativamente, as células são quadradas). O conjunto fica dentro de um envelope metálico não magnético, e o imã, que aplica um campo perpendicular às placas, é posicionado externamente. Tensões tipicamente aplicadas no anodo situam-se entre 3 e 7 kV e as placas são aterradas. A intensidade do campo magnético varia entre 0,1 e 0,2 Tesla.

Os campos elétrico e magnético são responsáveis pelo que se chama de *descargas Penning*. O campo elétrico acelera os elétrons a energias suficientemente altas para produzir a ionização do gás; o campo magnético atua nos elétrons de modo a alongar suas trajetórias em curvas cíclicas, aumentando com isso a probabilidade de ionização. (Para maiores detalhes sobre ionização com

campos elétrico e magnético combinados, ver o texto sobre manômetros de ionização em www.sites.ifi.unicamp.br/labvacuo - Material Didático para F-640). Os íons formados na descarga são dirigidos ao catodo pelo campo elétrico e, devido à alta tensão aplicada, as colisões são energéticas, chegando a vários keV.

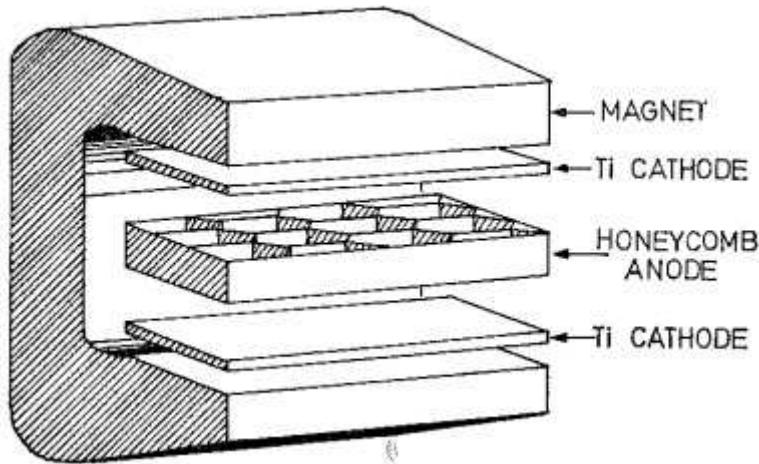


Figura 2. Bomba magneto-iônica diodo sem o envelope.

Consequentemente ocorre, pelo processo de *sputtering*, a ejeção de átomos de titânio do catodo que se depositam no anodo formando um filme. Esse processo, e o mecanismo de bombeamento do gás estão ilustrados na Fig. 3. O material depositado apresenta uma superfície limpa, quimicamente ativa, que adsorve as moléculas dos gases não nobres presentes, formando, normalmente, ligações químicas estáveis, ficando dessa forma retidas. Contribui para isso a contínua

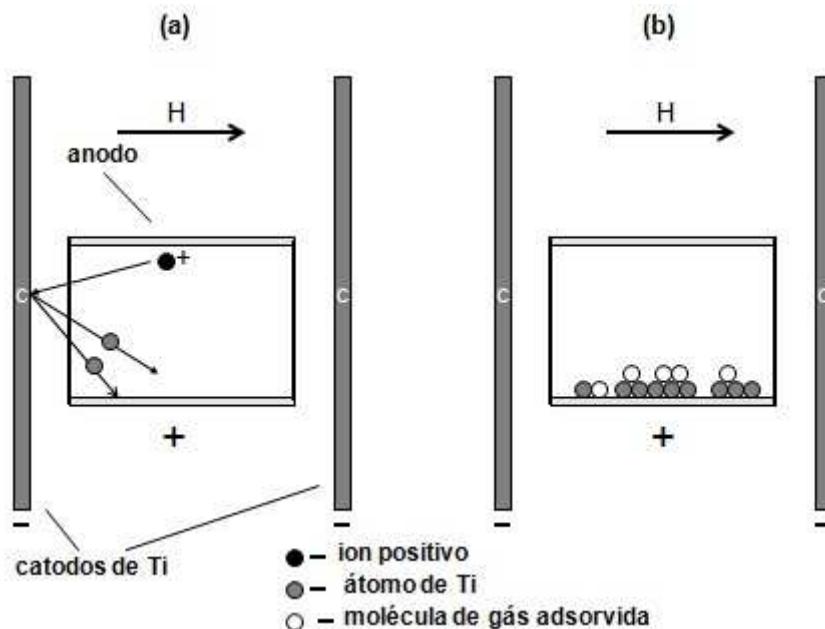


Figura 3. Representação esquemática dos catodos e de uma célula do anodo de uma bomba diodo. (a) *Sputtering* do catodo de titânio; (b) captura das espécies gasosas pelo titânio depositado.

deposição de titânio que gradativamente recobre as espécies que vão sendo adsorvidas.

O bombeamento por adsorção não tem efeito em gases nobres, devido a sua quase nula reatividade, mesmo com titânio. Entretanto, gases nobres também são capturados em bombas iônicas. Como os demais gases, seus íons são dirigidos ao catodo, onde penetram distâncias de um ou mais diâmetros atômicos, ficando assim retidos.

Bombas magneto iônicas diodo, tais como a representada na Fig. 1, tem velocidades de bombeamento baixas para gases nobres quando comparadas àquelas para gases reativos, pois somente os átomos que sofrem ionização são bombeados. Além disso, apresentam o efeito de reemissão de argônio, pois esse é um componente do ar e, portanto, comumente bombeado. Com a continuidade de bombeamento, a região próxima à superfície das placas dos catodos fica saturada com argônio que é reemitido quando as camadas superficiais são erodidas por *sputtering*. Devido a um efeito de focalização dos íons pelas células do anodo, a erosão não é uniforme, mas se caracteriza pela formação de pequenas crateras cuja periodicidade é idêntica à das células do anodo.

Em baixas pressões, a reemissão de argônio produz flutuações periódicas de pressão que são conhecidas como *instabilidade do argônio*, pois esse elemento é mais facilmente desalojado do que os outros. Esse problema é contornado com diferentes composições e desenhos dos eletrodos, conforme descrito a seguir.

Na bomba diodo denominada de *diferencial*, uma das placas de titânio é substituída por uma placa de tântalo, cujo *rendimento de sputtering* (número de átomos ejetados da superfície por íon incidente) é significativamente maior que o do titânio. Durante a operação da bomba, o catodo de titânio é recoberto, de modo aproximadamente uniforme, com o material do catodo oposto. O mecanismo de bombeamento é exatamente igual ao de uma bomba diodo convencional, em que os gases inertes se acumulam nas regiões entre crateras. Nessas regiões, o recobrimento com tântalo é significativo e impede a reemissão desses gases. Nas crateras, entretanto, tântalo é prontamente removido por *sputtering*. Forma-se, portanto, uma área da qual titânio pode ser ejetado por esse processo, dando continuidade à deposição do filme reativo.

A Fig. 4 mostra os eletrodos de uma bomba diodo desenhada para altas taxas de deposição de titânio, evitando com isso a instabilidade de argônio ao mesmo tempo em que a velocidade de bombeamento é aumentada em relação à bomba diodo convencional. Como mostra a figura, os catodos apresentam sulcos, ou estrias. Essa estrutura foi concebida com base no princípio de que o *rendimento de sputtering* aumenta com a diminuição do ângulo de incidência dos íons na superfície. Nos catodos sulcados, as colisões dos íons ocorrem preferencialmente com as paredes dos sulcos, ou seja, em pequenos ângulos, aumentando assim a taxa de emissão de titânio em comparação com aquela de um catodo plano. A taxa de deposição de titânio na base dos sulcos é alta, possibilitando um rápido enterramento dos átomos capturados, o que é fundamental para reduzir, ou impedir, a reemissão dos átomos de gases nobres. A alta taxa de deposição de titânio contribui também para aumentar a velocidade de bombeamento.

Uma BMI cujo desenho possibilita estabilidade na pressão e velocidades de bombeamento significativas é a bomba conhecida como *triodo*. A Fig. 5 ilustra esquematicamente os eletrodos desse tipo de bomba: um anodo, duas placas coletoras de filme, e dois catodos de titânio; estes últimos tem estrutura semelhante

à do anodo da Fig. 1. Colisões íon-catodo em pequenos ângulos são favorecidas e com isso um ganho na taxa de deposição de titânio nas placas coletoras.

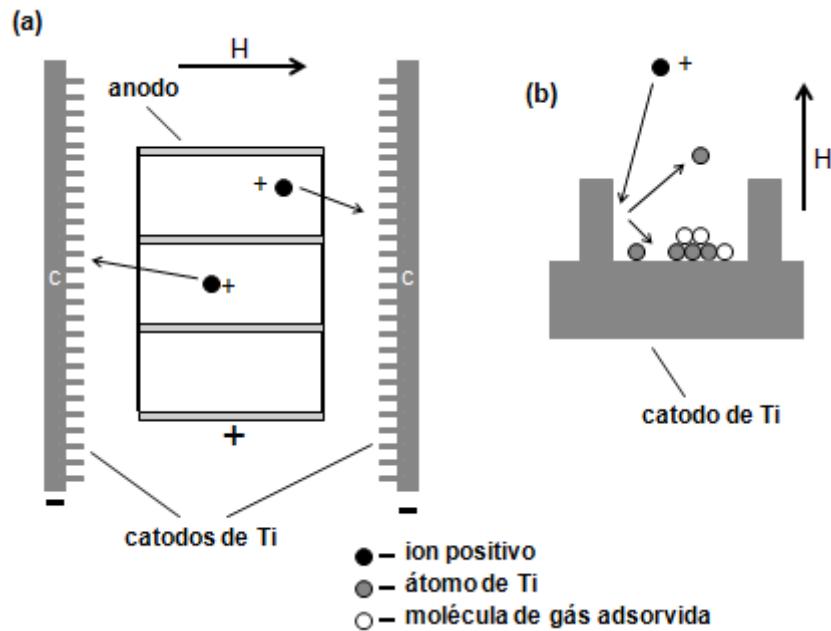


Figura 4. (a) Esquema dos eletrodos de uma bomba diodo mostrando: algumas células do anodo e os catodos com sulcos. (b) Representação aumentada de um sulco do catodo exibindo a ejeção e de titânio por sputtering e a captura de espécies do gás pelo titânio depositado. Uma parte dos átomos de titânio ejetados deposita-se no próprio catodo e outra parte no anodo.

Todas as bombas magneto-iônicas apresentam, em maior ou menor grau, o efeito que se chama de *saturação de catodo*. Como o nome sugere,

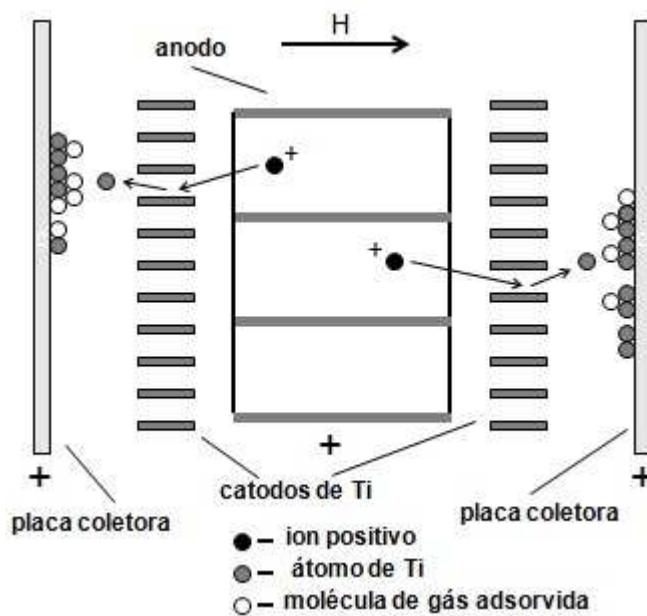


Figura 5. Esquema dos eletrodos de uma bomba triodo mostrando algumas células do anodo e dos catodos de titânio. Colisões íon-catodo em pequenos ângulos possibilitam taxas de deposição de titânio significativas nas placas coletoras que são, geralmente, as paredes da bomba.

após algum tempo de operação, as camadas superficiais do catodo ficam saturadas devido ao bombeamento iônico, isto é, pela adsorção de moléculas que incidem no catodo na forma iônica. Pela contínua erosão do catodo pelo processo de *sputtering*, moléculas antes bombeadas são liberadas. Tem-se então uma fonte de gás no interior da bomba, o que contribui para o decréscimo da sua velocidade de bombeamento. É, entretanto, importante notar que, no bombeamento com um mesmo gás (ou mesma mistura de gases) e uma mesma pressão, após ocorrer a saturação, a taxa de moléculas liberadas e a taxa de moléculas capturadas (ambas medidas em número de moléculas por unidade de tempo) ficam constantes, e a velocidade de bombeamento se estabiliza.

Curvas de velocidade de bombeamento x pressão de uma BMI para nitrogênio e argônio estão representadas na Figura 6. A curva de cima corresponde ao bombeamento de nitrogênio no início do bombeamento. Observa-se que a velocidade de bombeamento para esse gás é significativamente menor quando ocorre saturação (curva intermediária). Para argônio, como o bombeamento é exclusivamente iônico, a velocidade de bombeamento é bem menor.

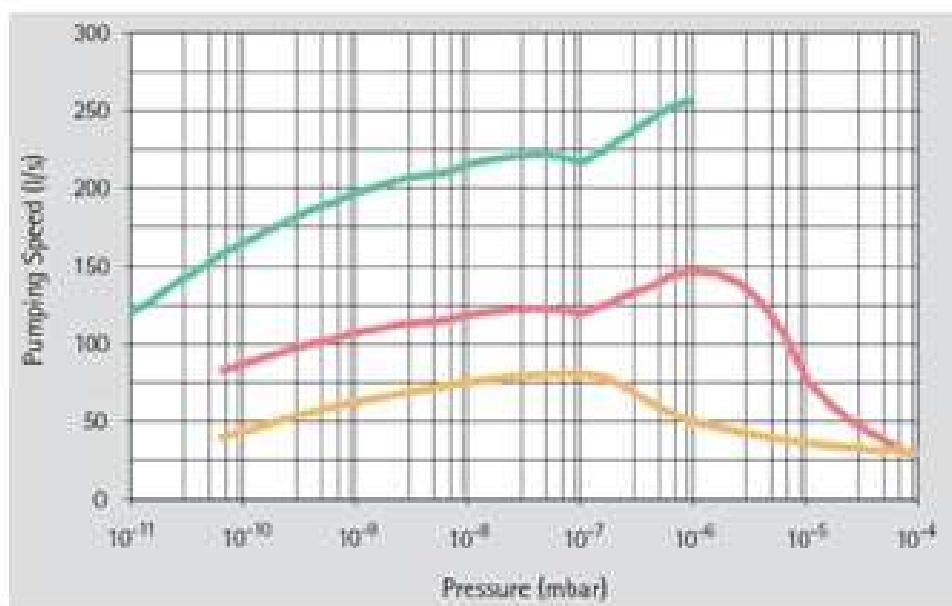


Figura 6. Curvas de velocidade de bombeamento de uma bomba iônica. Curva superior: para N₂ antes da saturação; curva intermediária: para N₂ com catodo saturado; curva inferior: para argônio.

A *velocidade de bombeamento nominal* de uma BMI é especificada, normalmente, para pressões entre 10⁻⁵ e 10⁻⁷ mbar e varia entre 1 l s⁻¹ e 7000 l s⁻¹, dependendo das dimensões da bomba; o intervalo de operação vai de 10⁻³ a 10⁻¹² mbar. Um pré-vácuo de 10⁻³ ou 10⁻² Torr é necessário para iniciar o funcionamento. Para isso emprega-se uma bomba de médio vácuo auxiliar (preferivelmente bomba de sorção de peneira molecular ou uma bomba seca). A conexão entre as duas bombas é feita com uma válvula de vácuo. Assim que a BMI entrar em funcionamento, a válvula é fechada e a bomba auxiliar pode ser desligada.

Existe uma forte dependência da velocidade de bombeamento de uma BMI no gás a ser bombeado, uma vez que eficiência de ionização, rendimento de *sputtering* para a tensão aplicada aos eletrodos e reatividade com titânio dependem da natureza do gás. Na Tabela I as velocidades para vários gases relativamente ao ar para bombas diodo e triodo, estão especificadas.

Tabela I.

Velocidades de bombeamento nominais de bombas iônicas para vários gases.

Gas	Bomba diodo	Bomba triodo
ar	100	100
O ₂	5	59
N ₂		
CO ₂	100	100
H ₂	270	210
H ₂ O	100	100
Ar	1	30
He	10	30

REFERÊNCIAS

1. A. Roth, *Vacuum Technology*, (Elsevier, 1990).
2. R.R. LaPelle, *Practical Vacuum Systems*, (McGraw-Hill, 1972).
3. P.A. Redhead, J.P. Hobson, E.V. Kornelsen, *The Physical Basis of Vacuum Technology*, (Chapman and Hall, 1968).
4. N.T. Dennis, T.A. Heppell, *Vacuum Systems Design*, (Chapman and Hall, 1968).
5. W.S. Spinks, *Vacuum Technology*, (Chapman and Hall, 1966).
6. J. Yarwood, *Vacuum Technique*, (Chapman and Hall, 1967).
7. C.M. van Atta, *Vacuum Science and engineering*, (McGraw-Hill, 1965).
8. A. E. Barrington, *High Vacuum Engineering*, (Prentice-Hall, 1964).