

TR NG I H C KHOA H C T NHIÊN
KHOA V T LÝ

www.mientayvn.com

PH NG PHÁP T O MÀNG PECVD
CH T O MÀNG SI:H NG D NG CHO
PIN M T TR I

H c viên : Tr n V nh S n

Giáo viên : Lê Tr n

TP HCM 4-2010

I. Ph ng pháp CVD

1. Gi i thi u chung v ph ng pháp CVD
2. Các hi n t ng truy n
 - a. Dòng ch y c a khí
 - b. Khuy ch tán
 - c. L p biên
 - d. Các profile v n t c, n ng và nhi t
 - e. Các thông s c b n
3. Hóa h c CVD
 - a. Nhi t hóa h c
 - b. ng hóa h c
 - c. Các ph n ng trong CVD
 - d. Ch t g c
4. Hình thành màng

II. Ph ng pháp PECVD

1. Nguyên t c ho t ng chung c a PECVD
2. H PECVD

III. Ch t o màng Si:H, các thông s nh h ng n màng

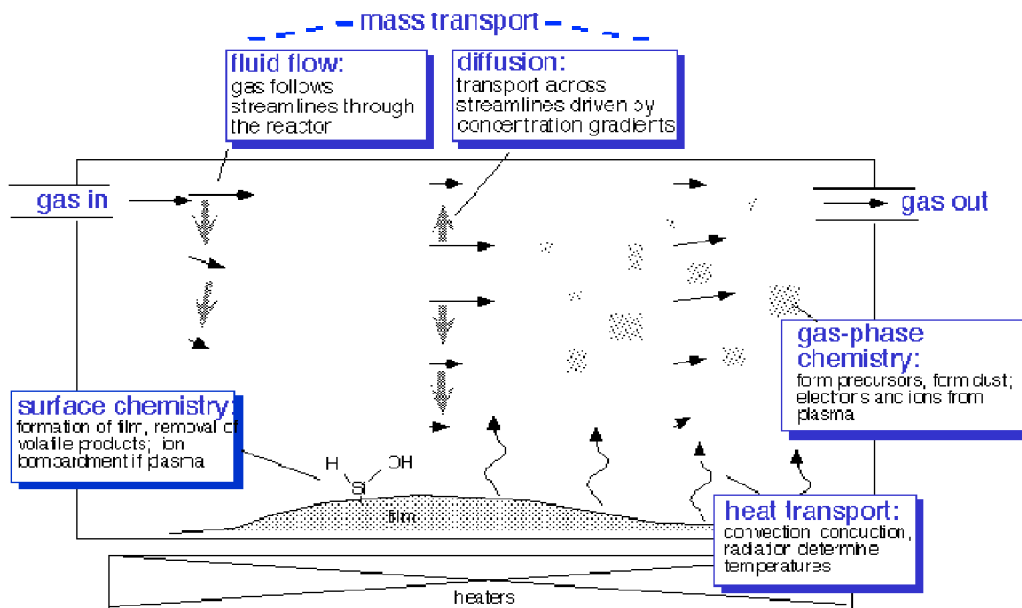
I. Ph ́ng pháp CVD

1. Gi ́i thi ́u chung v ́ ph ́ng pháp CVD

Chemical Vapour Deposition hay CVD là tên thông d ́ng chung cho các ph ́ng pháp liên quan ́n l ́ng ́ng v ́ t li ́ u r ́n t ́ pha khí.

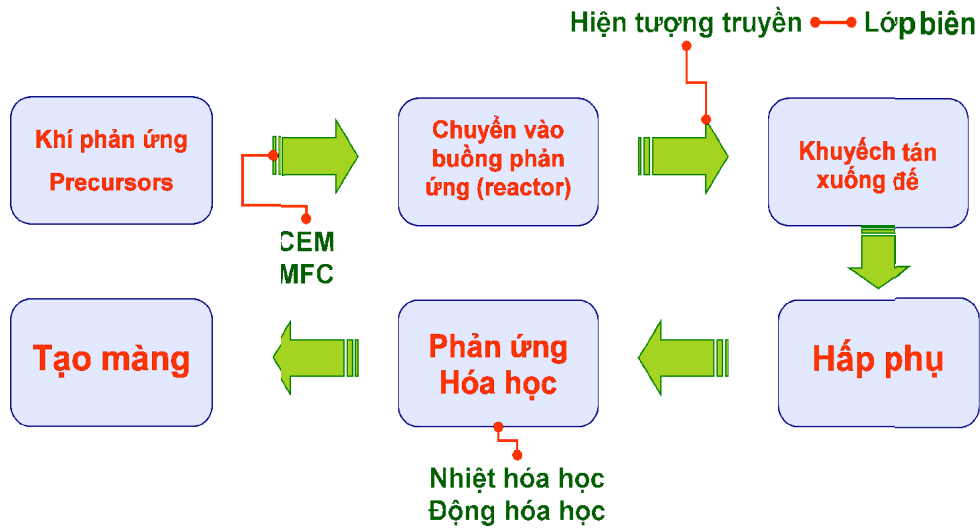
CVD g ́m nhi ́u ph ́ng pháp nh ́ :

- Atmospheric Pressure Chemical Vapour Deposition (APCVD)
- Low Pressure Chemical Vapour Deposition (LPCVD)
- Metal-Organic Chemical Vapour Deposition (MOCVD)
- Plasma Assisted Chemical Vapour Deposition (PACVD)
- Plasma Enhanced Chemical Vapour Deposition (PECVD)
- Laser Chemical Vapour Deposition (LCVD)
- Photochemical Vapour Deposition (PCVD)
- Chemical Vapour Infiltration (CVI)
- Chemical Beam Epitaxy (CBE)



Quá trình ́c b ́ t ́ u khí khí có mang v ́ t ch ́ t ́ c ́ a vào bu ́ng ph ́n ́ng. Do s ́ khác nhau v ́ v ́n t ́ c c ́ a dòng khí, c ́ng v ́ i s ́ h p th ́ c ́ a b ́ m t ́ ã gây nên s ́ khác nhau v ́ n ́ng v ́ t ch ́ t, thông th ́ng gi ́a dòng khí n ́ng th ́ng cao nh ́ t và gi ́m d ́n v ́ hai biên. Chính có s ́ chênh l ́ch n ́ng này ã t ́o nên m ́ t dòng khu ́ch tán v ́ t ch ́ t xu ́ng ́n n. V ́ t ch ́ t ti ́p xúc v ́ i ́, ́ng th ́ i ́ c cung c ́p thêm n ́ng l ́ng nhi ́t t ́n n hình thành nên màng m ́ng, quá trình này c ́ ti ́p t ́c và màng ́c hình thành. Dòng khí vào luôn ́c ́ a ra ngoài qua van x ́,

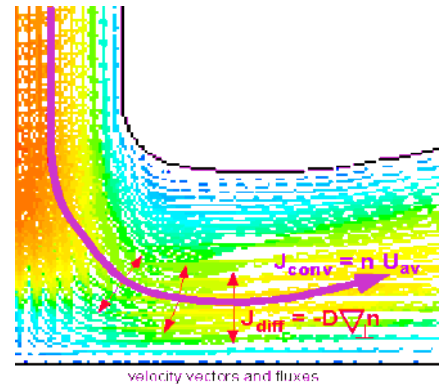
khí này có nồng độ mang theo nhúng vật chất tham gia phản ứng ra bên ngoài. Các loại khí này ô nhiễm nguy hiểm cho môi trường nên luôn có sự lọc khí ra bên ngoài.



2. Các hiện tượng truyền

a. Dòng chảy

Hình bên là hình nhấc dòng chảy qua một khúc cua, thể hiện vận tốc khác nhau ở các vị trí khác nhau là khác nhau và có hiện tượng chảy thành tầng lớp, điều này là do các lớp biên có sự ma sát mạnh với thành nên vận tốc dòng chảy giảm. Thể hiện vận tốc tầng lớp chảy không thể vận chuyển xuống tầng tầng, mà sự lắng đọng hình thành màng phản ứng trên dòng khuếch tán do sự chênh lệch nồng độ các lớp trong dòng chảy.



b. Khuếch tán

Do các dòng chảy có vận tốc khác nhau hình thành nên gradient nồng độ trong các dòng chảy. Chính vì điều này đã hình thành nên dòng khuếch tán, nó có vai trò quan trọng vận chuyển chất trong dòng chảy nên xảy ra phản ứng hình thành màng.

Dòng khuếch tán tuân theo như sau

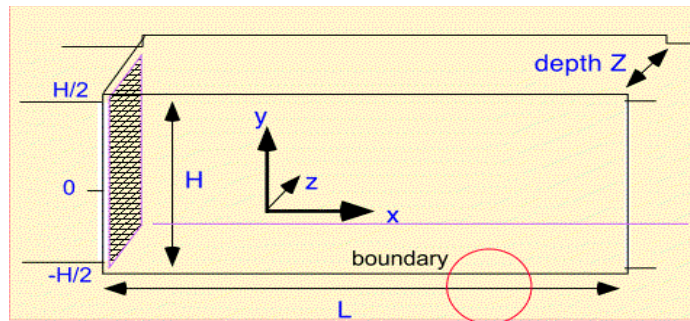
nh luật Fick 1: $J = -D \frac{dn}{dx}$ dành cho các quá trình lắng đọng

nh luật Fick 2: $\frac{\partial C}{\partial t} = -D \frac{\partial^2 C}{\partial x^2}$ dành cho các quá trình khuếch tán

Trong đó D là hệ số khuếch tán và C tính toán công thức

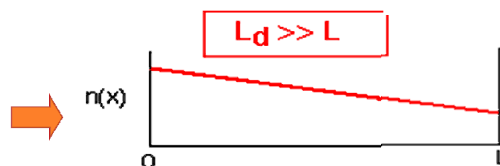
$$D = \sqrt{\frac{k_B T}{\pi^3 m P a^2}} T^{3/2}$$

Ta thấy rằng sự khuếch tán của các phân tử khí trong buồng phản ứng. Quá trình khuếch tán còn liên quan đến một thông số vô cùng quan trọng là chiều dài khuếch tán, đó là chiều dài mà qua đó nồng độ giảm đi một nửa và nó được tính theo công thức $L_d = \sqrt{Dt}$

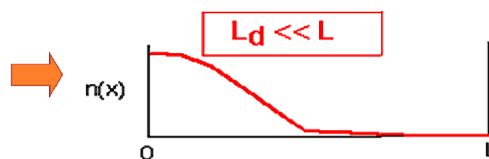


Quá trình lắng đọng vật chất trong phản ứng CVD còn phụ thuộc rất nhiều vào cấu trúc của buồng phản ứng. Hình trên là một ví dụ điển hình về buồng phản ứng, với L là chiều dài của buồng. Nếu chiều dài khuếch tán của vật chất lớn hơn rất nhiều so với chiều dài của buồng thì sẽ hình thành lớp lắng đọng đều vào và ra không khí. Tuy nhiên nếu chiều dài khuếch tán nhỏ hơn rất nhiều so với chiều dài của buồng thì sẽ phân bố nồng độ theo chiều dài của buồng có sự thay đổi đáng kể hình dạng.

- $L_d \gg L$: nồng độ giảm không đáng kể trong buồng.

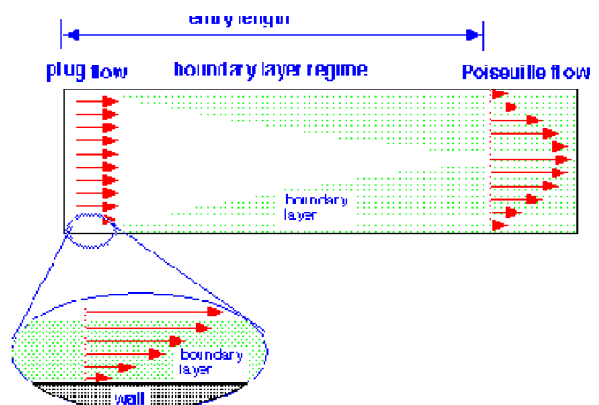


- $L_d \ll L$: nồng độ giảm rất nhanh theo hàm $\exp(-x/L_d)$ trong buồng
→ "DOWN STREAM DEPLETION"

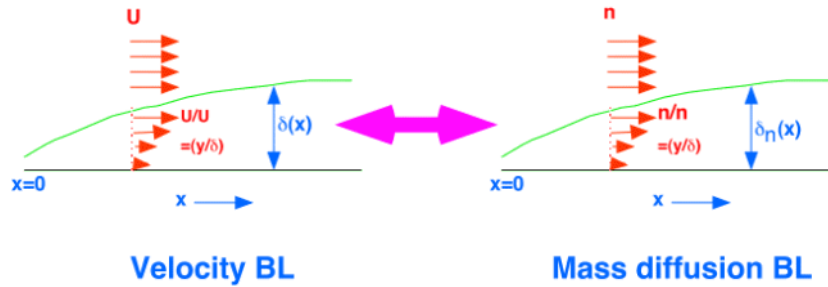


c. Lớp biên

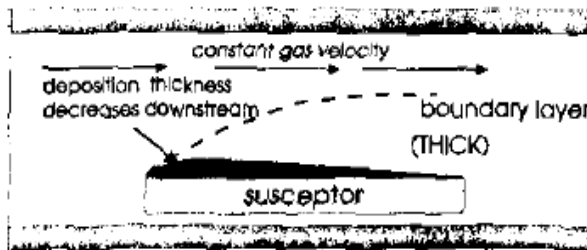
Lớp biên được hình thành do sự ma sát giữa dòng khí và thành buồng tạo ra profile vận tốc như trên hình. Trong khi đó lớp biên nồng độ do sự hấp phụ của bề mặt thành buồng và gây nên sự thay đổi nồng độ của các lớp, tạo nên dòng khuếch tán



tán i t dòng khí mang v t ch t n n n. Profile n ng có hình d ng t ng t profile v n t c.

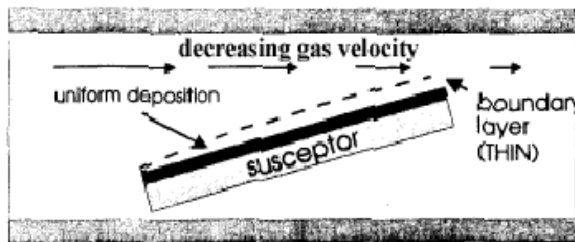


S t n t i c a l p biên nh h ngl n n s hình thành c a màng m ng. Theo nh trên ta bi t r ng n ng các v trí khác nhau trong bu ng có s thay i và gradient các v trí ó c ng khác nhau, i u này d n n dòng khuỵ ch tán i xu ng các v trí khác nhau trong bu ng là khác nhau. Nên n u ta n n n m ngang theo tr c c a bu ng ph n ng thì màng s có dày không ng u. kh c ph c i u này trong khi ch t o màng m ng b ng ph ng pháp CVD ng i ta hay n n nghiêng m t góc so v i tr c, góc nghiêng này còn tùy thu c nhi u vào dày c a các l p biên



(a)

Càng vào sâu trong bu ng, l p biên càng dày \rightarrow gradient n ng càng nh \rightarrow dày màng không ng u.



(b)

t n n nghiêng song song v i b m t l p biên \rightarrow làm gi m dày l p biên \rightarrow màng có dày u h n.

d. Các thông s c b n

H ng s Renold

Khi quan sát các dòng khí hay dòng n c nh là dòng khí b c lên t i u thu c lá ta có nh n xét, dòng ch y này có khi r t tr t t c ng có khi chuy n ng m t cách

h n lo n, có s khác nhau này là do h ng s Renold trong m i tr ng h p là khác nhau.

Theo tính toán ng i ta tính ra c

$$Re = \frac{\rho u L}{\mu} = \frac{u L}{\nu}$$

Trong ó: kh i l ng riêng ch t c a l u.

μ nh t.

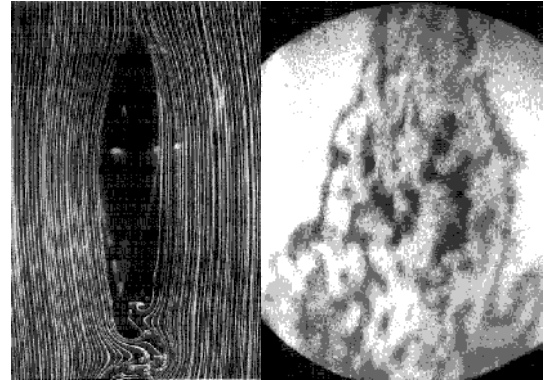
nh t ng h c

u v n t c khí

L chi u dài c a bu ng

X v trí ang xét

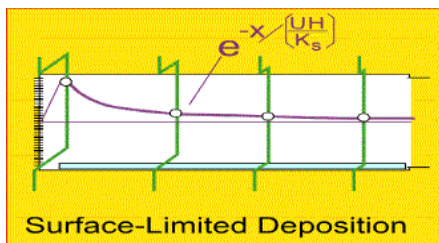
Ng i ta có nh n xét, i v i ch t khí có h ng s Re nh h n 10 thì dòng ch y c a khí là dòng ch y t ng, ng c l i n u ch t khí có Re l n h n 10 thì dòng ch y c a khí là dòng ch y r i và ch t khí này không th ùng c trong quá trình l ng ng t o màng theo nh ph ng pháp CVD.



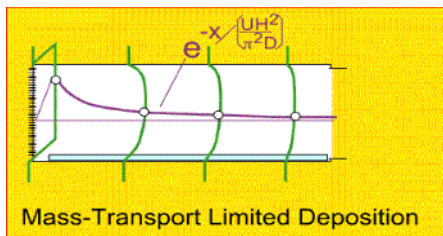
Thông s Damkohler

Thông s này ch y ut óng vai trò quy t nh tr ng t c t o màng b ng ph ng pháp CVD. Nó c o b ng t s t c h p ph trên b m t v i t c dòng khuỵ ch tán

$$Damkohler = \frac{\text{consumption at surface}}{\text{diffusion to surface}} = \frac{K_s C}{DC/H} = \frac{K_s H}{D}$$



Dam no. << 1: tiêu tán << khuỵ ch tán → v n t c ph n ng t i b m t quy t nh t c l ng ng → “Differential Reactor”



Dam no. >> 1: tiêu tán >> khuỵ ch tán → v n t c khuỵ ch tán xu ng quy t nh v n t c l ng ng → “Starved Reactor”

3. Hóa h c trong CVD

a. Nhi t hóa h c

Trong ph n này ta quan tâm n chi u x y ra c a m t ph n ng v m t n ng l ng và ta ch quan tâm n các tr ng thái u và cu i c a quá trình ch không xét n các tr ng thái trung gian c a nó

Xét m t ph n ng n gi n:



Năng lượng tự do Gibbs tính bằng $\Delta G = \Delta H - T\Delta S$

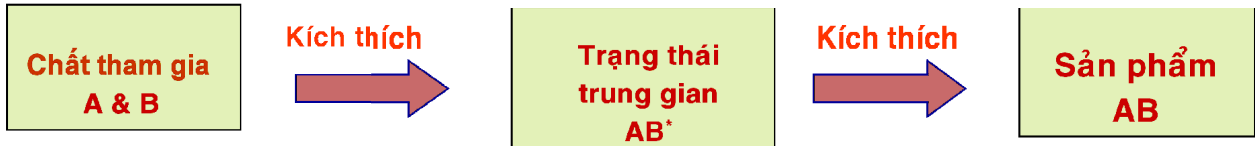
Hằng số cân bằng
$$K = \frac{[C]^p [D]^q}{[A]^n [B]^m} = \exp\left(-\frac{\Delta G}{k_B T}\right)$$

Chúng ta xét đến năng lượng tự do Gibbs và thay thế, phản ứng tự phát nếu $\Delta G < 0$ thì phản ứng diễn ra trong khi đó nếu $\Delta G > 0$ thì phản ứng khó lòng xảy ra, khi đó ta phải thay đổi các thông số để nó thay đổi nhiệt độ cho $\Delta G < 0$.

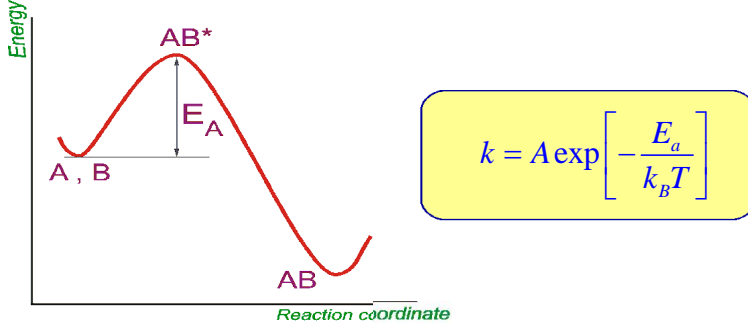
Chúng ta cũng xét về hằng số cân bằng, nếu hằng số cân bằng $K \gg 1$ thì phản ứng xảy ra hoàn toàn và ngược lại nếu $K \ll 1$ thì phản ứng khó có thể xảy ra.

b. Động hóa học

Một phản ứng hóa học nguyên tử $mA + nB \rightarrow pC + qD$ có tốc độ phản ứng tính theo công thức $R = k[A]^m[B]^n$. Tuy nhiên quá trình phản ứng lại diễn ra phức tạp hơn nhiều và thông qua nhiều quá trình trung gian trong đó nguyên tử và phân tử trạng thái kích thích $A + B \rightarrow AB^* \rightarrow AB$



Trong trường hợp này thì hằng số tốc độ tính theo cách khác như bên dưới



c. Các phản ứng trong CVD

Các phản ứng phân hủy

Phản ứng phân hủy phân tử $A \rightarrow B + C$

Va chạm gây kích thích $A + A \rightarrow A^* + A \Rightarrow \frac{d[A^*]}{dt} = k_a [A]^2$

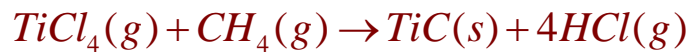
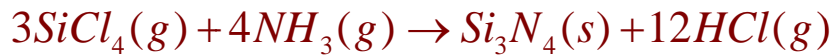
Va chạm khử kích thích $A + A^* \rightarrow A + A \Rightarrow \frac{d[A^*]}{dt} = -k_a' [A^*][A]$

Phân hủy $A^* \rightarrow B+C \Rightarrow \frac{d[A^*]}{dt} = -k_b[A^*]$

Phản ứng trong CVD



Carbide hóa và Nitrit hóa (Carbidization & Nitridation)



► **Kết tủa pha khí (gas phase recipitation)**

Phản ứng kết tủa xảy ra khi có quá bão hòa cao trong môi trường
 phản ứng kết tủa xảy ra thành



d. Chất g c- precursor

Yêu cầu về vị trí g c trong phản ứng CVD là phải nằm ở vị trí môi trường trong phòng thí nghiệm, trong quá trình phản ứng xảy ra hoàn toàn mà không kèm theo bất kỳ phản ứng nào. Màng tạo bởi g c có tính kết dính cao, dễ tách màng thì chất g c phải có bay hơi thấp.

4. Hình thành màng

.....

II. Phương pháp PECVD

Phương pháp CVD nâng cao bao gồm việc sử dụng nguồn plasma, laser, hoặc các phản ứng đốt cháy nhiệt độ cao trong môi trường chân không để tạo ra các loại màng khác nhau, chẳng hạn như CVD sử dụng hợp chất hữu cơ kim loại (MO CVD), CVD áp suất cao, CVD áp suất thấp,

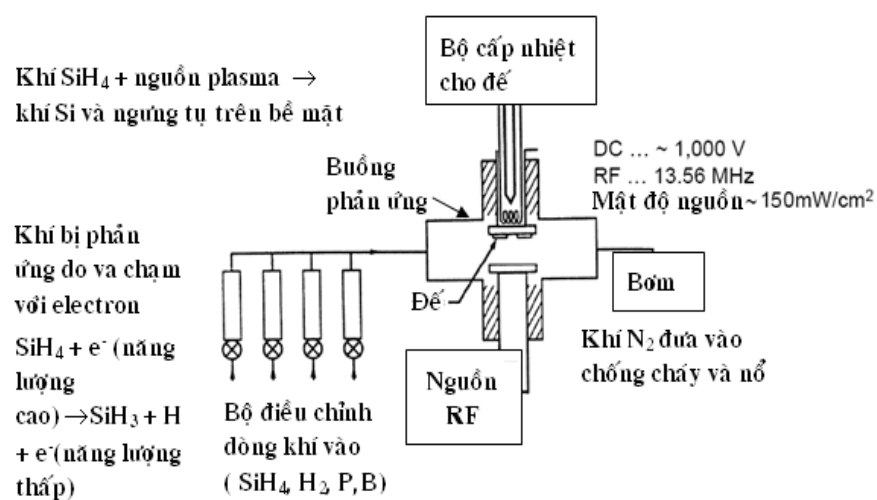
CVD quang hóa học, CVD tăng cường plasma. Trong phần này chúng tôi tìm hiểu về phương pháp CVD tăng cường plasma (PECVD) để chế tạo màng Si:H.

1. Nguyên tắc chung của PECVD

PECVD hoạt động dựa theo nguyên tắc của phương pháp CVD nhưng được kiểm soát chặt chẽ bởi các thông số sau đây:

- Nhiệt độ: làm tăng tốc độ phản ứng bề mặt và được kiểm soát bởi nguồn nhiệt từ bên ngoài.
- Tốc độ dòng khí: mặt dòng khí cao hơn có thể tăng tốc độ phủ dẫn đến tính chất màng sẽ biến đổi.
- Áp suất: làm thay đổi mật độ phân tử tăng áp suất có thể dẫn đến các phản ứng hóa học trong khí.
- Môi trường truyền năng lượng: rất quan trọng, ảnh hưởng đến tốc độ lắng đọng và tính chất của màng. Môi trường plasma là một ưu thế lớn của phương pháp PECVD.
- Thời gian lắng đọng: quyết định độ dày của màng.

Hình 1.18 minh họa sơ đồ hệ thống hoạt động của một hệ PECVD :



Hình 1.1: Sơ đồ hệ thống hoạt động của hệ PECVD.

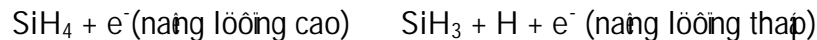
a. Plasma và vai trò của plasma:

Plasma dùng trong PECVD là dạng plasma phóng điện khí (glow – discharge). Dạng plasma này được hình thành khi giữa anốt và katốt có một hiệu thế xác định. Hiệu thế này cung cấp năng lượng để hình thành và duy trì plasma có thể từ nguồn D C hay RF.

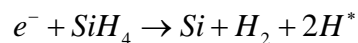
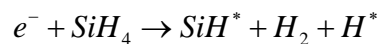
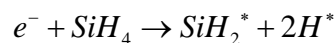
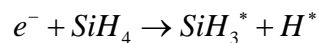
Plasma đóng vai trò ion hóa các precursor tạo ra các gốc tự do và làm môi trường truyền các gốc tự do khuếch tán xuống đế

b. Quá trình hình thành các gốc tự do dưới tác động của plasma:

Khí SiH_4 dưới tác động của nguồn plasma sinh ra khí Si và ngưng tụ trên bề mặt. Khí bị phân rã do sủi và chạm với electron được thể hiện ở phản ứng sau:



Quá trình va chạm trên cho thấy khi một electron có năng lượng cao va chạm với phân tử làm phân ly phân tử SiH_4 thành hai gốc tự do SiH_3 và H . Riêng SiH_3 là gốc trung hòa có một electron chừa lại hoặc chính vì thế chúng làm cho các gốc tự do đang phản ứng nên nếu electron này trở về trạng thái ban đầu. Do nội tốc độ phản ứng của các gốc tự do thường cao hơn các tác chất khác rất nhiều dẫn đến làm tăng tốc độ phản ứng của quá trình tạo màng. Dưới đây là một số phản ứng tạo thành các gốc tự do trong quá trình PECVD dùng precursor SiH_4 :



c. Quá trình khuếch tán xuống đế

Các gốc tự do sinh ra trong môi trường plasma chuyển động ngẫu nhiên nên nếu va chạm hấp phụ trên bề mặt sẽ sủi hấp phụ này làm cho nồng độ gốc tự do tại bề mặt nhỏ hơn nồng

Trong plasma dần tới sẽ hình thành một gradient nồng độ trong hướng tới phía giữa plasma, các góc tới do sẽ liên tục khuếch tán xuống nên có gradient nồng độ

d. Hấp phụ:

Hiện tượng hấp phụ vật lý và hấp phụ hóa học xảy ra khi góc tới do di chuyển xuống nên khả năng hấp phụ tại bề mặt cũng ảnh hưởng nên tốc độ lắng đọng của màng.

- Nếu tốc độ hấp phụ lớn hơn nhiều so với khuếch tán thì tốc độ lắng đọng sẽ quyết định bởi quá trình khuếch tán.

- Nếu tốc độ hấp phụ nhỏ hơn nhiều so với khuếch tán thì tốc độ lắng đọng sẽ quyết định bởi khả năng hấp phụ.

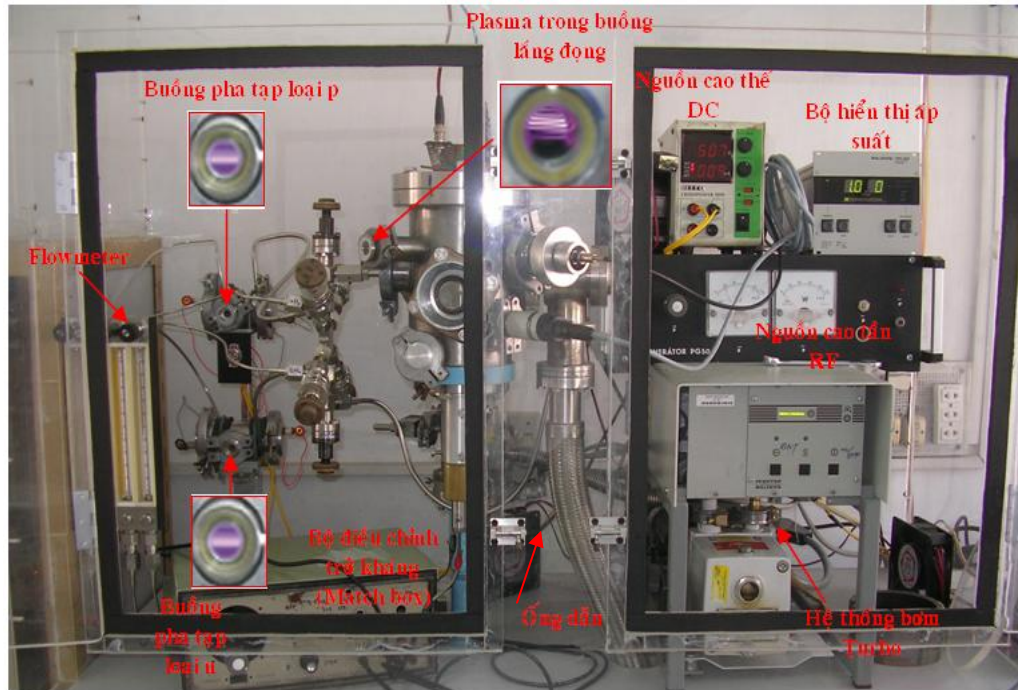
Để điều khiển dòng khí gồm có bốn van có thể điều chỉnh tốc độ dòng khí đi vào buồng phản ứng (buồng lắng đọng). Tùy theo mức tích tụ trên màng mà ta đưa dòng khí vào, nếu tụ màng Si:H thuần thì đưa khí SiH_4 và H_2 , pha tạp loại n thì trộn thêm P, pha tạp loại p thì thêm B. Tại đây các khí được chọn theo yêu cầu thực nghiệm. Trong buồng lắng đọng này sẽ nạp phim màng. Ngoài ra còn có bộ phận cung cấp nhiệt độ cho hệ và nguồn RF để tạo và duy trì plasma trong quá trình tạo màng. Bộ phận bơm chân không sẽ hút bớt mọi trường chân không cao trong buồng. Khí N_2 dùng để làm loãng sản phẩm phụ trong quá trình lắng đọng và đẩy chúng ra ngoài, an toàn cho cái hệ

2. Hệ PECVD

Hệ PECVD của Bộ môn vật lý chất rắn được sử dụng để nghiên cứu chế tạo màng Si:H với cấu trúc khác nhau được minh họa trên hình 2.2. Các bộ phận chính của hệ và chức năng hoạt động của chúng được mô tả như sau:

- ° Hệ tạo chân không
- ° Thiết bị nóng chân không
- ° Buồng lắng đọng
- ° Hệ thống ống dẫn khí và các van điều khiển

- Hệ tạo và duy trì plasma
- Các buồng pha tạp
- Hệ thống cung cấp khí



Hình 2.1: Hệ PECVD.

a. Thiết bị tạo chân không:

Thiết bị tạo chân không được phân ra làm hai phần (hình 2.3):

❖ Hệ bơm tạo chân không cao: có nhiệm vụ giải hấp và tạo chân không cao ban đầu cho buồng trước khi lắng đọng. Hệ gồm bơm sơ cấp và bơm turbo.

- Bơm sơ cấp nhốt ra chân không ban đầu cho bơm turbo với các thông số

Áp suất giới hạn: 10^{-4} Torr

Áp suất nối: khí trời

Vận tốc hút: 2 lít/s

- Bơm turbo phân tử để tạo chân không cao đáp ứng yêu cầu thí nghiệm

Áp suất giới hạn: 10^{-8} Torr

Áp suất nối: 2 Torr

Vận tốc hút: 100 lít/s

❖ Hệ bơm giới hạn áp suất làm việc có nhiệm vụ cho buồng trong suốt quá trình làm nóng gồm:

- Bơm sơ cấp (bơm quay dầu)

Áp suất giới hạn: 10^{-3} Torr

Áp suất nối: khí trời

Vận tốc hút: 20 lít/s

- Bơm root

Áp suất giới hạn: 10^{-5} Torr

Áp suất nối: 1 Torr

Vận tốc hút: 50 lít/s



Hình 2.2: Các bơm chân không.

b. Thiết bị đo chân không:

Ống đo Pirani dùng để đo áp suất làm việc của buồng trong quá trình lắng nóng với giai đo từ 200 Torr đến 10^{-4} Torr.

Ống đo Penning dùng để đo chân không trong quá trình giải hấp và quá trình tạo chân không cao cho buồng trước khi tiến hành lắng nóng. Giai đo áp suất từ 10^{-4} Torr đến 10^{-10} Torr.

Áp suất đo được sẽ hiển thị bằng số trên thiết bị hiển thị Balzer TGP 300.

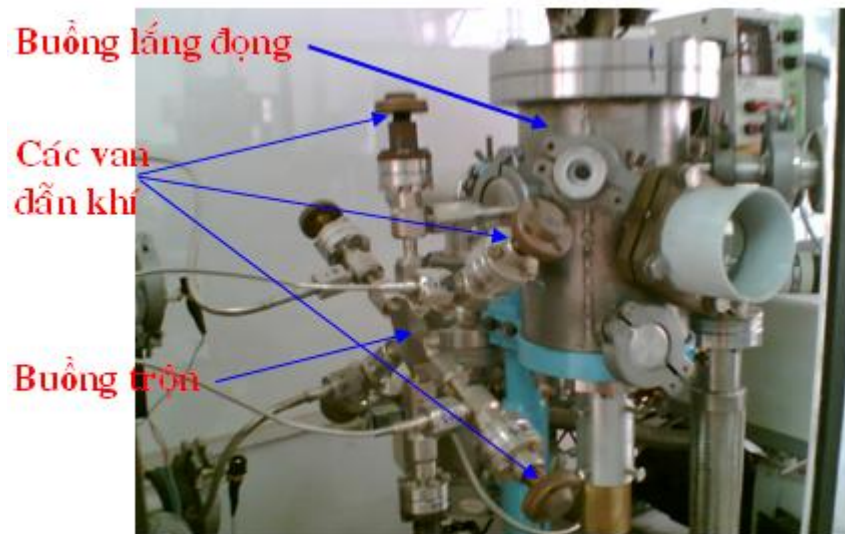


Hình 2.3: Các loại đo chân không và bộ hiển thị áp suất.

c. Buồng lắng nóng:

Buồng lắng nóng có dạng hình trụ làm bằng hộp kim thép không gỉ, nằm bên ngoài phòng thí nghiệm với các khí phản ứng trong quá trình phun màng rất mỏng với Silane. Buồng có thể tích khoảng 3 lít. Nắp buồng gắn liền với bộ giảm áp có hệ thống bếp cung cấp nhiệt cho nó. Nhiệt độ của nó được đo bằng cặp nhiệt điện nối với bộ phận hiển thị nhiệt độ ở bên ngoài và có thể điều chỉnh nhiệt độ của buồng nóng nối với hệ thống ống dẫn khí vào và khí ra. Bên trong buồng có gắn hai điện cực để tạo plasma. Các khí trước khi vào buồng sẽ được trộn lẫn ở buồng trộn.

Buồng trộn là nơi tiếp nhận các khí từ nguồn Silan, Hydro, từ buồng tạo tạp P (phosphin), từ buồng tạo tạp B (diboran).



Hình 2.4: Buồng lắng nóng và các van dẫn khí.

d. Bộ điều chỉnh khí - Flowmeter:

Flowmeter dùng để điều chỉnh lưu lượng khí vào buồng trộn rồi dẫn vào buồng lắng nóng. Hệ này gồm có bốn flowmeter với các mức tích khác nhau:

- 1: dẫn khí silane vào buồng trộn
- 2: dẫn khí hydro vào buồng trộn
- 3: dẫn khí hydro vào buồng tạo tại P
- 4: dẫn khí hydro vào buồng tạo tại B



Hình 2.5: Flowmeter.

e. Thiết bị tạo và duy trì plasma:

- Nguồn cao tần RF công suất có thể thay đổi từ 2- 50 W, cung cấp điện thế xoay chiều với tần số 13,56 MHz cho quá trình tạo và duy trì plasma. Chúng nối với bộ chỉnh chỉnh trở kháng (matching box) để tránh hiện tượng công suất cung cấp đổi trở ngược về nguồn.

- Bộ chỉnh chỉnh trở kháng (matching box) nối trực tiếp với điện cực tạo plasma.

- Hai điện cực thép không gỉ tạo plasma trong buồng lạnh nóng.

- Nguồn cao thế DC với điện áp có thể điều chỉnh từ 1 – 1200 V, dòng từ 1 – 200 mA dùng để tạo quá trình phóng điện khí ở hai buồng tạo tạp chôn P và B ôi dạng rắn. Plasma DC kích hoạt cho phản ứng giữa hydro với P và hydro với B tạo ra precursor PH_3 (phosphin) và B_2H_6 (diboran) để sử dụng cho quá trình lắng nóng tạo màng Si:H loại n và loại p.



Hình 2.6: Nguồn tạo plasma.

f. Các buồng tạo tạp:

Coi thiết kế 250 ml chứa hai niên cực thép không gỉ nối với nguồn cao thế DC, coi nhiệm vụ tạo các khí phosphin và diboran từ quá trình phản ứng giữa hydro và P, B rắn tổng ứng. Các khí nước tạo ra này sẽ nước nữa tới buồng trộn, sau đó vào buồng phản ứng để phức vụ cho quá trình chế tạo các mạng Si:H loại n hay p.

g. Hệ thống cung cấp khí:

Hệ thống cung cấp khí dùng trong quá trình tạo mạng gồm:

- Bình chứa khí silane và bo ở áp suất cao và nhiều cánh áp lọc, nối trực tiếp vào flowmeter (bộ vi chỉnh lưu lọc).

- Bình chứa khí hydro và bo ở áp suất cao và nhiều cánh áp lọc, nối với ống dẫn và nước chia ra làm ba hướng nối trực tiếp vào ba flowmeter cung cấp hydro vào ba bộ phận:

- + Vào buồng lắng nóng

- + Vào buồng tạo tạp P

- + Vào buồng tạo tạp B

- Bình chứa khí Nitrogen: khí Nitrogen được hòa tan trong bình và hệ bơm sẽ cấp dung dịch duy trì áp suất làm việc trong quá trình tạo mạng lưới làm giảm nồng độ khí silane thoát ra sau phản ứng này vào hệ thống bơm này. Ngoài ra cửa hệ bơm này rất nhỏ để nhiệt độ của Nitrogen để tạo hiệu ứng chảy yếu khí cho silane khi thoát ra ngoài khí trời. Việc này giúp phòng chống cháy nổ tốt hơn vì silane là chất dễ gây cháy nổ trong môi trường oxy và hơi nước.



Hình 2.7: Các bình khí Silane, Hydro, Nitrogen dùng trong quá trình tạo mạng.