

Introduction

L'objectif de ce premier chapitre est la présentation d'une brève synthèse bibliographique sur les plasmas dans les gaz en général et les décharges électriques en particulier

Ce chapitre est divisé en deux parties :

- Dans la première partie nous présenterons quelques généralités sur les plasmas et les décharge électrique et leurs différents types, la définition de degré d'ionisation, nous rappellerons les différents types de plasma mis en jeu qui nous permet de les classifiés par des exemples.

- Dans la deuxième partie, nous nous intéresserons à la décharge électrique lumineuse. Nous rappellerons les différents mécanismes ainsi on terminera ce chapitre par les avantages de l'effet lumineuse.

I.1 plasmas

Les plasmas, appelés le quatrième état de la matière après les trois états conventionnels : solide, gaz liquide. Est un gaz ionisé par la collision entre ses molécules et les électrons accélérés par le champ électrique, et globalement neutre. Ils se composent d'un grand nombre d'espèces chimiques : *Radicaux, molécules, ions, électrons, atomes et photons*. [1].

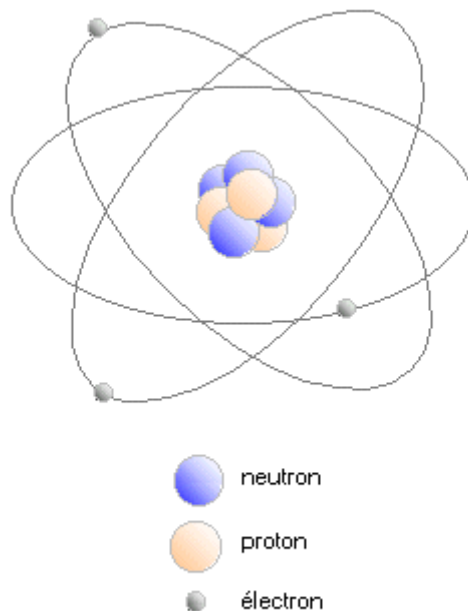


Figure 1.1 : les particules chargées dans un plasma

Un plasma est une collection d'électrons, de radicaux libres, d'ions des deux charges, de photons de diverses énergies allant de l'UV à l'infrarouge lointain, d'atomes libres et de molécules dans des états neutres et excités (Figure 1.1). Chaque particule chargée dans un plasma interagit simultanément avec les autres grâce au long rayon d'action de la force électrique entre particules chargées (force coulombienne). Ces interactions créent un comportement collectif qui n'existe pas dans les gaz neutres et procurent au plasma des propriétés uniques. Les plasmas artificiels créés en laboratoire sont généralement faiblement ionisés. Étant donné leur faible densité, leurs propriétés physiques (grande compressibilité, énergie interne et pression proportionnelle à la température absolue, écoulements, ondes acoustiques, etc.) sont analogues à celles des gaz neutres, tandis que leurs propriétés électromagnétiques (conductivité électrique, indice de réfraction, etc.) sont différentes et dues à la présence d'électrons libres.

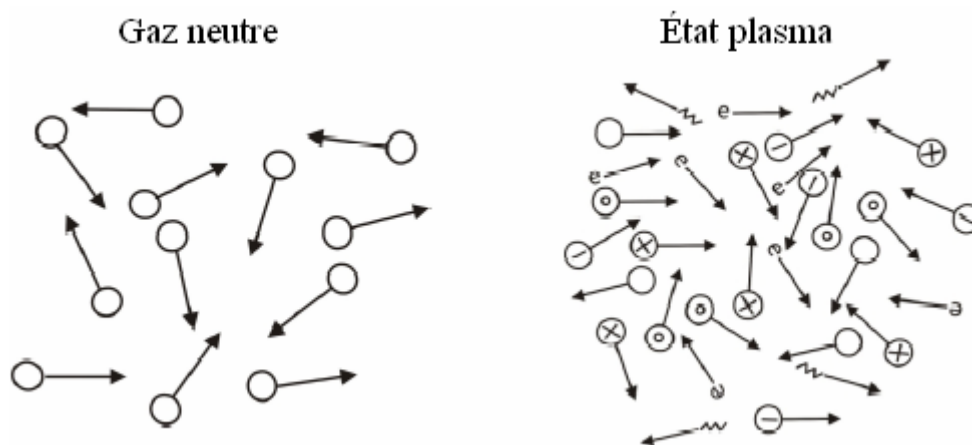


Figure 1.2 : Schéma de la différence entre gaz neutre et plasma

- À gauche, on voit l'atome (Hydrogène) avec un noyau en rose et un nuage électronique en bleu. Le gaz est formé de ces atomes qui collisionnent entre eux.
- À droite, l'atome est ionisé. Le plasma contient des ions, des électrons et potentiellement des atomes. Certains atomes ont plusieurs électrons mais dès qu'ils en perdent un, on dit qu'ils sont ionisés.
- En conséquence, dans la pratique, les plasmas sont générés à partir d'un gaz, en le soumettant à une décharge électrique (plasmas de décharge) ou à un champ magnétique. Dans cette mémoire nous ne considérons uniquement que les plasmas de décharge.[2]

Un plasma proprement dit, ne possède ni molécules ni atomes ; il contient seulement des ions et des électrons libres. De plus, de même que pour le corps qui lui a donné naissance, sa charge électrique globale est nulle; la somme algébrique totale des charges qu'il contient doit donc être nulle. Nous retrouvons le plasma à l'état naturel dans divers milieux : dans la couronne solaire, le soleil, l'intérieur des étoiles, l'ionosphère, etc. Cependant, en laboratoire nous retrouvons plutôt un gaz ionisé, mélange d'atomes, d'ions et d'électrons, comme l'illustre la figure 1.2. Les densités d'ions et d'électrons peuvent varier, raison pour laquelle le terme de « degré d'ionisation ».

I.2. Définition du degré d'ionisation

Le degré d'ionisation est le rapport entre les densités respectives N_e (électrons), N_i (ions) et N_0 (molécules non ionisées), on l'écrit sous la forme [3]:

$$\alpha = \frac{N_e}{N_e + N_T}$$

Le degré d'ionisation nous permet de classer les plasmas, en plasmas faiblement ionisés (Plasmas froids) ou fortement ionisés (plasmas chauds)

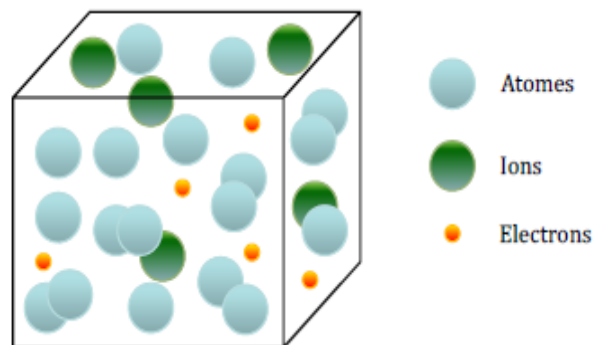


Figure 1.4 : Volume pour décrire un plasma de laboratoire et introduire le degré d'ionisation.

Exemples sur les plasmas

La foudre



Aurores

Tube a néon



Ecran plat



I.3.Types de plasmas

Les plasmas les plus utilisés sont induits électriquement par une décharge [4] :

Les décharges électriques sont : décharge RF ou microondes, décharge DC, DBD.....

- Radiofréquence RF qui utilise un champ électrique de fréquence radio de l'ordre de 13.56 MHz.
- Micro-onde de fréquence de l'ordre du GHz.
- DBDsont normalement constituées de micro-décharges de petites dimensions (quelques centaines de micromètres dediamètre).
- La décharge luminescente (subnormale ; normale ; anormale).

I.4. décharges électriques

Introduction

Les phénomènes de décharge électrique, étudiés pourtant depuis près de deux siècles, font toujours l'objet de recherche active auprès des scientifiques. On pourrait s'étonner de cet état de fait mais on comprendrait vite que cela n'est dû qu'à la très grande complexité du phénomène et des mécanismes qui le constituent. Cependant de grandes avancées ont été faites ces dernières décennies dans l'amélioration des moyens de diagnostic des premiers instants de la décharge et donc dans l'étude des mécanismes d'initiation. Cela a permis d'accroître les connaissances sur le phénomène et d'avancer dans les applications qui ont d'ailleurs connu de bien plus larges expansions.La physique des décharges électriques dans les gaz a permis à la physique atomique de faire ses premiers progrès avec les travaux de William Crookes et de Thomson, avec en particulier la mise en évidence du rôle fondamental des électrons dans la décharge et la mesure du rapport e/m . Vers 1900, un élève de **Thomson, Townsend**, réalisa la première modélisation d'une décharge, correspondant au cas de la décharge luminescente en champ uniforme. **Langmuir** travailla aussi sur ces décharges et introduisit le concept du plasma. Au cours du XXème siècle, on passa à l'exploration des décharges électriques en fonction de la fréquence, tandis que la modélisation progressait en raison du développement d'applications de plus en plus nombreuses des décharges.

I.4.2. Différents types de décharges électriques

1) Décharge radio fréquence (RF)

La décharge RF avec électrodes intérieures est schématisée sur la figure I-5. La fréquence commerciale est 13.6 Mhz. Le générateur RF est relié à une électrode, dite active, via un adaptateur d'impédance qui permet de polariser négativement cette électrode. On retrouve le fonctionnement de la cathode d'une décharge lumineuse. Ce type de décharge est surtout utilisé en microélectronique, pour graver des surfaces en position cathodique ou pour déposer des films en position anodique [5].

Les décharges radiofréquences sont souvent utilisées dans les réacteurs PECVD pour exciter et entretenir le plasma. Pour des basses fréquences (<10kHz), le mécanisme de création d'électrons chauds est similaire à celui des plasmas continus et où les électrons secondaires émis à la cathode sont accélérés à des énergies suffisantes pour ioniser les molécules du gaz et assurer le maintien de la décharge. A mesure que la fréquence d'excitation augmente (~MHz), l'émission secondaire aux électrodes n'est même plus nécessaire à l'amorçage. Les électrons, essentiellement ceux du volume qui oscillent à la fréquence d'excitation n'auront pas le temps de diffuser vers les parois entre deux alternances et verront leur énergie et leur probabilité d'ionisation augmenter, permettant d'atteindre un équilibre entre le taux d'ionisation et celui de perte des électrons et ainsi assurer l'auto-entretien de la décharge (décharge autonome). [6].

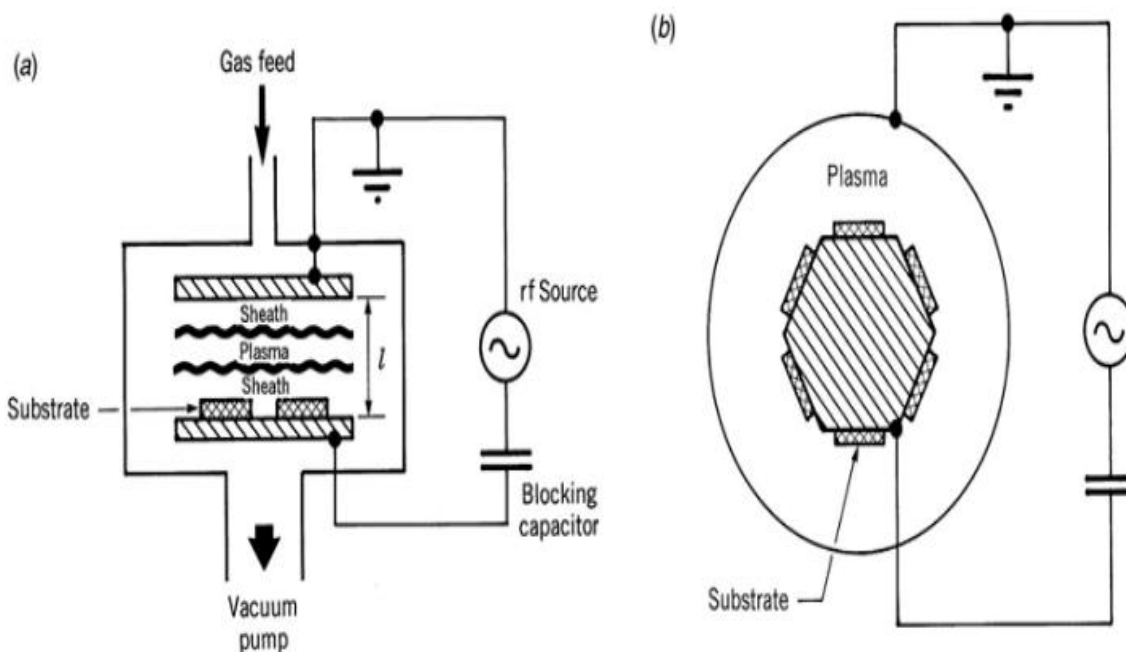


Figure I.5: Décharges RF : (a) géométrie Plane parallèle et (b) géométrie coaxiale (hexode) [7].

2) Décharges micro-ondes

La décharge micro-onde (la fréquence commerciale est 2450 Mhz) peut être réalisée avec des antennes, à l'intérieur d'une enceinte, ou à l'extérieur du tube à décharge par des cavités. Les décharges micro-ondes sont guidées le long de dispositif et transmettent leur énergie aux électrons libres du gaz plasmagène. Ce qui donne lieu à des collisions inélastiques excitatrices et ionisantes entre les électrons et les neutres. A ce stade, le gaz est partiellement ionisé et passe à l'état plasma [8].

Le plasma obtenu est caractérisé par une bonne uniformité en volume et en surface. Le schéma d'une torche plasma micro-onde est illustré sur la figure

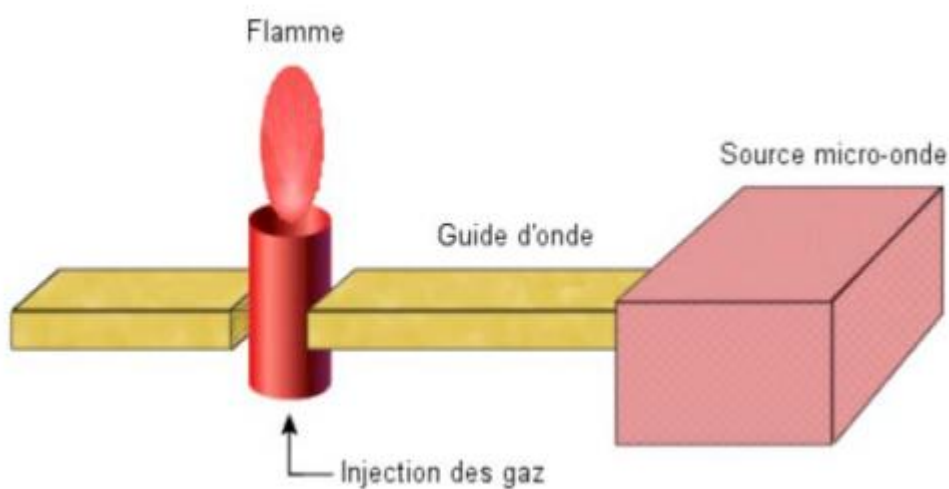


Figure I.6: Schéma d'une torche plasma micro-onde

3) Décharges à barrières diélectriques (DBD)

Les décharges à barrières diélectriques fonctionnant à pression atmosphérique sont de plus en plus utilisées dans l'industrie: génération d'ozone, traitement de surface, etc. A cette pression, ces décharges sont filamentaires, mais elles peuvent être homogènes sous certaines conditions

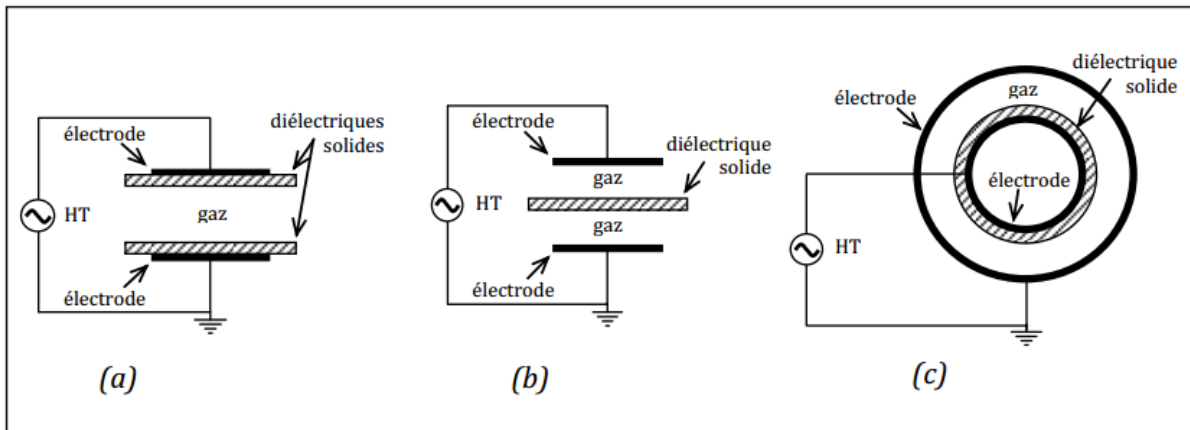


Figure I.7 : Différentes configurations de décharges à barrières diélectriques (DBD)

4) Décharges lumineuses

Une décharge lumineuse est visible (présence de la lumière).ou la lumière est due à la désexcitation des atomes ou la neutralisation des ions. Elle est confinée entre les deux électrodes lorsque la tension est suffisante. On distingue trois régimes dans les décharges lumineuses:

- **Décharge lumineuse subnormale:** Le courant est faible dans cette zone et la décharge n'occupe que la première partie de la cathode. De plus, la tension décroît et le courant augmente.
- **Décharge lumineuse normale:** La valeur de tension ne change pas même si le courant augmente. Les principales caractéristiques de la décharge lumineuse normale.
- **Décharge lumineuse anormale:** la décharge s'établit sur n'importe quelle surface autour de la cathode.

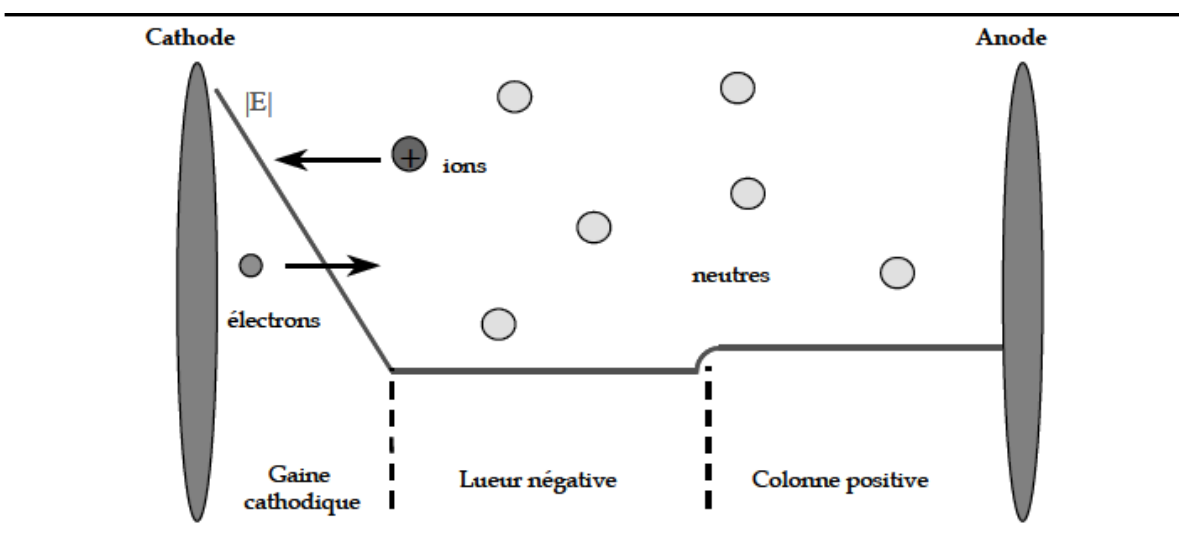


Figure 1.8 : Les différentes régions d'une décharge lumineuse.

Entre la cathode et l'anode, on distingue cinq zones identifiables par leur luminosité [9] :

I.5.zones de la décharge luminescente

I.5.1. Près de la Cathode

Pour maintenir la décharge, il faut un mécanisme de multiplication d'électrons (ionisation) et un mécanisme de « rétroaction » pour maintenir la population originale. Dans le cas de la décharge luminescente, ce processus est fourni par la génération d'électrons secondaires par bombardement de la cathode par des ions venant de la décharge. La chute de tension de la décharge se trouve principalement dans une zone mince juste devant la cathode. Cette chute de potentiel et le champ électrique élevé sert à :

- (1) Accélérer les ions vers la surface, pour qu'ils puissent frapper la cathode avec suffisamment d'énergie pour libérer des électrons secondaires.
- (2) Accélérer les électrons secondaires vers le plasma, pour qu'ils puissent créer de l'ionisation et augmenter le courant électronique.

L'accélération des électrons leur permet d'exciter le gaz, donnant lieu à la formation de la lueur cathodique. L'ionisation est produite plutôt dans la région «sombre» (« Cathode darkspace »), et à l'entrée de la lueur négative

I.5.2. Lueur Négative

Il y a une zone brillante juste en avant de la cathode. Dans cette zone, il existe des électrons rapides venant directement de la cathode et accélérés dans la chute cathodique. Quand ces électrons entrent dans la zone de la lueur négative, ils commencent à créer des électrons secondaires à basse énergie et à exciter le gaz. Des calculs Monte-Carlo indiquent le changement de la fonction de distribution électronique à travers cette couche. Près de la cathode, il existe surtout des électrons rapides, mais plus loin on voit l'apparition d'électrons secondaires (ayant des températures de l'ordre de 10-20 eV) et des « tertiaires » ayant des températures de 1-2 eV. Le « moteur » pour le maintien de ce plasma est la présence des électrons rapides. Dans la lueur négative, le champ électrique est faible – les électrons dérivent – mais le rayonnement est intense. À mesure que les électrons perdent de l'énergie, ils produisent de moins en moins d'ionisation ; la longueur de la lueur négative est reliée à la longueur de pénétration de ces électrons rapides.

I.5.3. magnétron plan

Les décharges luminescentes DC sont utilisées depuis longtemps à titre de source de pulvérisation. Illustre un tel réacteur à l'argon alimenté par une source de tension DC. L'électrode du haut en

aluminium est la cathode qui sert de cible aux atomes et ions qui viennent pulvériser la surface et produire des atomes d'aluminium. Les substrats sur lesquels on veut déposer l'aluminium sont placés sur l'électrode du bas, l'anode. La distance entre les électrodes est typiquement de 5 cm et presque toute la tension se retrouve à la chute de tension cathodique.

I.5.4. colonne positive

Elle est caractérisée par des propriétés électriques et spectrales constantes :

- Même concentration d'électrons et d'ions.
- La décharge est maintenue en équilibre grâce au champ ambipolaire qui donne une accélération aux ions et fait ralentir les électrons.
- Une distribution de vitesse isotrope pour chaque type de particules, avec une température électronique très supérieure à celle des ions et des neutres.
- Enfin, la constance des densités de courant (la densité de courant ionique (j_i) est beaucoup plus faible que la densité de courant électronique (j_e)) qui traduit.

L'équilibre entre l'ionisation par les électrons et les pertes de particules chargées vers les parois du tube, sur la surface duquel elles se recombinent.

I.5.5. zone anodique

L'anode étant un collecteur d'électrons, elle comprend la zone de charge d'espace négative avec un champ électrique plus important que la colonne positive.

Applications

La décharge luminescente apparaît dans beaucoup d'applications qu'on connaît :

- a) Les lampes « néon » pour l'éclairage
- b) Pulvérisation cathodique, elles possèdent de nombreuses applications industrielles.

Conclusion

Dans ce chapitre une synthèse bibliographique a été effectuée généralisée des plasmas et décharge électrique dans les gaz. Dans le chapitre suivant, nous nous sommes proposé d'étudier la technique de pulvérisation cathodique pour la fabrication des dispositifs à semi-conducteur