

TABLE DES MATIERES

COURS

PHYSIQUE DES DECHARGES (A.-M. Pointu)..... Page 1

I - CONCEPTS DE BASE DES DECHARGES : CARACTERISTIQUES D'UN PLASMA ILLIMITE.

- 1 - Caractères généraux des plasmas.
- 2 - Collisions interparticulaires.
- 3 - Théorie cinétique des gaz faiblement ionisés.
- 4 - Fonction de distribution électronique.

II - ANALYSE D'UN PLASMA LIMITE.

- 1 - Gaines électrostatiques.
- 2 - Région neutre d'un plasma limité.
- 3 - Conclusion.

III - DECHARGES A TENSION CONTINUE.

- 1 - Généralités - Caractéristique courant tension.
- 2 - Décharges non autonomes.
- 3 - Décharge luminescente à basse pression.
- 4 - Autres types de décharge à tension continue.

REACTIVITE DES ETATS EXCITES (A. Ricard)..... Page 59

I - INTRODUCTION.

II - MILIEUX IONISES ACTIFS.

- II.1 - Collisions électroniques.
- II.2 - Bilan en densités.

III - MILIEUX IONISES REACTIFS.

- III.1 - Transferts ionisants.
- III.2 - Transferts d'excitation.
- III.3 - Transferts à partir d'atomes résonnants de gaz rares.
- III.4 - Transferts à partir d'ions négatifs (Oxygène).
- III.5 - Réactions sur les surfaces.
- III.6 - Neutralisation et dé-excitation Auger.

IV - ETATS EXCITES DANS LE TRAITEMENT DES SURFACES.

- IV.1 - Introduction.
- IV.2 - Spectroscopie d'un plasma pour la nitruration de surfaces métalliques.
- IV.3 - Spectroscopie d'un plasma pour le dépôt de couches minces.
- IV.4 - Conclusion.

DIAGNOSTICS DES PLASMAS REACTIFS (J. Perrin et J. Schmitt)..... Page 91

I. DESCRIPTION PHENOMENOLOGIQUE D'UNE DECHARGE REACTIVE.

- I.A. Le plasma considéré comme une boîte noire.
- I.B. Description des particules présentes dans le plasma.
- I.C. Grandeurs caractéristiques du plasma.
- I.D. Description des réactions.

II. ANALYSE CHIMIQUE DES GAZ.

- II.A. Analyse chimique des gaz.
- II.B. Mesure des pressions.
- II.C. Mesure des débits.

III. DENSITE ET DISTRIBUTION EN ENERGIE DES ELECTRONS ET DES IONS ; CHAMPS ET POTENTIELS.

- III.A. Méthodes électrostatiques.
- III.B. Méthodes microondes.
- III.C. Interférométrie laser.
- III.D. Diffusion Thomson.
- III.E. Méthodes spectroscopiques .
- III.F. Mesures de champ électrique.

IV. SPECTROMETRIE DE MASSE DES IONS.

- IV.A. Extraction des ions du plasma.
- IV.B. Interprétation des spectres.
- IV.C. Exemples de chimie ionique.

V. SPECTROSCOPIE PASSIVE.

- V.A. Processus élémentaires d'émission ou d'absorption d'un photon dans un plasma.
- V.B. Production d'états excités par collisions.
- V.C. Modèles décrivant l'émission d'un plasma.
- V.D. Mesures d'intensités d'émission (plasmas optiquement minces).
- V.E. Profil des raies.
- V.F. Technologie des spectromètres.

VI. SPECTROSCOPIE ACTIVE.

- VI.A. Absorption optique.
- VI.B. Fluorescence induite par laser.
- VI.C. Autres méthodes de détection.
- VI.D. Autres méthodes de spectroscopie.

VII. METHODES SPECIFIQUES D'ANALYSE DES ATOMES ET DES RADICAUX LIBRES.

- VII.A. Piégeage de radicaux libres en matrice solide de gaz rare.
- VII.B. Spectrométrie de masse par ionisation.
- VII.C. Méthodes physiques.
- VII.D. Méthodes chimiques.

PHYSIQUE DU MILIEU LASER : LASERS IMPULSIONNELS A TRANSITION ELECTRONIQUE (F. Collier).....

Page 173

Chapitre I - Principes du laser.

Page 173

I - COHERENCE.

- I - 1. Cohérence temporelle.
- I - 2. Cohérence spatiale.
- I - 3. Définition d'un mode.

II - CONSTITUTION D'UN OSCILLATEUR LASER.

- II - 1. Le milieu amplificateur - Système à deux niveaux.
- II - 2. Le milieu amplificateur - Système à 3 et 4 niveaux.
- II - 3. Le résonateur optique.
- II - 4. Les moyens de pompage d'un laser.

III - PLACE DES LASERS IMPULSIONNELS UV ET VISIBLES PARMI LES AUTRES LASERS.

Chapitre II - Lasers à excimères de gaz rares.

Page 194

I - CINETIQUE DANS LES GAZ RARES PURS.

- I - 1. Principe.

- I - 2. Formation des excimères.
- I - 3. Dépôt de l'énergie dans le gaz.
- I - 4. L'excimère de xénon - Processus de formation et de relaxation.

II - LE LASER Xe₂^{*}.

- II - 1. Conditions de fonctionnement.
- II - 2. Principales limitations du rendement.
- II - 3. Résultats obtenus à l'étranger et à Marcoussis.
- II - 4. Absorptions transitoires dans les gaz rares excités à haute pression.
Leurs conséquences.
- II - 5. Conclusion.

Chapitre III - Lasers utilisant l'excitation électrique d'un gaz rare et des transferts collisionnels - Modélisation dans le cas canon.

Page 209

I - REVUE DES PRINCIPAUX SYSTEMES DE TRANSFERTS EXISTANTS - LEUR INTERET.

II - SYSTEME TRANSFERT Ar - N₂.

- II - 1. Résultats lasers.
- II - 2. Modèle cinétique.

III - LASERS A EXCIMERES : SYSTEMES R - O.

- III - 1. Rappel sur l'oxygène atomique.
- III - 2. Emission induite par la formation d'une molécule.
- III - 3. Modèle cinétique.
- III - 4. Résultats lasers.

IV - LASERS A HALOGENURES DE GAZ RARES.

- IV - 1. Introduction.
- IV - 2. Structure moléculaire des halogénures de gaz rares.
- IV - 3. Cinétique d'excitation et absorption.
- IV - 4. L'émission laser.

V - LES LASERS A RADICAUX - LE LASER HgBr.

- V - 1. Considérations sur les conditions de peuplement et d'inversion de population.
- V - 2. Résultats lasers.

Chapitre IV - Les lasers photolytiques.

Page 234

I - LES LASERS CHALCOGENES.

II - LE LASER A IODE.

- II - 1. Les transitions du laser à iode.
- II - 2. Décomposition photolytique.
- II - 3. Désactivation.
- II - 4. Les résultats laser.

Chapitre V - Applications des lasers UV et visibles.

Page 240

I - FUSION INERTIELLE PAR LASER.

II - APPLICATION DES PETITS LASERS INDUSTRIELS.

INTERACTION PLASMA-SURFACE (G. Gautherin)..... Page 243

I. INTRODUCTION.

II. INTERACTION NEUTRES THERMIQUES/SURFACE.

III. INTERACTION ION-SURFACE.

- (A)-3.1. Neutralisation de l'ion incident.
- (A)-3.2. Processus de ralentissement d'un neutre rapide.
- (A)-3.3. Incorporation et réflexion des ions incidents.

- (B)3.1. Emission de neutres ou pulvérisation (Sputtering).
- (B)3.2. Emission d'ions.
- (B)3.3. Emission d'électrons.

IV. INTERACTION ELECTRON-SURFACE.

- 4.1. Réémission d'électrons.
- 4.2. Emission de photons.

V. EFFETS DE SYNERGIE DANS L'INTERACTION PARTICULES-SURFACE.

SEMINAIRES

DECHARGES H.F. ET MICROONDES (P. Leprince et J. Marec)..... Page 263

INTRODUCTION.

I. MODELISATION DES DECHARGES.

- I.1. Principe.
- I.2. Décharge créée par une onde de surface.

II. AUTRES TYPES DE DECHARGES.

- II.1. Décharges HF.
- II.2. Décharges microondes.

CINETIQUE DE L'OXYGENE EN MILIEU PLASMA (G. Fournier)..... Page 297

I - INTRODUCTION.

II - LES DIFFERENTES ESPECES CONSTITUANT LES PLASMAS D'OXYGENE.

III - COLLISIONS ELECTRON-OXYGENE.

- III.1 - Collisions élastiques.
- III.2 - Collisions inélastiques.
- III.3 - Recombinaison.
- III.4 - Résolution de l'équation de Boltzmann dans le cas d'un faisceau d'électrons.
- III.5 - Résolution de l'équation de Boltzmann dans le cas d'une décharge.
- III.6 - Bilan d'ionisation par un faisceau d'électrons.

IV - INTERACTIONS OXYGENE-OXYGENE.

V - RESOLUTION DE LA CINETIQUE PHYSICO-CHIMIQUE.

- V.1 - Généralités.
- V.2 - Bilan des gains et des pertes par collisions.
- V.3 - Effet d'un écoulement.
- V.4 - Pertes aux parois - Diffusion.
- V.5 - Pertes aux électrodes - Dérive.
- V.6 - Résultats de la cinétique du plasma d'oxygène à haute pression.
- V.7 - Optimisation de la production d'ozone.
- V.8 - Production d'oxygène singulet $a^1\Delta_g$.
- V.9 - Production d'oxygène singulet $b^1\Sigma_g$.

VI - MOYENS DE PRODUCTION DE L'OZONE ET DE L'OXYGENE SINGULET EN MILIEU PLASMA.

VII - MESURE DES GRANDEURS PHYSICO-CHIMIQUES.

VIII - REMARQUES IMPORTANTES.

- VIII.1. Production chimique de l'oxygène singulet.
- VIII.2 - Laser oxygène-iode.

IX - CONCLUSIONS.

APPLICATION DES PLASMAS A L'ANALYSE ELEMENTAIRE PAR SPECTROSCOPIE D'EMISSION (J.M. Mermet)..... Page 373

- I. - DIFFERENTS TYPES DE PLASMAS UTILISES EN ANALYSE.
- II. - PROPRIETES PHYSIQUES.
- III. - INTRODUCTION D'ECHANTILLONS ET PARAMETRES DE FONCTIONNEMENT.
- IV. - SYSTEME D'INTRODUCTION D'ECHANTILLONS.
- V. - METHODES SPECTRALES UTILISEES.
- VI. - MECANISMES DANS LES PLASMAS.
- VII. - LIMITES DE DETECTION.
- VIII. - INTERFERENCES SPECTRALES.
- IX. - AUTRES INTERFERENCES.
- X. - SYSTEMES OPTIQUES UTILISES.
- XI. - PRINCIPALES APPLICATIONS.
- XII. - CONCLUSIONS.

CINETIQUE REACTIONNELLE A HAUTE PRESSION (J. Stevefelt)..... Page 385

- I. BREF RESUME HISTORIQUE DES ETUDES EXPERIMENTALES DES PLASMAS A DES PRESSIONS ATMOSPHERIQUES.
 - I.1. Plasmas produits par rayonnement nucléaire.
 - I.2. Plasmas produits par faisceaux d'électrons.
 - I.3. Plasmas produits par décharges électriques rapides.
- II. CARACTERISATION GENERALE DES PLASMAS DE POST-DECHARGE CREEES A DES PRESSIONS ATMOSPHERIQUES.
 - II.1. Densités et températures des constituants du plasma.
 - II.2. Echelle temporelle des réactions à deux corps et à trois corps.
 - II.3. Temps caractéristiques de diffusion des constituants.
- III. PROCESSUS COLLISIONNELS INTERVENANT DANS LES PLASMAS DE POST-DECHARGE A GAZ RARE.
 - III.1. Mécanismes de formation des ions moléculaires.
 - III.2. Formation des molécules excitées par association à trois corps.
 - III.3. Mécanismes de recombinaison électron-ion.
 - III.4. Collisions entre métastables et désexcitation superélastique.
- IV. PROCESSUS COLLISIONNELS INTERVENANT DANS DES MELANGES A BASE D'UN GAZ RARE.
 - IV.1. Ionisation de Penning et ionisation associative.
 - IV.2. Réactions de transfert de charge.
 - IV.3. Modélisation des réactions ion-molécule.
 - IV.4. Recombinaison ion-ion.

PLASMAS PRODUITS PAR FAISCEAUX D'ELECTRONS RELATIVISTES (V. Puech).... Page 415

- I - INTRODUCTION.
- II - TECHNOLOGIE DES FAISCEAUX D'ELECTRONS RELATIVISTES.
 - II.1 - Générateur de Marx.

- II.2 - Ligne de formation.
- II.3 - Diode émettrice.
- III - PHYSIQUE DE L'INTERACTION FAISCEAU-CIBLE.
 - III.1 - Sections efficaces de collisions.
 - III.2 - Pouvoir d'arrêt.
 - III.3 - Partition de l'énergie.
- IV - DISCUSSION.

LASERS A EXCIMERES (B.L. Fontaine)..... Page 441

- 1. INTRODUCTION.
- 2. GENERALITES.
- 3. SPECTROSCOPIE.
 - 3.1. Dimères de gaz rare.
 - 3.2. Halogénures de gaz rares diatomiques.
- 4. CINETIQUE.
 - 4.1. Cinétique du laser Ar_2^* ($\lambda = 126 \text{ nm}$).
 - 4.2. Cinétique des lasers à halogénures de gaz rares.
- 5. METHODES D'EXCITATION.
 - 5.1. Excitation par faisceau d'électrons.
 - 5.2. Décharge stabilisée par faisceau d'électrons.
 - 5.3. Décharge avalanche préionisée par photons U.V.
 - 5.4. Décharge avalanche assistée (préionisée) par faisceau d'électrons ou de rayons X.
- 6. MECANIQUE DES FLUIDES DANS LES LASERS A EXCIMERES REPETITIFS.
 - 6.1. Homogénéité du milieu actif.
 - 6.2. Perturbations aérodynamiques induites par l'excitation du milieu actif.
- 7. APPLICATIONS.
 - 7.1. Séparation isotopique - Photochimie sélective.
 - 7.2. Télécommunications à grande distance.
 - 7.3. Interaction laser-matière - Transfert d'énergie à grande distance.
- 8. SITUATION ACTUELLE DES LASERS A EXCIMERES ET PERSPECTIVES.

MACHINE LASER : PRESENT ET FUTUR (L. Ventre)..... Page 477

- I) LES APPLICATIONS DES LASERS DE PUISSANCE DANS LA PRODUCTION INDUSTRIELLE.
 - 1°) Découpe - Perçage.
 - 2°) Marquage - Gravure.
 - 3°) Soudure.
 - 4°) Traitement de surface.
- II) LA MACHINE LASER.
 - 1°) Les sources.
 - 2°) Périphéries.
 - 3°) Formation.
 - 4°) Sécurité.
 - 5°) Rentabilité.
- III) CONCLUSION : ETAT DU MARCHÉ & PERSPECTIVES.
 - 1°) Principaux secteurs industriels utilisateurs de lasers.

- 2°) Perspectives.
- 3°) Conclusion.

EXEMPLES D'APPLICATIONS D'UN PLASMA AU TRAITEMENT THERMOCHIMIQUE DE SURFACES METALLIQUES (P. Casadesus)..... Page 493

INTRODUCTION.

- I - CHOIX DU PROCEDE.
- II - PRINCIPE DU PROCEDE.
- III - APPLICATIONS DU PLASMA A LA NITRURATION, A LA BORURATION ET A LA CEMENTATION PAR LE CARBONE DES ACIERS.
 - 1) Principes des traitements.
 - 2) Caractéristiques et applications.
- IV - EXTENSIONS RECENTES DES APPLICATIONS DU PLASMA A L'ELABORATION DE REVETEMENTS DE NITRURE ET DE CARBURE DE TITANE.

CONCLUSION.

REACTIVITE DANS LES PLASMAS. REACTION D'UN PLASMA BASSE PRESSION AVEC UNE SURFACE (D. Rapakoulias, A. Gicquel, M.P. Bergougnan et J. Amouroux). Page 509

- A - INTRODUCTION.
 - I - De quoi est composé un plasma hors équilibre.
 - II - Rôles du solide lors d'une réaction de surface.
- B - ETUDE DE L'INTERACTION DE DIFFERENTES ESPECES AVEC UNE SURFACE.
 - I - Interaction d'ion ou d'atome excités avec un métal.
 - II - Interaction des neutres avec des métaux.
- C - ETUDE EXPERIMENTALE - CATALYSE - NITRURATION.
 - PLASMAS NH_3 ; N_2 - H_2 ; N_2 .
 - I - Appareillage expérimental.
 - II - Résultats expérimentaux.
 - III - Discussion.
- D - CONCLUSION.

L'UTILISATION DES PLASMAS REACTIFS DANS L'INDUSTRIE DES SEMICONDUCTEURS (D. Henry, Y. Pauleau et A. Straboni)..... Page 533

- I. INTRODUCTION.
- II. FABRICATION D'UN TRANSISTOR MOS ELEMENTAIRE.
 - II.1. Description des principales étapes technologiques.
 - II.2. Contraintes de réalisation.
 - II.3. Facteurs de dégradation des rendements de fabrication.
- III. CARACTERISTIQUES DES PLASMAS ET DES REACTEURS UTILISES.
- IV. LA GRAVURE PAR PLASMA REACTIF.
 - IV.1. Mécanismes mis en jeu lors d'une gravure plasma.
 - IV.2. Classification des différents plasmas utilisés en gravure.
 - IV.3. Exemples de gravure plasma.

IV.4. Tendances.

V. DEPOT DE COUCHES MINCES PAR PLASMA REACTIF.

- V.1. Dépôt de couches d'isolation et de passivation.
- V.2. Dépôt de silicium amorphe hydrogéné.
- V.3. Dépôt par pulvérisation cathodique réactive.
- V.4. Dépôt de métaux et siliciures métalliques.
- V.5. Croissance épitaxiale de couches de silicium dopé.

VI. CROISSANCE DE COUCHES MINCES DIELECTRIQUES PAR REACTION CHIMIQUE D'UNE SURFACE SOLIDE AVEC UN PLASMA REACTIF.

- VI.1. Les mécanismes de croissance.
- VI.2. Les différents plasmas utilisés.
- VI.3. L'oxydation et la nitruration plasma du silicium.

VII. CONCLUSION.

LA BANQUE DE DONNEES GAPHYOR (J.L. Delcroix)..... Page 565

1 - INTRODUCTION.

2 - DOMAINE COUVERT PAR GAPHYOR.

- 2.1. Catégories de processus (CP).
- 2.2. Systèmes chimiques.
- 2.3. Dimensions des molécules.

3 - UTILISATION DU CODE PHYSICO-CHIMIQUE.

- 3.1. Insuffisance des systèmes traditionnels.
- 3.2. Codage des molécules dans GAPHYOR.
- 3.3. Utilisation de mots clés codés.

4 - STRUCTURE D'UNE FICHE GAPHYOR.

- 4.1. Présentation d'un exemple.
- 4.2. Descripteurs de GAPHYOR.

5 - L'INTERFACE SYGAL : UN SYSTEME D'INTERROGATION SIMPLE ET PERFORMANT.

- 5.1. Nécessité d'une interface.
- 5.2. Le langage SYGAL.
- 5.3. Aides automatiques à l'interrogation (options).

SEMINAIRES INFORMELS

DECHARGE COURONNE EN TENSION CONTINUE (G. Berger)..... Page 577

POLYMERISATION EN PLASMA REACTIF (Y. Segui)..... Page 579

DISPOSITIFS EXPERIMENTAUX.

MECANISMES ELEMENTAIRES DE POLYMERISATION.

CARACTERISTIQUES DES PRODUITS FORMES.

APPLICATION DES METHODES DE FLUORESCENCE INDUITE PAR LASER A L'ETUDE DES GAZ IONISES (A. Catherinot)..... Page 583

I. INTRODUCTION.

II. RAPPELS THEORIQUES.

III. DIAGNOSTICS "IN SITU" D'UN GAZ IONISE.

IV. ETUDE DES PROCESSUS ELEMENTAIRES.

CONCLUSION.

**EFFETS D'IRRADIATION PAR LASERS PULSES SUR LA STRUCTURE ATOMIQUE ET
LES PROPRIETES PHYSIQUES DU Si ET DE L'AsGa (J. Siejka)..... Page 587**

INTERACTION LASER-SEMICONDUCTEUR.

Transfert au réseau de l'énergie des porteurs libres.

Choix du modèle.

RESOLUTION DE L'EQUATION DE PROPAGATION DE LA CHALEUR POUR LE Si.

INCORPORATION DES IMPURETES.