

№3-Дәріс.

**Плазмалық технологиялардың
физикалық негіздері**

Плазма түсінігі

- Плазма жоғары температуралы(иондалу дәрежесі 100%) және төмен температуралы(иондалу дәрежесі 1%) болып бөлінеді. Технологияда электр доғалы, жоғары жиілікті, аса жоғары жиілікті разрядтардың төменгі температуралы плазмалары қолданылады.
 - Плазмохимиялық технологияға тәң жаңа эффектер: плазманың электр өткізгіштігі, оның электромагниттік өріске сезімталдығы, тепе-теңсіздігі, жоғары энергетикалық эффективтілікпен химиялық айналдыруды жүзеге асыратын электромагниттік сәулелену, реакцияның селективтілігін арттыру, өнімнің бірқалыпты шығуына қол жеткізу, бірегей қасиеттерге ие заттар мен материалдар алу. Бірлік көлеміндегі жоғары температуралы және жоғары концентрациялы энергия дәстүрлі физика-химиялық айналдыруларды қарқындатуға септігін тигізеді.
-



- Плазманы технологиялық мақсаттарда қолдануды алғашқылардың бірі болып Д.Кавендиш пен Дж. Пристли болды. Олар электр доғасында ауадан монооксид азотының синтезін қолданды. Кейінірек, XIX ғасырда бұл әдіс өндірістік масштабта жүзеге асырылды., ал XX ғасырдың 30-жылдарында Германияда ацетиленді алу мақсатында табиғи газ электрокрекингі құрылды. Плазмохимиялық технологияларды құру үшін 60-жылдарда қарқынды жұмыстар жүргізілді. Бұл кезде электр доғалы, жоғары жиілікті, аса жоғары жиілікті разрядтарда плазманы алу үшін сенімді технологиялық құрылғылар плазмотрондар жасалды. Қазіргі кезде бұл әдістер арқылы газ тәрізді және конденсирленген заттар алу, кенді минералдар мен концентраттарды ашу, қалдықтарды жарату химия өнеркәсібінде, қара және түсті металлургияда, тау-кен өндірісінде кеңінен қолданылады. Материалдың құрамын өндеу, полимерлеу, қаптау плазмохимиялық технологияны жоғары қарқынмен дамытуда. Бұлар радиоэлектроникада, машина жасауда, аспаптық өнеркәсіптікте кеңінен қолданылады.



- Плазманың түріне байланысты квази тепе-теңді және тепе-теңсіз процесстер болады. Квази тепе-теңді процесстер плазма компоненттерінің(электрон, ион, бейтарап бөлшек) температурасының бірдей болуымен сипатталады. Тепе-теңсіз процесстер плазма компоненттерінің температураларында алшақтық болуымен сипатталады. Мысалы, электрон температурасы ауыр бөлшектер температурасынан әлдеқайда жоғары болуы мүмкін.
- Әсер ететін жүйенің фазалық құрамына, өңделетін заттар мен өнімге байланысты плазмохимиялық процесстер гомогенді және гетерогенді болып бөлінеді. Плазма(газ) кез-келген плазмохимиялық жүйенің міндетті компоненті болғандықтан, шикізат пен өнім реакциялары бір фазада-газдық фазада болғанда гомогенді жүйе орнайды. Гетерогенді процесс шикізат немесе өнім конденсирленген фазада-сұйық немесе қаттыда болғанда орнайды.



- Плазмохимиялық процесс жекелеген технологиялық сатылардан тұрады: плазма пайда болатын газды дайындау, реагенттерді дайындау: плазманы және реагентті генерациялау, реагенттерді плазмамен қыздыру, реагенттердің физикалық және химиялық айналуы, плазмохимиялық синтезді өнімдердің бөлініп шығуы, жанама өнімдердің бейтараптандырылуы. Барлық сатылар өзара байланыста қарастырылғанда оңтайлы технологиялық процесс орындалады.
- **Плазманы алу**
- **Плазманы алу принципі.** Төмен температуралы плазманы алу электрлік энергияның газдың жылулық энергияға түрленуіне негізделеді. Плазма пайда болатын газды қыздырғанда (410) К екі атомды газда диссоциация болады. Диссоциацияны болдыру үшін газға 360-тан 880 кДж/моль аралығында энергия беру керек. Газды (1030) К аралығында қыздырғанда 920-дан 2400 кДж/моль-ге дейін энергия шығынын қажет ететін ионизация пайда болады. Газдардың көбісі $T > K$ кезінде иондалу дәрежесі электр тогының өтуіне жеткілікті болғанда плазмалық жағдайға келеді.



- Төмен температуралы плазманы генерациялау үшін тұрақты және айнымалы токтағы доғалық разряд, сондай-ақ жоғары жиілікті разряд кеңінен қолданылады. Салыстырмалы түрде тұрақты токтағы солғын разряд және барьерлік разряд сирек қолданылады. Импульстік разряд көмегімен, соққылы трубалар немесе оптикалық кванттық генераторлардың көмегімен плазма алу әдістері, мұндай плазма аз уақытқа ғана пайда болатындықтан (10^{-5} -нен 10^{-1} с дейін), технологиялық процесстерді ұйымдастыруға ыңғайсыз болып табылады.
- Доғалық разряд басқаларынан салыстырмалы жоғары токпен (ондаған және жүздеген ампер) және салыстырмалы төмен кернеумен (ондаған және жүздеген вольт) ерекшеленеді. Разряд атмосфералық қысымда да, жоғарылатылған қысымда да пайда бола алады.
- Электродтардың тұрақты ауданында токтың өсуімен бірге белгілі бір мәнге дейін ток тығыздығы да өседі, одан кейін тұрақты ток тығыздығында доға қимасы өседі.



□ Егер доғаның көлденең еркін дамуын шектейтін болсақ, мысалы, электродтар өлшемін өзгертіп, доғаны газ немесе сұйықтық ағынымен үрлеп, оны тар арнаға орналастырсақ, онда доғаның ток тығыздығын арттыруға болады, сәйкесінше температурасын арттыруға болады. Мұндай доға сығылған деп аталады. Сығылған доға температурасы келесі теңдікпен анықталады

$$\square T = 1040U_i + 371^{8/19} / R^{12/19},$$

□ мұндағы R – бағана радиусы мм. өлшемінде.

□ Катод және анод маңындағы бөлінген қуат негізінен электродтарға беріледі және жылулық шығындар болып табылады. Доғалық разряд энергиясын қолдану дәрежесін көтеру үшін плазмахимиялық процесстерде доға кернеуін жоғарылатуға және тогын төмендетуге ұмтылады. Сонымен бірге электродтарға берілетін доға қуатының бөлігі азаяды, сонымен қатар электродтардың тозуы азаяды.

- Егер электрлік разряд айнымалы токты тұтынатын болса, онда ол периодты түрде жанып өшіп отырады. Кезекті разрядтар арасындағы үзілістер кезінде газдың деионизациясы процесі жүреді де, плазма жоғалады. Жиіліктің өсуімен екі разряд арасындағы үзіліс азаяды да, деионизация уақытымен өлшенетін болады (10^{-3} - 10^{-5} с). Жиілікті ары қарай жоғарылатса, разряд өшіп үлгермейді. Мұндай разряд жоғары жиілікті деп аталады. Жоғары жиілікті разрядқа ауысу ондаған килогерцтен бірнеше мегагерцке дейінгі аралықта жүзеге асады. Жоғары жиілікті индукциялық (ЖЖИ) және жоғары жиілікті сыйымдылықты (ЖЖС) разрядтар маңызды болып табылады.
- Н-типті ЖЖИ-разряд жоғары жиілікті магнит өрісінде пайда болады. Разрядтың пайда болу механизмі келесідей. Магнит өрісіндегі электронның траекториясы ларморлық шеңберлер бойынша айнала бастайды. Қисық сызықты траектория бойынша айнымалы магнит өрісі әсерімен қозғала отырып, ол энергиясы газ ионизациясына жеткілікті болғанға дейін үдей береді. Тұрақты плазмалық түзіліс пайда болады.

- Е-типті ЖЖС-разрядта электр өрісі әсерімен салыстырмалы жеңіл электрондар өріс бойымен тербелмелі қозғалысқа келеді, ал ауыр иондар мен нейтрал бөлшектер тербелмелі қозғалысқа қатыспайды деуге болады. Электр өрісіндегі үдетілген электрондар газ бөлшектерімен соқтығысып оны иондайды. Электродтарға түсірілген тез ауыспалы потенциалдар айырымының амплитудасының белгілі бір мәнінде разряд пайда болады.
- Е-типті разрядтар бірнеше ватт қуаттың өзінде-ақ қоздырылуы мүмкін. Н-типті разрядты қоздыру үшін, индукциясы аз магнит өрісі электрондардың үдеуін қажет деңгейде қамтамасыз етпейтіндіктен, бірнеше киловатт қуат керек.
- Жиілікті одан ары жоғарылату кезінде 1-3 ГГц-ке дейін плазма қасиеттерінің өзгерісі байқалады: ол тепе-теңсіздік плазмаға айналады. 1-3 ГГц жиілікте пайда болатын разряд аса жоғары жиілікті (АЖЖ) деп аталады. Тепе-теңсіздік эффектісі АЖЖ-разрядтағы электрондар мен иондар температурасы айырмашылығы тұрақты болып қалатынында негізделген және атмосфералық қысымда бірнеше мың градусты құрауы мүмкін.




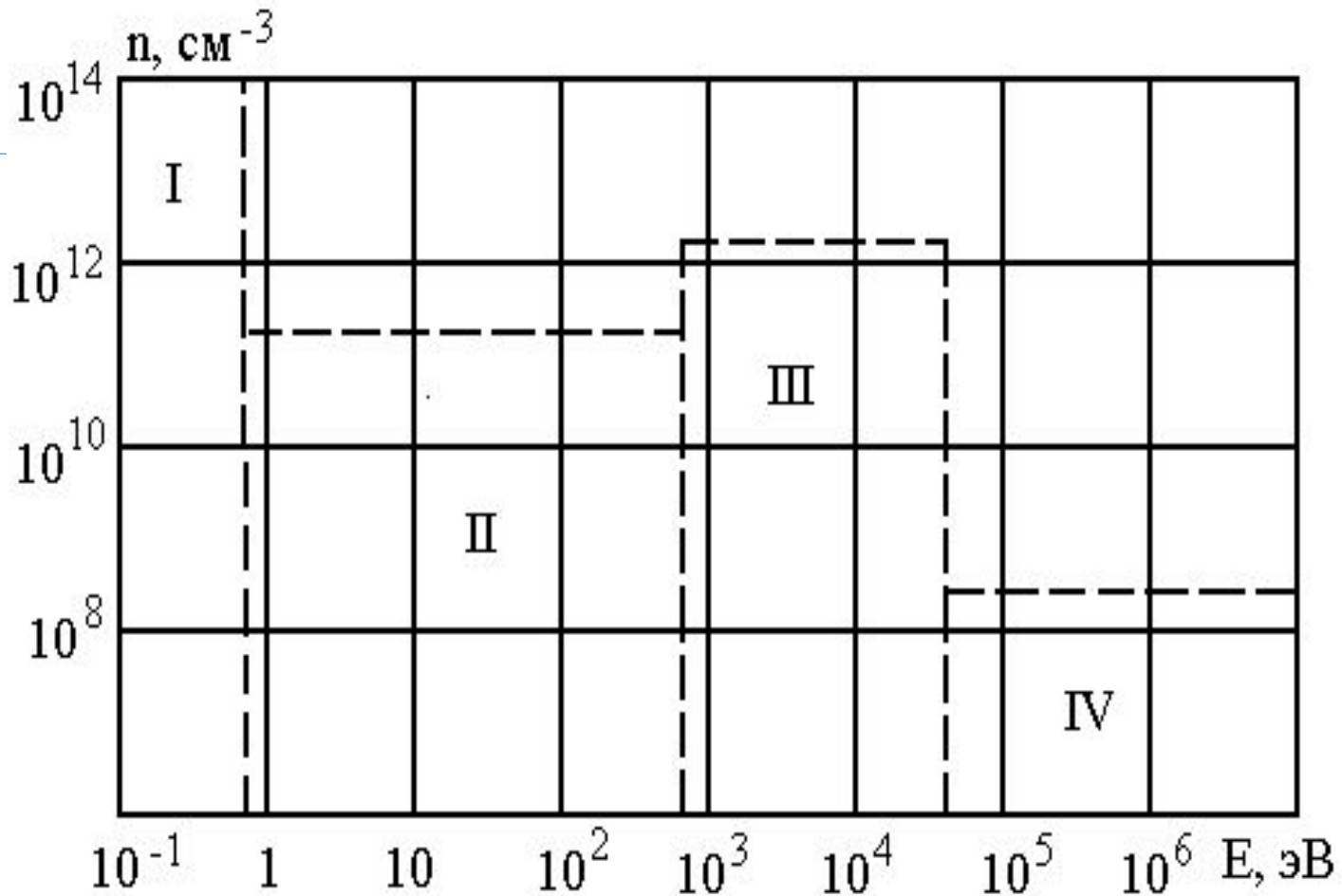
- Төмен иондық энергияларда өзара әрекеттесу тек бетіндегі сорбциясынан және қатты бөлшектердің бетіндегі көрінісінде және химиялық реакциялардың бетінде пайда болады. Металлизациялаудың технологиялық процестерін жүзеге асырудың көзқарасы 100 эВ-тан 5 КэВ-қа дейінгі орташа ион энергиясындағы қызықты болып табылады, өйткені жоғары энергиялық деңгейде бүрку процесінде, ион имплантация иондарының терең енуімен және ақаулардың қалыптасуының көлемдік ақауымен. Ақауларды қалыптастыру процесі шамамен 50 эВ энергиясынан басталып, шашырау үрдісін жүргізеді. Иондық бомбалау кезінде сорбция және десорбция процесі бір уақытта жүреді.
- Динамикалық қанықтыру деңгейі материалды қолданған кезде бетінің құрылымы мен сапасына, сондай-ақ субстрат бетінің құрылымына және сапасына әсер етеді. Ионды бомбалау немесе конустардың пайда болуына әсер ететін қатты беттің топографиясын өзгертуге әкеледі.

- Соқтығысу процесінің түпкілікті нәтижесінде бетпен соқтығысқан ион үлкен таңдау жасайды.
- Әрбір процестің ықтималдығы күрделі түрде тәуелді:
 - · ионның қасиеттерінен (заряд мөлшері масса)
 - · қозғалыс жылдамдығы және бетпен соқтығысу бұрышынан
 - · сондай-ақ құрамынан, температурасынан, физика-энергетикалық қасиеттерінен, беткі қабатының топографиялық қасиеттерінен,
- -мұның бәрі іске асырылуы мүмкін ықтимал плазмалық технологиялардың ауқымын кеңейтеді.



Вакуумдағы қорғаныш кабаттарын жіктеу.

- Вакуум технологиясының әдістерін классификациялауды энергияның Еі өзара әрекеттесуі арқылы процесті сипаттайтын негізгі параметрлерді және әр түрлі технологиялық үрдістердің орындылығын анықтайтын белгілі бір физикалық әсерге сәйкес келетін жедел иондардың ағымдағы тығыздығын қарастырайық. Диаграмма қатты бөлшектердің соқтығыссыз ағындары бетімен өзара әрекеттесу үшін жасалған. Жоғарыдан бастап, параметрлік алаңнан диаграммаға дейін, тиісті рұқсат етілген қуат ағынының шамасы $q = 105 \text{ Вт/см}^2$. ол әлі де мәжбүрлі салқындату арқылы жойылуы мүмкін.
-
- 



- 2сурет. қатты денелердің соқтығыссыз ағындары бетінің өзара әрекеттесу диаграммасы



- Диаграммадағы I аймақ ($E < 1 \text{ эВ}$) табиғаттағы жылулық процестерге сай келеді (химия және металлургияның дәстүрлі әдістері, бұл өз кезегінде төмен температуралы плазмалық әдістері қамтиды). Вакуумды-плазмалық технология үшін жабу аймағы конденсация мен вакуумды булануына алып келеді.
- II аймақ ($E \sim 10^0 - 10^3 \text{ эВ}$) сай келеді конденсация эффектісі үдетілген ион ағыны болып табылады. Бұл иондық төмендеу (кейде оны конденсациялық иондық атқылау деп атайды КИА әдісі)
- III аймақ $E = 10^3 - 10^4 \text{ эВ}$ болғанда тозаңдану аймағы ұлғаяды, нәтижесінде тозаң кристалдық торлардың түбіне енеді. Бұл энергия аймағы иондық қоспа енгізу катодты шашырау, ионды тазалау процестеріне сай келеді.
- IV аймақ $E > 5 \cdot 10^4$ ($500 \cdot 10^3 \text{ эВ}$ дейін). Бұл процесс иондық енгізу немесе иондарды имплантациялау болып табылады.

- Бұл шекаралар жеткілікті түрде шартты болып табылады, өйткені, тәжірибе жүзінде барлық облыстарды шөгінді, тозаңдану, енгізу және диффузия эффектілері байқалады, бірақ анықталушылар көрсетілген процесс болып табылады.
- Катодтық тозаңдану және иондық шөгінді әдістері плазмалық және иондық сәулелендіру деп 2-ге бөлінеді.
- Біріншіден, бұл жерде міндетті түрде плазманың иондары қолданылады, олар атмосфералық қысым - 10^{-3} - 10^{-1} Па кезінде электр разрядында пайда болған кезде болады.
- Екіншіден, жоғары вакуумды аймаққа бағытталған және иондық қорек көзінен алынған иондық ағын қолданылады.

