XI. FIATAL MŰSZAKIAK TUDOMÁNYOS ÜLÉSSZAKA

Kolozsvár, 2006. március 24-25.

A LINEÁRIS NONIZOTERM PLAZMAREAKTOR FIZIKAI FOLYAMATAI

Nemes Zoltán, Zsakó Zoltán
Dr.Filep Emőd, Dr.Kenéz Lajos

Abstract

The linear nonisoterm plasma reactor is a tool which has many usages in laboratories as well as in industrial surface treating. It is used in a wide range for plasma nitriding, for parts made from steel or other metal like materials, but it can be used for dissociation of boron and titanium compounds. This is the base of a technology that has endless usages in every aspect of life.

The purpose of this composition as the title shows is the study of the physical processes and beside this is the numerical study of processes in a reactor in our university, like the gas output, pressure balance, continuous current gas discharge and the cathodic vaporization.

Összefoglalás

A lineáris nonizoterm plazmareaktor egy laboratóriumban és iparban felület kezelésre alkalmazott eszköz. Széles körben alkalmazzák plazmanitridálásra, acélból vagy egyéb ötvözetekből készült alkatrészek felületének keményítésére felületi ötvözés útján, de használható metán, ammónia vagy bor és titán vegyületek bontására is. Egy olyan új technológia alapeszköze, amely előtt kimeríthetetlen lehetőségek állnak.

A dolgozat célja az általános fizikai folyamatok tanulmányozása mellett az egyetem laboratóriumában építés alatt álló reaktor folyamatainak számszerű tanulmányozása mint a gázhozam, nyomásegyensúly, egyenáramú gázkisülés és a katódporlasztás.

Bevezető

Első lépésben a gázhozam és nyomásegyensúly, az egyenáramú gázkisülés és a katódporlasztás kérdését tárgyaljuk. A berendezés tömbvázlatát az 1. ábra mutatja.

1. ábra. Tömbvázlat

1. NH₃ tartály, 2. Csap, 3. Kemence, 4. Tüszelep, 5. Retorta, 6. Ablak, 7. Katód, 8. Alkatrész, 9. Hőelem, 10. Hőmérséklet kijelzés, 11. Egyenirányító, 12. Magasfeszültségű transzformátor, 13. Autotranszformátor, 14. Védőellenállás, 15. Csap, 16. Szivattyú, 17. Nyomástraduktor, 18. Nyomás kijelzés.

Műszaki szempontból a berendezés egyik bonyolult része a 7. katód, egy nagyfeszültségű áramátvezetés légnyomásról vákumra 500 – 800 °C hőmérséklet mellett. A katód szerkezetileg biztosítja a hőmérsékletmérést a próbatestben. A katód magas hőmérsékletű vége biztosítja az elektromos szigetelést a gázkisülés jelenlétében fellépő katódporlasztás esetében is.

2. ábra. A katód szerkezete

Nyomásegyensúly a lineáris plazmareaktorban:

A tanulmányozott rendszer esetében a rendszerbe belépő nyomás az atmoszférikus nyomás. $p_0 = 10^5 \text{ N/m}^2$. A szivattyú geometriai hozama $Q_v = 5 \text{ m}^3/\text{h}$. A belépő térfogati hozamot a be és kilépő gázra vonatkozó termikus állapotegyenletekből kaphatjuk meg.

$$p_0 \cdot V_0 = p \cdot V \Rightarrow \frac{p_0 \cdot V_0}{t} = \frac{p \cdot V}{t}.$$

p_0 a belépő gáz nyomása, V_0 a belépő gáz térfogata, míg p a kilépő gáz nyomása, V a kilépő gáz térfogata. Az egyensúly feltétele az, hogy a két hozam egyenlő legyen.

A be és kilépő térfogati hozamok:

$$Q_{v_0} = \frac{V_0}{t}, \quad Q_v = \frac{V}{t}.$$

Ezt behelyettesítve a következő eredményhez jutunk: $Q_{v_0} = \frac{p \cdot Q_v}{p_0}$.

$Q_v = \frac{100 \text{ Pa} \cdot \frac{5}{3600}}{10^5 \text{ Pa}} \approx 1.38 \cdot 10^{-6} \text{ m}^3/\text{s}$, ha $p = 100 \text{ Pa}$. Az itt megadott értékből bármilyen esetre megbecsülhetjük a gázhozamot.

A bemeneti hozamot egy kapilárison keresztül szabályozzuk. A kapiláris méreteinek kiszámítására a Hagen Poisseuille képletet használjuk.

$$Q_v = \frac{p_1 - p_2}{l} \cdot \frac{\pi}{8\eta} \cdot R^4.$$

Ebben a képletben $p_1 - p_2$ a kapiláris végei közti nyomáskülönbség, l – a kapiláris hossza, η - a gáz viszkozitási együtthatója és R a kapiláris sugara.

A rendszer tömbvázlata (3.ábra):

1. Tűszelep, 2. Retorta, 3. Szivattyú. A rajzban szereplő 1. Tűszelepet helyettesítjük a kapilárisal

3.ábra. Gázellátás tömbvázlata

Lavina Kisülés, egyenáramú gázkisülés

Az irodalom alapján megvizsgáltuk a lavina kisülés és az egyenáramú gázkisülés fizikai folyamatait. A vizsgálat eredményeit egy külön dolgozat tartalmazza. A továbbiakban bemutatjuk a ködfénykisülésnek azt a formáját, amely a berendezésben megjelenik.

A ködfénykisülés

A lineáris plazmareaktor jellemző működési állapota a **ködfénykisülés**, másnéven **abnormális lumineszcens gázkisülés (glow discharge, glimmentladung)** erősáramú változata.

Ha a kisülési közt egy mérhető belsőellenállású generátorról tápláljuk, a feszültséget növelve egy kritikus értéknél a kisülés begyúl, a katód közelében megjelenik egy jellemző fényjelenség, a **negatív fény**, úgy, hogy a katódfelület kis részét borítja. Ha az áramot növeljük, a kisülési feszültség nem nő, de állandó áramsűrűség mellett a katódnak egyre nagyobb felületét borítja a negatív fény. Tovább növelve az áramot, a kisülés az egész katód felületét beborítja, ettől kezdve az áramnövelés feszültségnövelést von maga után, a voltamper karakterisztika pozitív. A jelentős feszültségnövelésnek korlátot szab a kisülés instabilitása, minek folytán az erősáramú ködfénykisülés átbillenhet elektromos ívbe (4.ábra)(Edenhofer).

4.ábra. Különböző kisülések voltamper-karakterisztikája

Az erősáramú ködfénykisülésben számos, egymástól jól elhatárolható, különböző fényességű tartományt találunk. A kisülés szerkezetét vázlatosan a 5.ábra mutatja, a potenciál, a tértöltés és az árameloszlással együtt (Báddarau).

5.ábra. Ködfénykisülés szerkezete, potenciál, tértöltés és árameloszlása a katód-anód térben

1. Az **Aston-féle sötét tér** a katód felületén egy tízedmiliméter vastagságú, teljesen sötét, fénymentes réteg. A katódból kilépő elektronok ezen a szakaszon gyorsulnak, de energiájuk nem éri el a gázatomok gerjesztési energiáját.
2. **Első katódfény:** a katód felőli oldala jól elhatárolt, a külső felülete kevésbé. A fényjelenség két okból gyenge. Egyrészt az elektronok eléri a gerjesztési energiát, majd az anód felé haladva hamarosan meg is haladják, így a gerjesztési valószínűség lecsökken. Másrészt az elektronlavina még a kezdetén van, az elektronok száma kicsi, a fény gyenge, mert kevés elektron vesz részt a folyamatban.
3. **Sötét katódtér, Hittorf- vagy Crookes-féle sötét tér.** Milliméter nagyságrendű, gyenge fénykibocsátó képességű tartomány. Elsősorban azért látjuk sötétnek, mert a tőle jobbra helyezkedő következő tartomány erősen fényes. Ebben a részben az elektronlavina tovább fejlődik, az elektromos tér erős, az elektronáram az anód felé, az ionáram a katód felé nő.
4. **Negatív fény (glow, glimmlight):** A ködfénykisülés legfényesebb tartománya, a katód felőli oldala jól elhatárolt, az anód felőli oldala diffúz. Ez a réteg az erősáramú kisülésben centiméter nagyságrendű, színe a térben lévő gázra jellemző. A fény a pozitív ionok és a kisenergiájú elektronok rekombinációjából származik. Ebben a térrészben a pozitív és negatív tértöltés azonos értékű, teljesül a plazmára jellemző kvazineutralitás feltétele. Ugyanakkor jelentős az anód felé folyó elektronáram értéke, míg a katód felé folyó pozitív ionáram kicsi. A negatív fény jól elhatárolt katód felőli oldalán kilépő pozitív ionok az erős elektromos térben gyorsulva esnek a katód felületére és elektronkibocsátást okoznak. A negatív fényből a katód felületére eső nagyenergiájú fotonok szintén okozhatnak elektronkibocsátást.
5. **Faraday-féle sötét tér:** Gyenge luminozitású tartomány, amelyben a potenciál állandó, az elektromos tér gyenge, állandó ion és elektronáram mellett. Az erősáramú kisülésben ez a tartomány akár az anódig terjedhet.
6. **Pozitív fényoszlop:** Csak a nagyméretű kisülési térben jelenik meg, ha elég hely van a képződéséhez. Ez egy „híg” plazma, a kisugárzott fény a gázra jellemző.
7. **Sötét anódtér:** egyik oldalról a pozitív fényoszlop, másik oldalról az anódfény határolja. Kiterjedése kicsi, általában elhanyagolható.

Anódfény: Az anód felületére lokalizált fényjelenség. Ha az anód felülete nagyobb mint a katódfelület, az anódfény pettyek vagy foltok formájában jelentkezik, sokszor az anódfelület mechanikai sérüléseire, karcolásokra, megmunkálási nyomokra lokalizálva. Az anódfény különösen erős és nagy kiterjedésű elektronegatív gázokban.

Következtetések:

A lavina kisülés, a ködfény kisülés szerkezete és voltamper karakterisztikája valamint a katódporlasztás, azok a tényezők, melyeket a plazmareaktorban zajló folyamatok vizsgálatánál figyelembe kell vennünk. Ezeket a folyamatokat az adott alkalmazás függvényében újratárgyaljuk. Első célpontunk a plazmanitridálás során a katódporlasztás végtermékeként lerakódó vasnitrid réteg szerkezetének, tulajdonságainak és keletkezési mechanizmusának vizsgálata.

A **SAPIENTIA-EMTE**, Marosvásárhely, Műszaki és Humántudományok Karának „LINEÁRIS NONIZOTERM PLAZMAREAKTOR” kutatási témáját a **KUTATÁSI PROGRAMOK INTÉZETE** kutatási ösztöndíjjal támogatja.

A marosvásárhelyi **PLAZMATERM** cég a berendezésfejlesztést anyagi eszközökkel támogatja, mint vákuumszivattyú, retorta, transzformátor, nyomásmérő egység és megmunkálási problémák megoldása.

A kutatócsoport tagjai ezúton köszönetüket fejezik ki mindkét intézménynek.

Irodalom:

SIMONYI Károly *Elektronfizika*. Budapest, Tankönyvkiadó, 1987

EDENHOFER, B. *Physikalische und metallkundliche Vorgänge beim Nitrieren im Plasma einer Glimmentladung*. Harterei-Technische Mitteilungen, 1974

BĂDĂRĂU-POPESCU *Desc.electr.in gaze*. Ed. Did. Ped., Bucuresti, 1968

Nemes Zoltán, Zsakó Zoltán egyetemi hallgatók

Dr.Filep Emőd, előadótanár, **Dr.Kenéz Lajos**, adjunktus

Sapientia EMTE Műszaki és Humántudományok kar, Villamosmérnöki tanszék,.

Cim: Egyetemi Campus: Marosvásárhely/Koronka, Segesvári út 1 C.

Telefon: +40 – 256 – 208170, fax: - 206211, e-mail: office@ms.sapientia.ro