전기전자재료학회지 제4권 제1호 1991년 3월

기체방전에서 불꽃파괴전압에 미치는 전극표면상태의 영향

Influences of the Electrode Surface States on the Spark Voltage in Gas Discharges.

백용현* • 이복희* • 전덕규* • 조성욱** • 서국철***
(Yong-Hyun Paek • Bok-Hee Lee • Duk-Kyu Jeon • Sung-Wook Cho • Kook-Chul Seo)

요 약

본 논문은 전극의 표면상태가 기체방전의 電離成長과 특성에 미치는 영향에 관한 것으로 질소-산소 혼합가스중의 순수전극과 오손전극의 상태에서 전압-전류 특성과 글로우방전 개시전압을 측정하였다.

순수전극의 경우, 압력과 전극간 거리의 곱이 8(Torr-cm)이하이고 산소의 혼입량이 0.005(%)이하일 때의 전리성장은 암류로부터 安定타운젠트방전을 거쳐 글로우방전으로 이행되었으며, 글로우방전 개시전압은 거의 일정하였다.

동일의 전극표면상태에서 조차 放電開始電壓은 산소혼입비에 의존하며, 방전횟수에 따른 이의 변화는 산소의 함량이 0.1(%)부근에서 크게 나타났다. 방전횟수와 산소혼입량의 증가에 따른 방전개시전압의 상승은 주로 전극표면에서의 산소吸着層의 형성과 附着作用에 의한 NO^-, O_2^-, NO_2^-, O_3^-와 같은 負이온의 생성에 기인된 것으로 여겨진다.

ABSTRACTS

This paper deals with the spatial growth of current and gas discharge characteristics depending on the electrode surface states, the voltage-current curves and the starting voltages of discharge for both the clean electrode and the contaminated electrode are investigated in nitrogen-oxygen mixtures over the range from dark current to initiation of glow discharge.

When a pressure times gap distance is less than 8(Torr-cm) and a mixed proportion of oxygen is less than 0.005(%), in the case of pure electrode, the spatial growth of current is shifted from dark current to glow discharge by way of the stable Townsend discharge, the variation of starting voltage with discharge times is a little.

The starting voltage of discharge even with the same electrode surface state depends exceedingly on a mixed proportion of oxygen and its variation with the discharge times is pronounced around 0.1 percent oxygen. It is pointed out that the increase starting voltage of discharge with discharge times and oxygen content is caused mainly by both the formation of absorption layer and the attachment processes that produce anions such as NO^-, O_2^-, NO_2^-, and O_3^-.

* 인하대학교 전기공학과
** 인하공업전문대학 전기과
*** 광운대학교 전기공학과

1. 서 론

기체방전현상은 전자, 이온 등의 하전입자와 기체분자 사이의 충돌에 의한 電離, 附着, 擴散, 再結合, 勵起 등 에너지교환 작용과 이들 입자의 전극에서의 충돌에 의한 2차 전리작용에 의하여 형성되므로 진전과정도 대단히 복잡하고 다양하다. 대체로 기체의 종류, 압력, 전극형상, 표면상태, 전극간 거리, 인가전압의 파형과 극성 등에 의하여 특징지어진다.

전리기체 또는 기체방전현상에 대한 이론은 물리학의 기초과정과 핵융합플라즈마의 연구뿐만 아니라 각종 방전등, 기체레이저, 기중차단기, 기체절연기기 등 응용기기의 설계나 동작특성의 개선, 절연내력의 향상에 관한 미시적 관찰은 대단히 중요하므로 최근 이에 관한 실험적 또는 이론적 연구가 많이 이루어져 왔다.[1,2]

전극의 표면상태에 기인되는 2차전리작용의 역할은 방전진전과정에 대단히 중요하며, 방전등과 같은 활성적 방전특성을 이용하는 능동적 응용과 電離成長을 억제하여 절연내력을 향상시키는 수동적 응용연구에 기초가 된다.

따라서 본 연구에서는 전극의 표면상태가 기체방전의 전리성장 과정과 특성에 미치는 영향을 분석하기 위하여 질소-산소혼합가스 중에서 순수전극과 산소로 처리된 오손전극 상태에서의 전압-전류특성, 글로우방전 개시전압과 방전회수에 따른 經時特性을 측정하였으며, 이의 결과에 대하여 산소의 혼입량과 吸着現象이 방전특성에 미치는 영향에 대하여 중점적으로 검토하였다.

2. 실험장치 및 방법

본 연구에 사용한 방전조의 단면도는 그림 1과 같다. 전극의 재질은 니켈이고, 직경이 80(㎜)인 원형으로 주변부분을 만곡시켜 近似로고우스키형으로 만들었다. 또한 음극에서 初期光電子가 방출되도록 자외선을 照射시키기 위하여 陽極의 중앙부에 직경 25(㎜)인 용융석영창을 부착하였다.

전극간 거리는 마이크로메터로 5/100(㎜)의 精度로 연속조절이 가능하며, 전극간

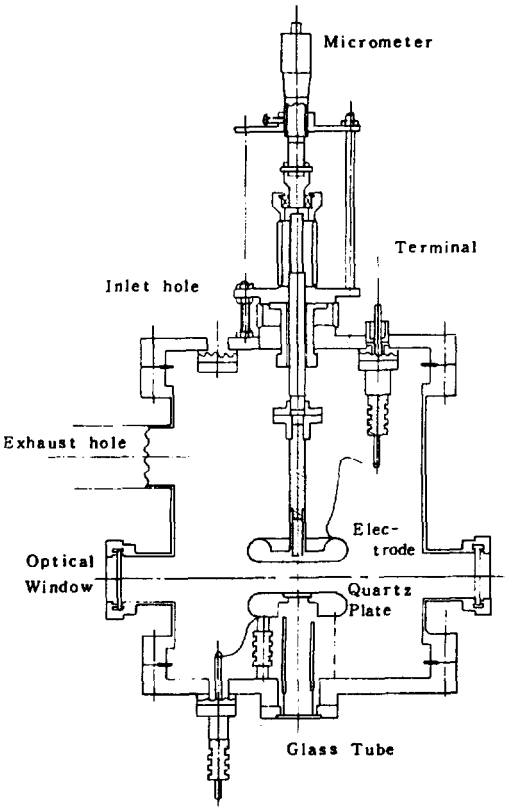

그림 1. 방전조의 단면도

Fig.1. Cross-sectional view of the discharge chamber.

격은 2~12(㎜)의 범위로 조정할 수 있다. 측정회로도는 그림 2와 같으며, 직류안정화 전원장치(Fluke제, 410B)로 전압을 인가하고, 전류는 일렉트로메터(Dakeda Riken, TR-94M)로 전압은 디지탈전압계(Fluke제, 8,600A)로, 각각 측정하였다.

유확산 펌프를 사용한 2단배기계로 방전조를 5×10^{-6}(Torr)의 압력으로 배기시킨 후 시료기체를 주입하여 분압비, Pd 등 소정의 실험조건을 조절하여 방전개시전압, 전압-전류특성 및 경시특성을 측정하였다. 또한 오손전극으로는 1(Torr)의 산소중에서 1시간 동안 60(Hz), 1,200(V)의 전압으로 글로우방전을 일으켜 전극의 표면에 酸化層이 형성되도록 하여 사용하였다.

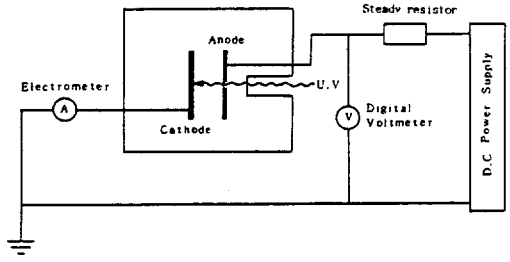

그림 2. 측정회로

Fig.2. Measuring circuit.

3. 결과 및 고찰

3-1 진공특성

자외선을 음극에 照射시켜 안정한 상태에서 방전특성 실험을 수행하여야 하므로 초기전자공급의 안정성과 진공중에서 방전조내의 전극배치 특성을 파악하기 위하여 측정한 전압-전류 특성은 그림 3과 같다.

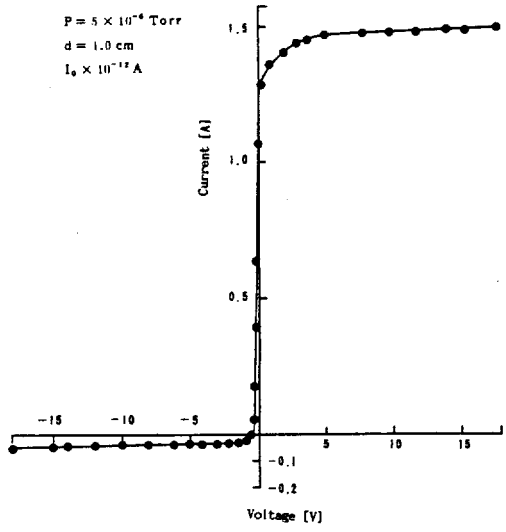

그림 3. 진공중에서의 전압-전류 특성

Fig.3. Voltage-current characteristic in vacuum.

5×10^{-6}(Torr)의 진공상태에서 자외선 조사에 의하여 흐르는 초기광전자 전류는 전극간 전압이 약 5(V)이상에서 안정상태를 유지함을 알 수 있다. 역방향 전압을 인가하였을 때 흐르는 전류는 대단히 미약하며, 이것은 陽極에서의 광전자 방출 또는 광전자의 후방산란에 기인되어 흐르는 전류로 실험결과에 영향을 미치게 될 수도 있다. 본 실험계의 포화상태에서 순방향과 역방향 전류의 비는 약 30:1로 초기광전자의 불안정에 의한 오차는 거의 없을 것으로 예상된다.

3-2 전압-전류특성

질소가스중에서 압력과 전극간 거리의 곱인 Pd를 파라메터로 하여 측정한 전압-전류 특성은 그림 4와 같다. 순수전극의 경우, Pd가 약 6(Torr-cm)이하에서의 전류성장은

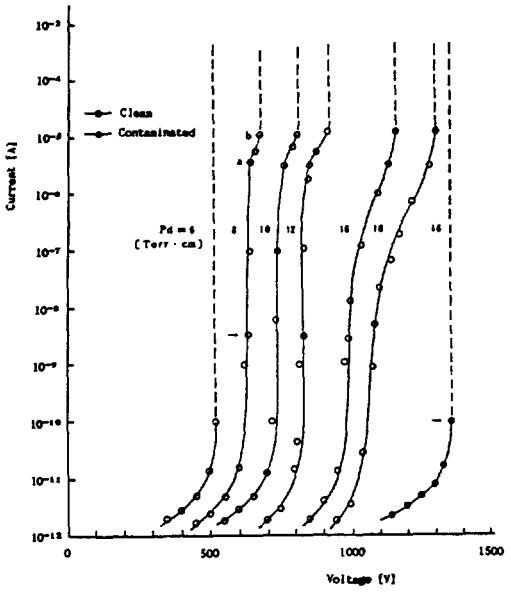

그림 4. 질소가스중에서의 전압-전류 특성

Fig.4. Voltage-current characteristics in nitrogen gas.

암류에서 급격히 증가하여 글로우방전으로 진전된다.

Pd가 8(Torr-cm)이상에서는 正電壓-電流 특성을 나타내는 安定타운젠트방전을 거쳐 글로우방전으로 이행되고, Pd가 커짐에 따라 안전타운젠트방전 영역이 증가하고 있다. 또한 이 영역에서 정특성으로 이행되는 전류는 Pd의 증가와 더불어 감소하는 경향을 가지며, 글로우방전으로의 遷移電流는 Pd의 크기에 관계없이 거의 일정한 값을 나타내고 있다. 오손전극의 경우는 Pd의 크기에 관계없이 안정타운젠트방전은 나타나지 않고 있다.

그림 5는 질소가스에 산소를 0.002~0.008(%)혼입시킨 경우의 전압-전류 특성이다. 오손전극의 경우에는 산소 혼입량에 따라 방전개시전압은 약간 증가하나 전류성장과정은 질소가스중에서의 특성과 같은 경향이다. 그러나 순수전극에서는 산소의 혼입량의 어느 한계를 넘어서는 방전개시전압은 현저히 증가하며 전류성장과정의 형태도 변화하고 있다.

안정타운젠트방전의 正特性은 空間電荷効果에 의하여 2차전리계수가 감소되므로 전리증식이 억제되어 나타나게 된다. 질소가

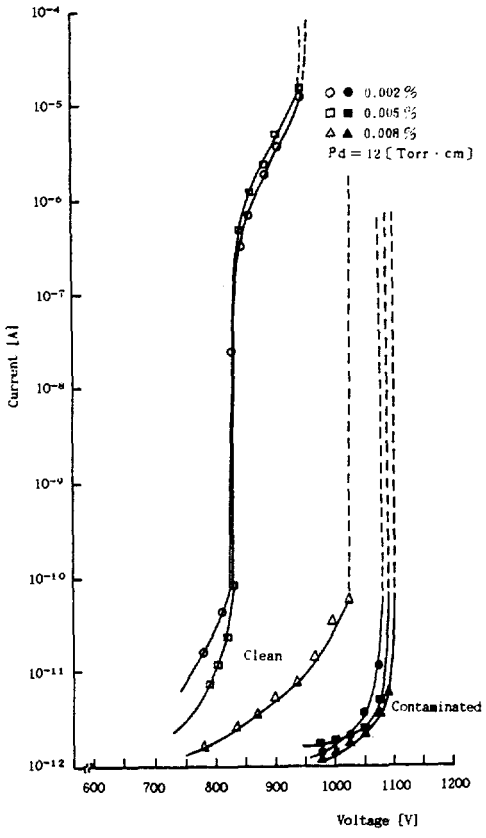

그림 5. 질소-산소 혼합가스중에서의 전압-전류 특성

Fig.5. Voltage-current characteristics in nitrogen-oxygen mixtures.

스중에는 수명이 길고 2차전자방출이 가능한 에너지를 가지는 準安定分子 $N_2(A^3\Sigma_u^+)$가 존재하며, 이 입자는 2차전리작용에 영향을 미치게 된다.[3,4]

2차전리계수중에서 준안정분자에 의한 γ_m은

$$\gamma_m = f_{mk}\alpha_m\eta_m \qquad (1)$$

로 표현되며, 여기서 f_{mk}는 준안정분자의 음극에 도달되는 비율, α_m은 준안정분자의 勵起狀態, η_m은 1개의 준안정분자에 의하여 방출되는 2차전자수이며, f_{mk}와 α_m은 전극의 구조와 형상, 기체의 종류와 압력에 의하여 정하여진다. η_m은 금속표면에 존재하는 가스흡착율에 의존하며, 전극에 산소가 흡착되면 대단히 작은 값을 가지게 된다.

산소가 흡착된 음극표면에 $N_2(A_3\Sigma_u^+)$인 준안정분자가 입사되면 음극에서 전자가 아니라 CN^-이온이 방출하게 된다. 이 負이온은 전리능력이 없으므로 2차전리계수 γ_m은 감소하게 된다.[5,6] 따라서 산소중에서 처리된 오손전극이나 다량의 산소가 혼입된 질소가스중에서 준안정분자의 효과가 없어지므로 안정타운젠트방전은 나타나지 않고, 방전개시전압이 상승되는 것으로 볼 수 있다.

3-3 방전개시전압 특성

Pd=12(Torr-cm)인 상태에서 산소혼입량을 변화시켰을 때 방전개시전압의 변화를 그림 6에 나타내었다. 산소혼입량이 0.01(%)이하인 순수전극에서 방전개시전압이 낮지만 혼입량이 0.01(%)이상에서는 오히려 순수전극의 경우가 방전개시전압이 높아지며, 혼입량이 증가할수록 방전 횟수에 따른 방전개시전압의 변동도 크게 나타났다. 이와 같은 현상은 산소의 혼입량이 증가됨에 따라 附着作用이 일어나게 되어 충돌전리작용이 억제되므로 방전개시전압을 상승하는 것으로 판단된다.

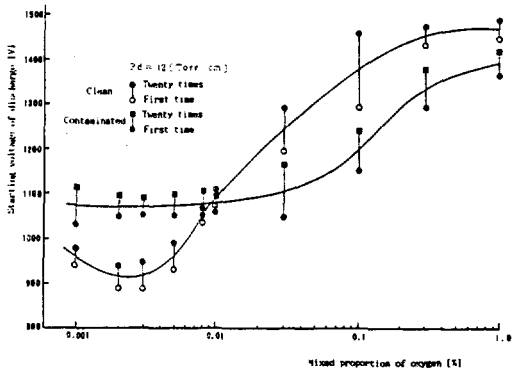

그림 6. 산소혼입량에 따른 방전개시전압의 변화

Fig.6. Variation of the starting voltage of discharge with the mixed proportions of oxygen.

그림 7과 그림 8은 산소를 0.03(%)혼입시켰을 때 전극의 표면상태에 따른 파쉔곡선을 나타낸 것이다. 순수전극에서는 산소의 혼입으로 인하여 방전개시전압이 높아지는 것은 산소의 혼입에 의한 부착작용으로 衝突電離作用이 억제되고, 전극표면에 산소흡착층의 형성으로 2차전리계수도 줄어드는 相乘的 작용에 기인되는 현상이라 여겨진다.

그러나 오손전극의 경우 방전개시전압의 변화는 적은데, 이것은 산소흡착에 의한 영향보다는 부착작용에 의하여 충돌전리작용이 억제되기 때문에 약간 증가하는 것으로 생각된다. 방전회수의 증가에 따라 방전개시전압이 높아지는 것은 전극표면상태의 변화 즉, 방전의 반복과 더불어 전극표면의 일함수의 증가로 인한 것이다.[7]

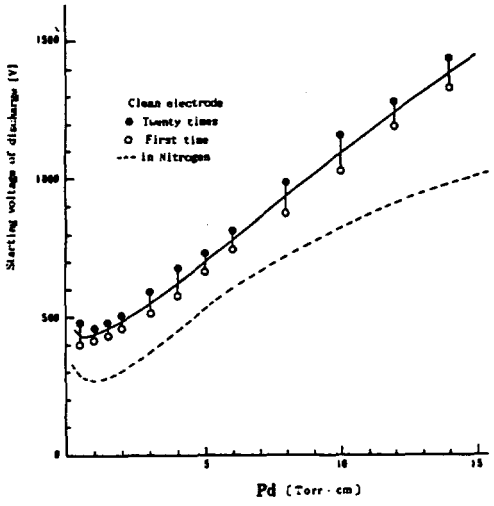

그림 7. 질소-0.03(%)산소 혼합가스중에서의 파쉔곡선

Fig.7. Paschen curves in nitrogen-0.03(%) oxygen mixture.

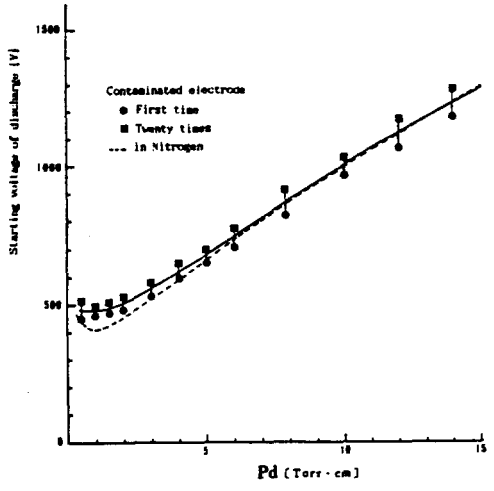

그림 8. 질소-0.03(%)산소 혼합가스중에서의 파쉔곡선

Fig.8. Paschen curves in nitrogen-0.03(%) oxygen mixture.

전극표면에의 산화층 또는 흡착층의 형성은 방전의 進展機構에 지배적으로 영향을 미치게 된다. 전극표면에의 산소흡착에는 電氣雙極子와 電氣4重極子의 상호작용에 의한 물리적 흡착과 공유결합이나 이온결합에 의한 화학흡착으로 분류된다.

H. E. Farnswoth의 電子回折과 광전자 일함수의 측정방법에 의하면, 니켈에 산소가 흡착될 때 초기에는 비결정분자의 형태로 되어 니켈의 불안정한 격자면에 확산되며, 산소의 압력과 접촉시간의 증가에 따라 格子定數가 약간 증가하고 산화물이 형성되기 전에 흡착층이 형성된다고 보고되어 있다.

또한 산소의 압력이 높아지거나 접촉시간이 길어지게 되면 산소는 금속내부로 침투하게 되고, 표면에 가까이 존재하는 일부 산소는 금속과 결합하여 산화층을 형성하게 된다.[8]

負이온이 전극표면에 흡착되는 경우를 고려하면, 그림 9에 나타낸 바와 같이 금속표면에는 正負로 대전된 電氣2重層이 형성된다. 전기2중층이 생기게 되면 이 내부의 전자는 힘을 받게 되어 포텐셜에너지가 변화하게 되며, 산소원자가 負로 대전된 경우에는 일함수가 증가하게 된다. 흡착층이 형성되면[9]

$$\Delta\Phi = \pi AeNd[V] \qquad (2)$$

만큼 포텐셜에너지가 감소되므로 금속표면의 일함수는 $\Delta\Phi$만큼 높아지게 된다. 여기에서 N은 단위면적당의 흡착이온수, d는 전기2중층의 두께, A는 단면적이다. 반대로 正이온이 흡착되면 일함수는 $\Delta\Phi$만큼 낮아지게 되어 전자방출이 오히려 용이할 것이다.

$\Delta\Phi$는 전기2중층의 두께 d와 흡착이온밀도 N에 따라 변화하므로 흡착분자의 크기, 흡착층의 두께, 접촉시간과 압력에 의존하기 때문에 실험조건마다 대단히 복잡한 양상을 나타내게 될 것이다.

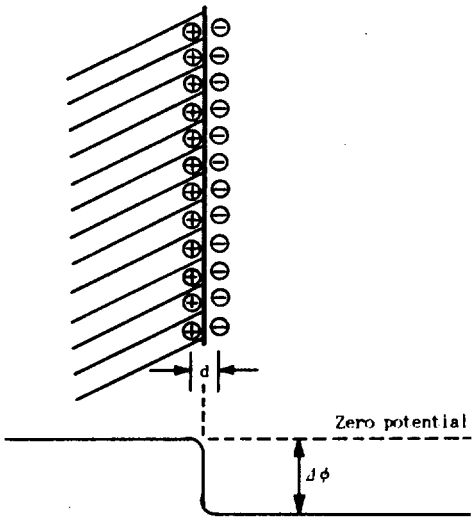

그림 9. 負이온 흡착에 의한 일함수의 변화
Fig.9. Variation of the work function due to anion adsorption.

순수전극의 경우 산소의 혼입량을 증가시켜 감에 따라 불안정한 흡착층의 형성으로 인하여 0.01(%)이상의 산소가 혼입된 경우 산화층이 형성된 오손전극보다 방전개시전압이 높아지고 변동폭도 크게 나타난 것으로 생각된다. 즉, 산소가 혼입된 경우 전극표면에 흡착되는 흡착량, 흡착상태에 따라 특히 2차전리계수 γ가 크게 변화되어 전리성장과정 및 방전개시전압에 큰 영향을 미치는 것으로 판단된다.

3-4 방전개시전압의 경시특성

질소-0.1(%)산소 혼합가스중에서 방전횟수에 따른 방전개시전압의 경시특성은 그림 10과 같다. 방전횟수에 따른 방전개시전압의 변화는 순수전극이 오손전극의 경우보다 대단히 크게 나타났다.

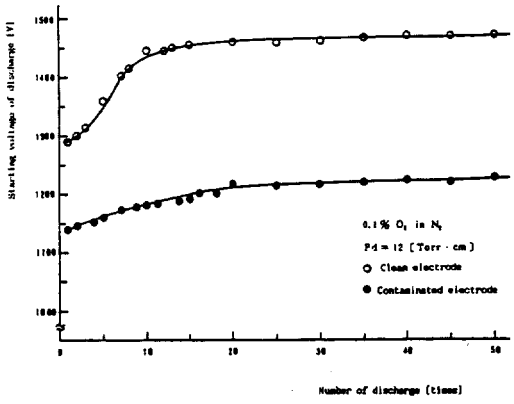

그림 10. 방전 회수에 따른 방전개시전압의 변화
Fig.10. Variation of the starting voltage of discharge with the number of discharge times.

이 변동폭도 그림 6에서와 같이 산소의 혼입량에 따라 다르며, 이 결과는 방전을 반복시킴에 따라 전극표면상태의 변화의 정도와 방전에 의하여 생성되는 화합물과 負이온의 양이 다르기 때문이라고 생각된다.

순수전극의 경우 산소의 혼입으로 인하여 방전을 반복시킴에 따라 전극표면의 일함수가 산소의 부착작용에 의하여 생성되는 負이온의 흡착으로 증가하게 되며, 산소와 질소가스가 결합하여 NO나 NO_2등의 化合物과 NO^-, O_2^-, NO_2^-, O_3^-등의 負이온이 생성되어 충돌전리작용이 억제되므로 방전개시

전압은 상승하게 된다.

산소중에서 처리된 오손전극의 경우 순수전극에 비하여 전극표면상태의 변화정도가 적으므로 방전횟수에 따른 방전개시전압의 변동폭이 적게 나타난 것으로 판단된다.

4. 결 론

전극의 표면상태가 電離成長過程에 미치는 영향을 분석하기 위하여 질소-산소 혼합가스중에서 전압-전류 특성, 방전개시전압과 경시특성을 측정하고 검토한 바 산소로 처리된 오손전극과 순수전극의 상태에서 방전진전과정은 準安定分子에 의한 2차전리작용(γ_m 작용)의 영향으로 현저히 다르게 나타났다.

순수전극의 경우 산소의 혼입량에 따라 전극표면에의 吸着層 형성에 의한 일함수의 변화와 혼합물 또는 負이온의 생성으로 충돌전리작용이 억제되어 방전개시전압이 높아지고 변동폭도 대단히 크며, 방전횟수에 따른 경시특성도 불안정하게 나타났다.

참 고 문 헌

1) Yong-Hyun Paek, Bok-Hee Lee : 3rd Asian Conference on Electrical Discharge, 28～31,(1990)

2) 白龍鉉, 中村 義春, 森 爲可 : 日本電氣學會論文誌, **97**, 183～188,(1977)

3) 河聖哲 : 大韓電氣學會論文誌, **30**, 306～312,(1981)

4) J. A. Meryer, D. H. Klosterboer and D. W. Seter : ***J.Chem.Phys.***, **55**, 2084～2091, (1971)

5) R. N. Varney : ***Physical Review***, **157**, 116～120,(1967)

6) 磯野一, 彬野道幸, 曾彌元隆, 光井英雄 : 日本電氣學會論文誌, **103**, 625～632, (1983)

7) 李福熙, 白龍鉉 外 : 大韓電氣學會, 夏季學術大會論文集, 445～448,(1986)

8) H. E. Farnswoth : ***J.Applied Physics***, 1933～1938,(1961)

9) Y. Takaishi and H. D. Hagstrum : ***Physical Review***, **137**, 641～647,(1964)

(1991년 1월 15일 접수)