전자군방법을 위한 Double Shutter Drift Tube실험장치 구축

전병훈
동국대학교

Construction of the Double Shutter Drift tube Apparatus for Electron Swarm Method

Byung-Hoon Jeon
Dongguk University

Abstract - The electron collision cross sections for gases have been determined by electron beam and electron swarm method. Especially, measurements by electron swarm method is carried out by using the double shutter drift tube given by T.O.F. and Double shutter method.

1. 서 론

플라즈마 현상의 정량적 이해 및 목적에 맞는 플라즈마 형성을 위한 가스의 종류, 혼합비, 압력 등의 간접 평가인 시뮬레이션을 위해서 우선시하는 가스의 전자충돌단면적 결정에는 크게 두 가지 방법이 소개되고 있다. 첫 번째는 직접 실험에 의해 목적에 맞는 가스의 전자충동단면적을 결정하는 전자빔 방법이고 두 번째는 실험에 의해 얻어진 전자수송계수와 시뮬레이션에 의해 얻어진 결과와의 비교를 통해 그 단면적을 결정하는 전자군 방법이다. 전자는 직접 실험에 의해 단면적을 결정하므로 실험 시간이 짧다는 장점은 가지고 있으나 특정 단면적 예를 들어 총 단면적이나 전리 또는 부착 단면적만이 결정되어 개개의 단면적 특성 해석이 어렵다는 단점을 가지고 있다. 이에 반해 후자는 실험에 의해 가스의 전자이동속도, 확산계수 그리고 부착계수를 구하고 단면적 모델을 이용하여 시뮬레이션에 의해 얻어진 계산 결과와의 비교를 통해 모델 가스의 수정을 통해 목적으로 하는 가스의 전자충돌단면적을 결정하는 방법이다. 이에 단면적의 개개 특성 특히 낮은 에너지 법위에 있는 비탄성충돌단면적 결정이 가능하나 실험과 계산에 의한 반복적인 수정작업을 요하기에 많은 시간을 필요로 하고 있다. 그러나 이 방법도 순수가스 상태의 전자이동속도만을 고려하기 때문에 간접평가를 위한 정확한 목적 가스의 전자충돌단면적이라고는 말하기 어려웠다. 이에 순수가스와 혼합가스를 이용한 전자군 방법을 통해 목적으로 하는 가스의 전자충돌단면적의 결정을 위한 연구가 진행되고 잇다.[1] 이와 같이 본 연구에서는 전자군 방법에 의한 전자충돌단면적 결정 및 가스가 가지고 있는 전자수송계수를 측정하기위한 Double Shutter Drift Tube의 구축을 목적으로 하고 있다.

2. 실 험 이 론

2.1 T.O.F.법

전자의 이동속도 및 종방향확산계수의 측정은 T.O.F(Time of Flight)법 이론을 기초로 행하였다.[2, 3] **그림 1**에서 보는바와 같이 전극계에 있어서 음극(***K***)을 출발한 전자군은 2개의 셔터(Shutter, S_1과 S_2)사이의 드리프트 영역을 전계(E)와 역방향으로 전이되고 있다.

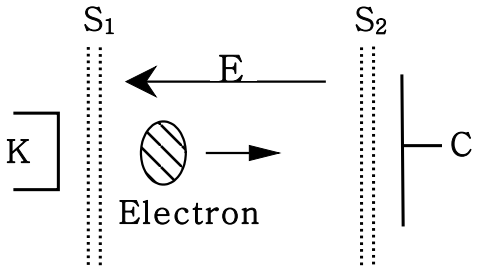

그림 1. 전극계에서의 전자군 운동

전자군의 방향을 z방향(전계와 역방향)으로 하면, 시각 $t=0$의 위치 $z=0$에서 S_1을 δ함수적으로 출발한 n_0개의 전자군은 기체원자와 충돌하고 확산되면서 평등전계 중을 위치 $z=L$의 S_2까지 전이된다. 이 과정에서 S_1과 S_2사이의 거리 z와 전자군이 도달하는 시간 t에 관한 전자수밀도 $n(z,t)$는 다음과 같은 식으로 나타낸다.

$$n(z,t)=\frac{n_0}{(4\pi D_L t)^{1/2}}exp\left[\frac{-(L-Wt)^2}{4D_L t}\right] \tag{2.1}$$

여기서, D_L은 전자의 종방향(전계와 평행한 방향) 확산계수, W는 전자이동속도값을 나타낸다.

식(2.1)에서 얻어지는 전자의 도착시간분포의 피크값으로부터 피크시간 t_p와의 관계식을 다음과 같이 얻으며,

$$t_p=\frac{L}{W}\left[1+\frac{1}{2}\left(\frac{D_L}{WL}\right)^2\right]-\frac{D_L}{W^2} \tag{2.2}$$

드리프트 거리(L)의 변화에 따른 피크시간 t_p의 차동측정값에 의해 전자이동속도 W를 구한다. 또한, 전자의 종방향확산계수는 식(2.1)에서 보이는 도착시간분포를 가우스분포로 근사하고, 분포의 피크값을 중심으로 분포 폭의 특성량(δt)을 다음과 같이 정의하여 그 값을 구한다.

$$\delta t^2=\frac{8D_L}{W^3}L+4\left(\frac{D_L}{W^2}\right)^2 \tag{2.3}$$

2.2 Double Shutter법

순수기체, 혼합기체를 구분하지 않고 각종의 기체 중에서의 기체압력(또는 기체수밀도)이나 전계에 의해 운동하는 하전입자의 이동속도와 이동도를 정확히 측정하고, 하전입자의 도착시간분포를 관측하는 유일한 방법으로 Bradbury & Nielsen에 의해 개발된 이중셔터(Double Shutter)법이 있다.[4]

이중셔터법의 기본이 되는 측정장치는 광전음극(***K***), 2조로 구성된 전자 셔터(S_1과 S_2)와 콜렉터(***C***)로 구성하고 있으며, 이 중 전자셔터는 얇은 와이어(니크롬선)를 등간격(1 mm)으로 구성한 2매의 평행한 그리드로 구성되어 있다. ***K***로부터 방출된 하전입자군은 전계 중에서 S_1으로 전이되고, S_1은 하전입자가 통과되지 않도록 방지바이어스전압이 걸려있다. 이 전자셔터에 걸려 있는 방지바이어스 전압을 넘어서는 펄스전압을 인가해 줌에 따라 인가된 펄스전압의 시간폭과 같은 시간폭의 펄스 상태에서의 하전입자군이 S_1을 통과하여 드리프트 영역(S_1과 S_2사이 영역)에 주입된다. 이 하전입자군은 전계에 의해 기체원자/분자와 충돌하고 확산되어 나가면서 S_2에 이동하게 된다. S_2에는 S_1과 같은 형태의 방지바이어스전압이 가해지고 있지만 그 바이어스 전압을 제거할 수 있는 펄스전압을 인가해 주면 그 순간 S_2에 도착한 하전입자만이 S_2를 통과하여 ***C***에 모여 전류로서 검출된다. S_2에 인가한 펄스전압과 S_1에 인가한 펄스전압에 대한 시간비를 연속적으로 변화시키는 것에 의해 전자의 도착시간분포가 얻어진다. 이상과 같이 이중셔터법은 하전입자군을 드리프트 영역에 주입한 셔터 S_1과 하전입자의 도착시간분포를 모으는 S_2의 두 개의 셔터에 의해 하전입자 운동을 관측하는 방법이다.

3. 실 험 장 치

본 연구에서 구축하고자 하는 실험장치는 전자의 이동속도와 종방향확산계수를 측정하기 위해 드리프트거리를 가변할 수 있는 Double Shutter Drift Tub와 측정 장치의 전기회로 등으로 구성하고 있다.

3.1 Double Shutter Drift Tube

본 연구에서 구축하는 드리프트 가변 Double Shutter Drift Tube의 개략도를 **그림 2**에서 보이고 있다.

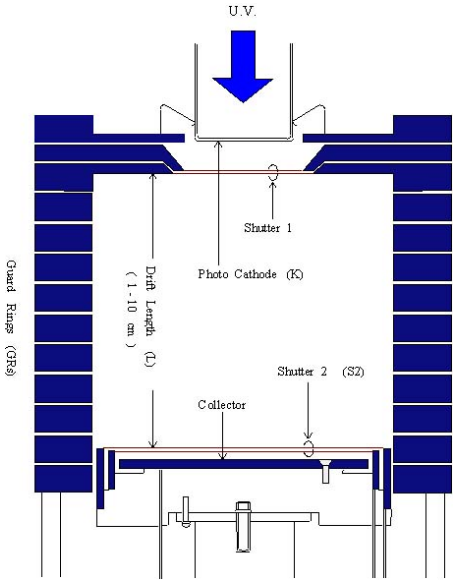

그림 2. Double Shutter Drift Tube 개략도

2.2절에서 기술된 바와 같이 Double Shutter Drift Tube는 광전음극(***K***), 2개의 전자 셔터(***S1***과 ***S2***), 콜렉터(***C***) 그리고 가이드링(***GR***)으로 구성되고 있다. 초기전자전류는 외부로부터 중수소램프의 자외선을 조사하여 얻어지며, 그 광원은 얇은 금박막을 입힌 석영 창을 통과하여 광전음극에 도달한다. 2개의 셔터는 컷오프 특성이 우수한 Tyndall형 셔터[5, 6]이며, 스테인레스 원판에 직경 0.16 mm의 니크롬선을 약 1mm 간격으로 스포트 용접한 2매의 그리드를 1mm의 간격을 두고 합쳐 구성하고 있다. 콜렉터는 직경 82 mm의 스테인레스 원판으로 되어 있으며, 셔터 2와 더불어 절연물 판 위에 고정되어 드리프트 영역의 가변이 가능한 가동부분으로 구성되어 있다. 이 가동부분은 직선운동도입기구(직경 가변거리 100 mm)와 연결되어 있어, 이것에 의해 드리프트 거리를 1부터 10 cm의 범위로 가변이 가능하게 하였다. 드리프트 거리 측정은 다이얼게이지에 의해 행하여진다. 가이드 링은 내경 100 mm, 두께 9 mm의 스테인레스 원판으로 되어 있으며, 이것을 두께 1 mm의 석영판(글라스 판)을 끼어 넣어 포개고 이를 절연용 글라스파이프에 끼워 고정하고 있다. 이 가이드 링은 드리프트 영역을 형성하는 것과 더불어 이 영역에 평등전계를 형성하는 역할을 한다.

3.2 전기회로

전자도착분포를 얻기 위한 Double Shutter Drift Tube의 전기회로도를 **그림 3**에서 보이고 있다.

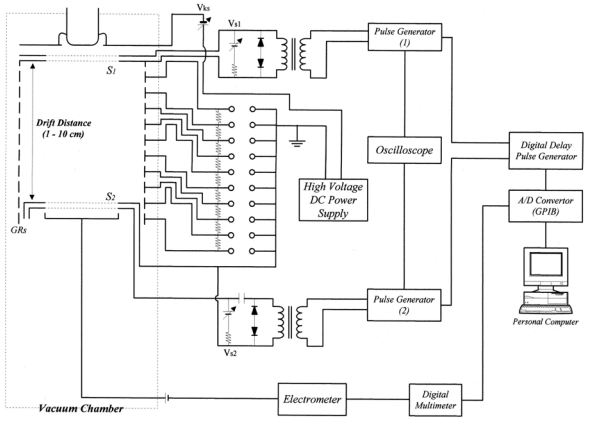

그림 3. 전기회로 개략도

드리프트영역에 소정의 평등전계를 얻기 위해 가이드링에 인가하는 주전압은 안정화고압전원에 의해 제공되고, 이것을 순도 1%의 분할 저항에 의해 각 가이드링에 소정의 전압이 가해지도록 한다. 광전음극(***K***)과 제 1셔터(***S1***) 사이에는 음극에서 출발하는 전자를 ***S1***방향으로 가속시키기 위해 바이어스 전압(***VKS***)을 인가시키며, 2개의 전자 셔터(***S1***과 ***S2***)에는 각각 극성이 다른 정과 부의 방지 바이어스전압을 인가시킨다. 더욱이 ***S1***에 대해서는 전자군을 주기적으로 드리프트 영역에 주입시키기 위해 부 바이어스전압을, ***S2***에는 도착한 전자를 모으기 위해 정 바이어스전압을 Pulse Generator로 주기적으로 가해지도록 한다. ***S1***에 인가하는 펄스전압에 대한 ***S2***에 인가한 펄스전압에 도달하는 시간은 Scan Delay Generator에 의해 천천히 연속적으로 변화시킨다. 제 2셔터와 콜렉터(***C***) 사이에는 ***S2***에 모이는 전자를 얻기 위해 바이어스 전압(***VC***)을 인가시킨다. 이것에 의해 모집된 전자가 전류로서 전류계에 의해 검출되게 한다.

4. 결 론

전자군 방법에 의한 다양한 가스의 전자충돌단면적의 결정이나 그 가스가 가지고 전자수송계수의 측정을 통한 물성적 해석을 위한 Double Shutter Drift Tube 실험장치를 구축하였다. 실험장치의 구축을 위해 필요한 기타 진공장비를 구하기 힘든 현실에 국내 유일의 전자군 실험을 할 수 있는 장비의 구축에 큰 의미를 부여하고 싶다. 현재는 현 장비의 외관만이 구축되었기에 실제 실험이 진행될 수 있는 셔터의 특성시험과 전류 검출을 통해 수송계수의 측정값을 얻을 수 있는 프로그램의 개발이 과제로 남아 있다.

[참 고 문 헌]

[1] B. H. Jeon, JKPS, 49., 6, 2321-2326, 2006
[2] L. G. Huxley and R. W. Crompton, "The diffusion and drift of electrons in gases", John Wiley & Sons, 1974
[3] E. B. Wagner, F. J. Davis and G. S. Hurst, J. Chen. Phys., 47, 3138-3147, 1967
[4] N. E. Bradbury and R. A. Nielsen, Phys. Rev., 49, 388, 1936
[5] A. M. Tyndall, L. H. Starr and C. F. Powell, Proc. Roy. Soc., A121, 172, 1928
[6] A. M. Tyndall and C. F. Powell, Proc. Roy. Soc., A134, 125, 1931