

超高温 技術

황 기 응

(서울대 공대 전기공학과 부교수)

1. 머릿말.

超高温이라 함은 보통 高温을 얻는데 이용이 되는 石炭, 石油, 酸水素가스 등의 燃燒나 電氣低抗体の 가열로써 얻기 어려운 溫度를 이야기 하며, 약 5000°K 이상의 온도에서부터 核融合反應이 일어나는 수억도의 범위까지를 지칭한다. 物質의 온도가 수천도 이상이 되면 대부분의 물질이 기체상태가 되며, 온도가 더욱 올라감에 따라 이중 상당한 부분의 원자들이 이온화가 되며 보통 기체라는 다른 많은 성질을 지니는, 物質의 제4의 상태라고 불리는 “플라즈마”가 된다.

超高温은 기체내에 강한 電流를 흘려서 만들 수 있으며 자연적으로는 번개가 칠 때 방전 경로에 따라 高温 플라즈마가 형성되는 것이 한예이다. 이외에도 라디오파, 초고주파, UV, 레이저를 이용할 수도 있으며, 또 전자나 이온 혹은 중성입자 빔을 照射하여 만들 수 있다. 이렇게 만들어진 超高温 상태의 플라즈마는 금속의 溶解, 切斷, 銲接과 같은데서 단순한 熱源으로서 주로 이용이 되어왔으나 최근에 들어 보통의 조건하에서는 얻어지지 못하는 새로운 物質의 합성, 처리라던지, 항공·우주 산업에서 요구되는 특수소재의 가공등에 이용이 되고, 특히 고온이 요구되는 세라믹의 합성가공에 이용이 되면서 이에 대한 관심이 증대되고 있다. 또한 人類의 미래의 에너지 源으로서 희망을 주고있는 核融合에너지를 갖기 위해서 1억도 이상의 超高温, 高密度 플라즈마가 필요하며 많은 나라가 이에 대한 연구를 수행하고 있고, 21C 초에는 실용화가 가능하리라 기대되고 있다.

本稿에서는 核融合 플라즈마를 제외한 약5,000°K~

100,000°K 정도의 온도를 갖는 熱플라즈마와 글로우 플라즈마의 發生方法, 溫度·密度의 測定方法 및 이들의 利用方法에 대해 살펴보도록 한다.

2. 高温 플라즈마 發生 技術

高温플라즈마는 氣體에 直流나 高周波를 가하거나 固體의 表面에 높은 에너지의 전자, 이온 혹은 레이저 빔을 照射해서 만든다. 氣體에 直流나 高周波를 가하면 이들의 電磁氣場에 따라 쉽게 움직일 수 있는 電子가 운동에너지를 얻게되며 충돌을 통해 중성기체를 이온화시키면서 가열을 하게된다. 固體의 表面에 粒子빔이나 레이저 빔을 照射하면 粒子들의 운동에너지가 충돌을 통해 고체의 표면에 흡수되면서 온도가 올라가게되고, 레이저의 경우는 레이저의 강한 電場에 의해 고체내의 전자가 활발한 운동을 하게되어 온도의 상승을 가져오게 된다.

2-1 直流에 의한 方法

그림1 과 같이 평행판 전극사이에 가스를 채우고 전위차를 변화시키면 전형적으로 그림2와 같은 전류-전압특성을 얻게된다. 글로우 방전으로부터는 온도가 10eV (1eV = 11,600°K)내외이고 밀도가 10^{16}cm^{-3} 내외의 플라즈마를 얻을 수 있으며, 음극은 플라즈마내의 이온의 충격을 받아 Sputtering 현상이 일어난다. 아크 방전으로 부터는 온도가 약10,000~20,000°K 정도이면서 밀도가 10^{16}cm^{-3} 정도의 고밀도 플라즈마를 얻게된다. 여기서 온도는 전자의 온도를 이야기하며 이온이나 중성 입

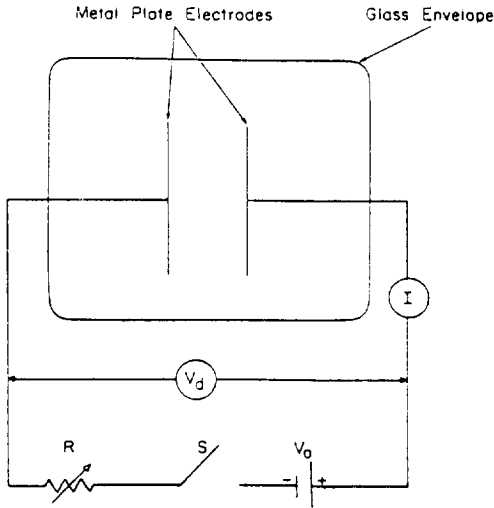


그림1. 직류방전의 회로도

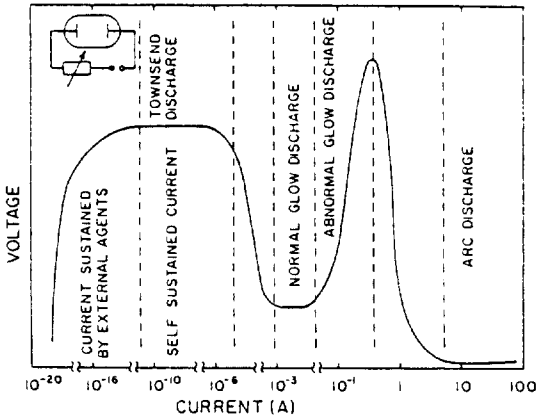


그림2. 직류방전의 전류-전압 특성

자는 훨씬 낮은 온도를 갖으나 방전 압력이 대기압에 가까워지면 그림3에서와 같이 같은 온도로 가까워진다.

아크방전은 고밀도이면서 비교적 높은 온도이므로 플라즈마의 열용량이 커서, 주로 금속의 용해나 용접 등에 단순한 열원으로 이용이 되어 왔으나 최근에 들어 초미세 세라믹 분말의 합성, 세라믹이나 초합금, 高温超電導體의 용해코팅, 아세틸렌의 합성등에 이용이 되고 있다. 이러한 목적으로 사용되는 플라즈마는 플라즈마 내에서 화학반응이 일어날 수 있도록 충분한 시간동안 반응기들이 머물러야 하며, 주입된 금속이나 세라

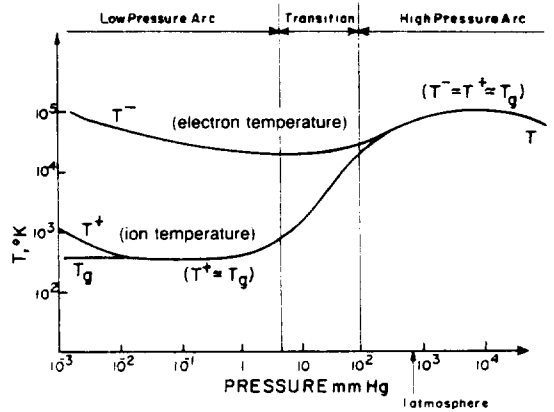


그림3. 아크방전에서 압력에 따른 전자 및 이온 온도 변화.

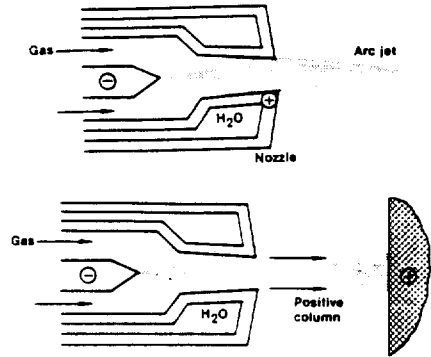


그림4. 아크 플라즈마 발생장치.

- (a) DC, nontransferred arc.
- (b) DC, transferred arc.

믹 입자가 녹을 때까지 충분히 오랫동안 머무르고 있어야 하므로 플라즈마가 매우 안정되어야 한다. 그림4에 이들 목적으로 많이 이용되는 열플라즈마 토치의 단면을 보여주고 있으며, 아크의 안정화를 도모하기 위하여 외부에서 磁場을 이용하여 회전을 시킨다던지, 물이나 유체의 Vortex를 이용한 Gerdian 아크¹⁾ 혹은 그림5와 같이 냉각된 벽에 의해 안정화시키는 방법을 이용한다.

직류 아크 플라즈마의 특징은 첫째 높은 압력(대기압)에서 만들어지므로 전자와 무거운 입자(이온, 중성입자)의 온도가 같으며 높고 또한 밀도가 높으므로 열용량이 커서 被熱體를 매우 짧은 시간에 加熱할 수 있는 열원이며, 둘째 플라즈마 가스 자체가 화학反應基의 源이 되므로 結合에너지나 活性化에너지가 높은 高温

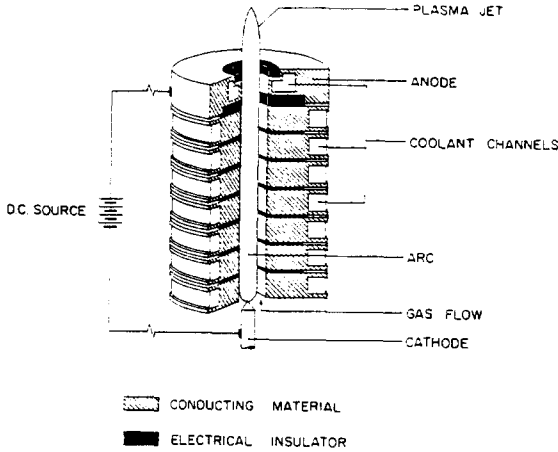


그림5. 냉각된 벽에 의해 안정화된 아크.

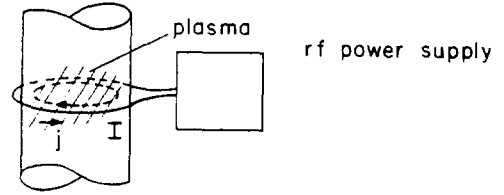


그림7. 유도적 결합 방전 장치.

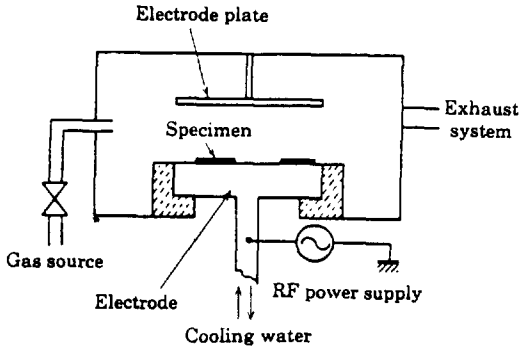


그림6. 용량적 결합방전장치

化學反應을 일으키는데 적당한 熱源으로 적합하고, 셋째 사용가스에 따라 酸化, 還元 혹은 不活性 분위기를 임의로 쉽게 만들 수 있는 점이다.

다른 高溫熱源과 비교했을 때 아크플라즈마가 갖는 장점으로서 방전전류와 전압을 조절해서 쉽게 出力을 增減할 수 있으며, 아크 발생장치와 전원이 비교적 간단 하므로 설비가 비교적 싸고, 장시간 동안 안정되게 작동시킬 수 있는 점 등이다.

2-2 高周波에 의한 方法

수십KHz에서 수십 MHz의 주파수를 갖는 高周波를 그림6 과 같은 평행판 전극 사이에 가하면 전극 사이에 형성되는 電場에 의해 기체가 이온화, 가열되며 容量的 結合 放電(Capacitively coupled discharge) 혹

은 E- 放電이라고 부르기도 한다. 이 방법은 Displacement current에 의해서 가열이 되기 때문에 高溫, 高密度의 熱플라즈마를 얻기 위해서는 수십 MHz이상의 높은 주파수를 사용해야 되나, 통상 13.56MHz 이하의 주파수를 사용하며, $10^8 \sim 10^{10} \text{cm}^{-3}$ 의 밀도와 10eV 정도의 온도를 갖는 글로우 모양의 저밀도, 고온 플라즈마가 얻어지며, 이렇게 만들어진 플라즈마는 최근에 들어 Microelectronics 분야에서 超集積回路의 제작에 필요한 기능성 박막이나 미세 패턴을 만드는데 이용이 되기 시작하고 있다.

그림7 과 같이 反應爐 주위에 감겨진 코일에 高周波를 가하게 되면 코일에 흐르는 전류에 의해 축방향의 시간에 따라 변하는 磁場이 생기고 이것은 다시 反應爐 내에 형성된 플라즈마내에 環形的 電流를 유도해서 플라즈마를 가열하게 되며, 誘導의 結合放電(Inductively coupled discharge) 혹은 H- 放電이라고 부른다. 이 방법에 의해 만들어지는 플라즈마는 $10^8 \sim 10^{16} \text{cm}^{-3}$ 의 밀도를 갖는 높은 熱容量의 플라즈마이며 여러가지 면에서 전기 아크와 비슷하다. 이 방법을 이용하면 플라즈마와 직접 접촉하는 전극이 없으므로 전극물질로 부터의 오염같은 것이 문제가 되는 플라즈마 화학을 통한 高純度 물질의 合成이나 처리 등에 요구되는 "清淨" 플라즈마 발생에 적합한 방법이다. 또한 전극이 없으므로 사용가스에 따라 酸化, 還元 및 腐蝕性 분위기를 자유로이 만들어 줄 수 있으며, 플라즈마 내의 전자, 이온, 出성입자가 열평형에 있으므로 모두 높은 온도에 있고, 따라서 高溫化學反應을 일으킬 수 있는 勵起分子나 反應基들이 풍부하여 新物質, 新素材의 合成이 쉽게 이루어질 수 있으며, 플라즈마 화염의 크기가 크고, 가스의 유속도가 낮아서 주입된 가스가 반응을 일으키는데 필요한 충분한 체류 시간을 가질 수 있는 등의 장점을 갖고 있다.

2-3 레이저에 의한 方法

레이저는 單色이며 指向性이 좋고 집중시켜 높은 에너지 밀도를 갖게 할 수 있으므로 研究, 通信, 加工, 医用, 計測 등에 널리 이용되고 있으며, 최근에는 레이저를 이용한 核融合 에너지를 얻기 위한 연구도 수행되고 있다.

그림 8에 레이저를 이용한 高温爐가 보여지고 있으며, 레이저 발생장치에서 나온 레이저가 光學 시스템에 의해 필요한 에너지 밀도를 갖는 빔으로 集束되어 彼加熱體 위로 照射된다. 高温 발생용으로 이용될 수 있는 레이저는 CO₂ 레이저(파장 10.6 μm), A⁺ 레이저(파장 0.5 μm 부근 다수), YAG 레이저(파장 1.06 μm) 등이 있으며 이중 10% 이상의 높은 효율을 갖고, 20KW 연속출력을 낼 수 있는 CO₂ 레이저가 新物質 合成에 필요한 超高温 熱源 발생용 레이저로 제일 적합하며, 반면에 化學反應을 통한 膜의 合成 등에는 높은 勵起 에너지를 줄 수 있는 紫外線 영역의 파장을 갖는 Krf와 같은 Ex-cimer 레이저가 적합하다.

레이저에 의한 高温 發生技術의 특징은 光學 시스템을 통해 빔을 집중시킬 수 있으므로 1 μm 크기의 局部的인 가열까지도 가능하며, 다른 물질과 접촉이 없이 眞空中에서도 가열이 가능하므로 오염이 적고, 레이저 출력 조절에 의해 온도 조절이 비교적 쉬운 점 등이다.

2-4 粒子빔을 이용한 方法

電子나 이온은 電磁氣場을 이용하여 높은 에너지로 가속, 집중하여 物體의 表面에 충돌시킴으로써 높은 온도를 얻을 수 있다. 電子빔은 이미 特殊金屬의 溶解, 銲接, 切

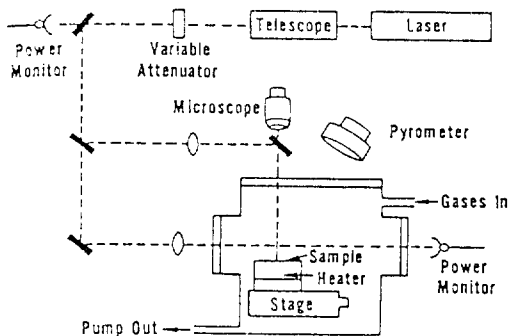


그림 8. 레이저 高温爐.

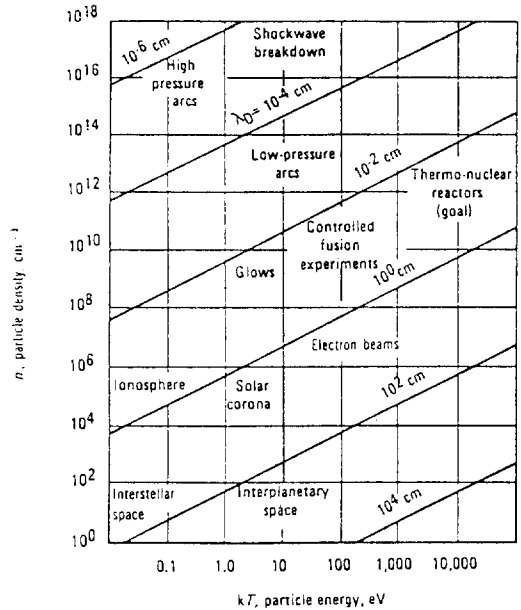


그림 9. 온도, 밀도에 따른 플라즈마의 분류.

斷 등에 이용되고 있으며 최근에는 表面의 高温 加熱에 따른 急冷을 통한 物性 변화의 목적 등에 이용되고 있고, 大出力 빔을 손쉽게 만들 수 있으며, 集束을 통해 高密度 에너지의 빔을 만들 수 있고, 빔의 제어가 손쉬운 장점을 갖고 있다.

이온빔은 核融合 플라즈마의 加熱에 이용이 되고 있으며 최근에 電子工業分野에서 超集積回路의 제작에서의 이온주입과 같은 공정에 이미 필수적으로 필요하며, 서브미크론 직경의 빔을 이용한 미세가공의 응용이 시도되고 있다. 고 에너지 이온빔은 이온의 발생, 가속의 두 단계로 만들어지며 발생 방법은 기체방전을 이용해서 만들어지는 플라즈마로부터 이온을 추출하는 방법과 액체금속으로부터 表面效果를 이용해서 추출하는 2 가지 방법으로 나눌 수 있다. 이온빔은 이온의 電荷에 따라서, 負 이온빔으로 나눌 수 있으며 磁場 가동형 核融合 장치에서는 플라즈마가 강한 磁場에 의해 가두어 지며 磁場을 가로 질러 이온빔이 침투하기가 매우 어렵기 때문에 다시 이온빔을 中性化시켜야 하므로 中性化率이 높은 大電流, 負 이온 源의 개발이 研究의 主流를 이루고 있다.

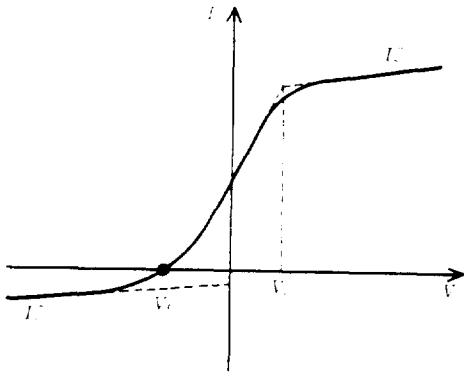


그림 10. 電氣 probe의 電流-電壓 特性 曲線.

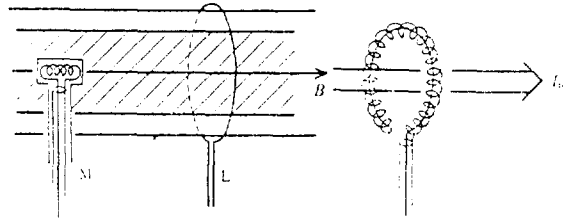


그림 11. 磁氣 probe.

3-1-2 磁氣 Probe.

그림11과 같이 플라즈마로 삽입된 코일에 유도되는 기전력을 측정해서 플라즈마 내의 磁場의 세기, 壓力, 電流등을 측정할 수 있다.

3. 高温플라즈마의 測定

高温 상태에 있는 플라즈마의 物性理解, 발생장치의 개발이나 高温을 이용한 新物質의 合成에 필요한 조건을 갖는 플라즈마를 만들기 위해서는 플라즈마가 갖는 여러 변수들의 測定이 필요하다. 대상이 되는 변수들은 粒子(電子, 이온, 中性種)들의 密度, 溫度나 化學種들의 종류, 勵起狀態, 플라즈마의 電氣傳導度, 熱傳導度, 熱量, 電磁場의 分布 等이다.

人工的으로나 自然係에 존재하는 플라즈마는 電子의 밀도가 $10^4 \sim 10^{18} \text{cm}^{-3}$, 電子의 온도가 $5000^\circ \text{K} \sim 1^\circ \text{K}$ 의 넓은 범위의 값들을 가지며, 그림10에 온도, 밀도에 따라 플라즈마가 분류되어 있고, 이들 변수의 값에 따라 사용되어지는 측정방법이 달라지게 되므로 여기서는 工業的으로 중요한 응용이 많은 직류아크나 고주파에 의해 생성이 되는 글로우 방전 플라즈마나 熱플라즈마의 計測에 이용이 되는 방법을 고찰하기로 한다.

3-1 Probe 法²³

3-1-1 電氣 Probe

이것은 低密度, 低溫 플라즈마의 測定에 이용이 되며 “Langmuir probe”라고도 부른다. 백금이나 텅스텐으로 만들어진 전극을 플라즈마 내로 삽입하고 바이어스전위를 가하면 그림10과 같은 I-V 특성곡선이 얻어지며 이로부터 電子의 溫度, 密度를 얻을 수 있다. 플라즈마가 접촉하는 기준 전극이 없으면 두 개의 전극을 사용하는 Double probe 法을 이용해야 한다.

3-2 發光分光法.

原子나 分子에 구속이 되어있는 電子가 외부로부터 빛을 흡수하거나 충돌에 의해 에너지를 얻게되면 높은 에너지 상태로 勵起되며, 이것이 다시 낮은 에너지 상태로 떨어지게 되면 에너지 차에 해당하는 빛을 방출하게 되며 이빛의 파장을 조사하면 原子나 分子의 종류와 이온화 정도를 알 수 있다. 또한 두가지 이상의 스펙트럼선의 강도를 비교하면 플라즈마내의 電子의 溫度를 알 수 있으며, 빛을 방출하는 粒子의 열운동의 결과로 일어나는 Doppler broadening을 측정하면 이온이나 중성입자의 온도를 계산할 수 있다. 또한 빛을 방출하는 粒子의 플라즈마내의 이온이나 電子의 電氣場의 영향에 의한 Stark broadening을 측정하면 電子의 密度를 계산할 수 있다.

한편 플라즈마 내의 自由電子가 이온과의 再結合을 일으킬 때는 連續스펙트럼을 내며 이의 측정을 통해 電子의 溫度를 측정할 수 있다.

흔히 쓰여지는 방법으로서 알곤가스의 7635\AA 파장의 스펙트럼선의 강도를 측정해서 電子의 溫度를 측정하고, 약 5%정도의 수소가스를 혼합시켜 H_α 선의 Stark broadening을 측정해서 電子의 密度를 얻는 방법을 이용하며 그림12에 전형적인 발광분광측정장치의 구성도를 보여주고 있다.

3-3 레이저 利用法

레이저를 플라즈마 내로 入射시켜 散乱되는 빛의 강

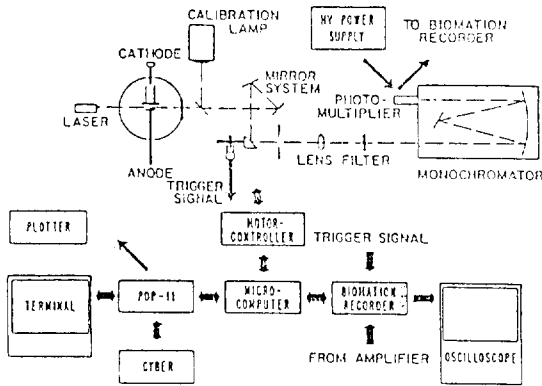


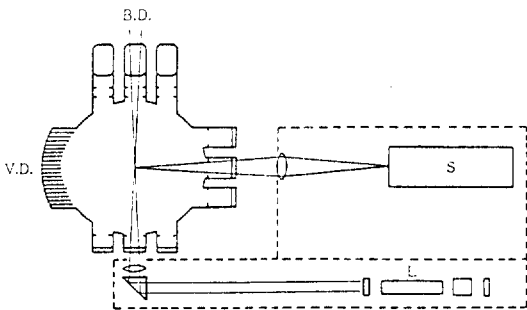
그림 12. 發光分光시스템의 구성도 예.

도, 位相변화등을 측정해서 플라즈마의 電子나 이온의 溫度나 密度를 알아낼 수 있다.

3-3-1 레이저 散亂을 이용하는 방법

레이저가 플라즈마 내로 入射되면 레이저의 電場에 의해 電子가 加速운동을 하게 되며 電子波가 방출되고(Thomson Scattering), 산란되어 방출되는 전자파의 강도와 Doppler broadening의 측정을 통해 電子의 溫度와 密度를 측정할 수 있다. 電子의 散亂斷面積이 매우 작기 때문에 大出力의 레이저가 필요하며, 루비레이저(파장 6943Å)를 많이 사용하고 측정장치의 개략도가 그림 14에 보여지고 있다.

이와는 달리 이온의 集合的인 효과에 의한 레이저 산란법에 의해서 이온의 온도를 측정할 수 있으며 이 때는 前方散亂이나 長波長의 遠赤外線을 사용해야 한다.



laser L, spectrometer S, beam dump (B.D.) and view dump (V.D.)

그림 13. 레이저 散亂장치.

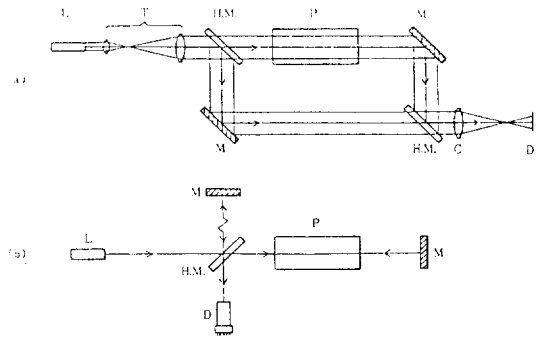


그림 14. (a) Mach-Zehnder 간섭계.
(b) Michelson 간섭계.

3-3-2 레이저 干涉을 이용하는 방법

주파수 ω 의 레이저가 플라즈마를 통과할 때 플라즈마의 굴절률은 아래와 같다.

$$N = \left(1 - \frac{\omega_p^2}{\omega^2}\right)^{1/2}$$

여기서 $\omega_p = \left(\frac{4\pi e^2}{m}\right)^{1/2}$ 로 주어지는 플라즈마 주파수를 나타낸다.

따라서 플라즈마를 통과한 레이저빔은 진공층을 통과한 빔과 위상차를 갖게되며 그림14에 나타나 있는 Mach-Zehnder나 Michelson 간섭계를 이용해서 전자의 密度를 측정할 수 있다. 2차원 밀도 분포는 Mach-Zehnder 간섭계와 Q-스위치된 루비레이저에 의해 얻어질 수 있다.⁴

3-3-3 CARS (Coherent Anti-Stokes Raman Spectroscopy) 와 LIFS (Laser-Induced Fluorescence Spectroscopy)

CARS⁵와 LIFS⁶은 高出力레이저와 色素 레이저등의 발달로 최근에 사용이 되기 시작한 최신 측정 기술이다.

보통의 Raman산란은 勵起레이저 주파수보다 낮은 주파수의 빛(Stokes line)을 이용하나 CARS는 높은 주파수의 Anti-Stokes line을 이용하는게 특징이며, 신호강도가 높고 시간·공간적 분해능이 높은 장점 등을 갖고 있으며, 이 방법에 의해서는 화학種의 밀도, 온도를 구할 수 있다.

LIFS는 레이저 勵起에 의해 생기는螢光을 이용하는 分光分析方法이며, 화학種을 확인할 수 있는 방법이다.

3-3-4 기타 측정 방법.

이외에도 고온 플라즈마 속에 주입된 微粒子들의 流速은 움직이는 粒子에 의한 레이저 빔의 散亂의 Doppler 효과를 이용해서 측정할 수 있다.⁷⁾

경우에 따라서는 플라즈마로부터 나오는 粒子들의 에너지를 측정함으로써 내부의 상태를 간접적으로 진단할 수 있으며, 적당한 電磁場의 이용에 의해 이온의 에너지 분석을 통해 플라즈마내의 이온의 온도를 짐작하는 質量分析法이 한 例이다.

核融合 超高温 플라즈마는 Synchrotron 放射, Bremsstrahlung에 의해서 UV 및 X선을 방출하고, 核反應에 의해 中性子 및 α 粒子를 만들게 되며 이들의 측정에 의해서 電子 및 이온의 온도, 밀도를 알아낼 수 있다.⁸⁾

4. 超高温 利用技術.

地球上의 生命體가 地球 生成의 初期 단계에서 大氣에 채워진 메탄과 같은 탄화수소가스를 통해 번개가 칠 때 형성된 유기물로부터 출발을 했다면 모든 생명체의 기원이 高温 플라즈마의 도움으로 시작이 되었다고도 할 수 있다. 가스가 채워진 튜브를 통해 기체 방전을 시킬 때 어떤 형태의 유기물이 생기는 것이 이미 100년 전부터 실험실에서 관측이 되었으나⁹⁾¹⁰⁾ 별로 관심을 끌지 못했으며, 電氣에너지의 사용이 본격적으로 시작된 20세기에 들어 다양한 電氣放電을 통해 高温 플라즈마의 생성 기술의 등장과 함께 이의 이용 기술이 발달하기 시작했다. 간단한 高温 熱源으로서의 아크爐 등이 있으나 최근에 들어 새로운 物質의 合成, 高温 材料의 加工, 高純度 세라믹 粉末의 제조, 耐熱超硬被膜 코팅, 非晶質體의 製造, 航空·宇宙 特殊素材의 加工으로부터 人類의 에너지문제를 해결해 줄 수 있을 것으로 기대되는 核融合發電에까지 이용이 되고 있으며, 産業技術의 高度化와 에너지의 效率의 利用 및 生成, 新物質의 合成 등에 필요한 技術이다.

4-1 新物質 合成.

다이아몬드는 그것이 갖는 우수한 機械的, 電氣的, 光

學的, 化學的 성질 때문에 寶石으로 사랑을 받을 뿐 아니라 工業의으로도 중요한 물질이다. 다이아몬드의 人工的인 合成은 1950년대에 미국의 GE社에서 발견한 高温·高壓방법에 의해 금속촉매를 이용해서 고순도 흑연으로부터 얻는 방법에 의해 주로 얻어졌으나, 최근에 들어 低壓의 메탄과 같은 탄화수소 가스의 플라즈마에 의해 미립자와 薄膜 다이아몬드를 얻을 수 있는 것이 보여지고 있다.¹¹⁾¹²⁾¹³⁾

다이아몬드는 밴드갭이 커서 (5.47eV) 전기적으로 不導體이나, 플라즈마법에 의해 만들어진 薄膜은 불순물의 도핑이 가능해서 半導體로 만들 수 있으며, 실리콘에 비해 電子이동도가 비슷하나 (1800cm²/VS), 홀이동도가 실리콘이나 갈륨비소에 비해 높기 때문에 (1200cm²/VS), 높은 熱傳導 성질을 함께 이용하면 原子力發電所, 宇宙, 軍事등의 極限 환경에서 견디는 반도체 소자 제작에 이용될 수 있다.

아크나 고주파유도가열에 의해 생성된 熱 플라즈마내로 반응가스를 주입하면 急速加熱, 解離에 이어 급속한 냉각이 뒤따르기 때문에 粒徑 수백Å 정도의 超微粒子를 만들 수 있다. 이들은 表面積 대 體積 比가 높기 때문에 表面에너지가 높아서 높은 活性度를 갖는 觸媒나 파인 세라믹의 원료로서 이용이 기대되며 이미 Si₃N₄, SiC, Al₂O₃, TiN, TiC 등의 超微粒子 합성이 보고되고 있다.⁴⁾¹¹⁾¹⁵⁾

熱 플라즈마의 꼬리부분에 기관을 놓으면 플라즈마내에서 형성된 과포화상태의 물질이 析出되어 여러 가지 특수기능을 갖는 金屬膜, 絶緣膜, 半導體膜을 얻거나, Al₂O₃, ZrO₂와 같은 물질의 單結晶을 얻을 수 있다.

또한 熱 플라즈마 내로 금속이나 세라믹 분말을 주입하면 플라즈마내에서 급속가열, 용융되게되며 이들을 플라즈마 외부의 냉각된 기관에 溶射시키면 急冷이 되면서 耐磨耗性, 耐熱性, 耐腐蝕性이 좋은 超合金이나 세라믹 膜 혹은 特殊기능을 갖는 非晶質膜을 코팅시킬 수 있다.¹⁶⁾

高周波放電에 의해 생기는 글로우 방전을 이용해서 a-Si:H, Si₃N₄, SiO₂, i-C박막을 얻을 수 있는 P-ECVD (Plasma Enhanced Chemical Vapor Deposition) 방법은 종래의 CVD방법에 비해 低溫의 基板上에 이들을 析出시킬 수 있으므로 점차 低溫化해가는 半導體 製造 공정에서 많이 사용이 되기 시작하고 있다.

有機 monomer 가스중에 글로우 방전을 시키면 플라즈마나 접촉하는 基板上에 有機中合膜을 만들 수 있으며,

두께가 아주 얇고, 架橋가 치밀하고, pin-hole이 없으면서 새로운 기능을 갖고 임의의 형태의 기판에 직접 코팅을 할 수 있는 장점을 갖고 있다. 이들은 콘덴서의 유전체, 금속표면의 보호막, 磁氣 테이프나 디스크의 表面보호나 磁氣 헤드의 接觸低抗을 감소시키는 코팅, 光學部品の 보호용 코팅, 기계부품의 腐蝕방지용 코팅, 人工血管이나 臟器의 凝血 防止, 液體나 氣體의 分離膜 등에 이용 등 그 응용이 다양하다.¹⁷

4-2. 金屬의 加工, 冶金.

大電流 방전시에 생기는 고온아크는 電氣爐에서 금속의 溶解, 製鍊 등에 쓰이고 있으나, 최근에 Transferred Plasma Torch (그림4참조)에서 생기는 熱플라즈마를 熱源으로 사용할 때 기존의 電氣爐에 비해 훨씬 높은 전기에너지 이용효율과 낮은 생산단가를 얻으면서, flicker나 surge가 없어서 電力부하 상태가 매우 부드럽고, 소음을 내지 않으며, 爐내의 분위기를 높은 압력의 불활성 가스로 채울 수 있으므로 높은 증기압을 갖는 합금성분물질의 손실이 적고, 불순물에 의한 오염을 줄일 수 있으며, 爐내로 반응가스를 주입할 경우 즉석에서 화학처리를 할 수 있는 등의 장점이 있어서 이미 미국, 일본, 소련, 동독에서는 대규모의 생산용 플라즈마爐가 금속의 溶解/再溶解, refractory금속의 製鍊 등에 이용이 되고 있으며,¹⁸ 방사능 폐기물이나 위험한 화학쓰레기의 처리에도 高溫 熱플라즈마에 의한 급속한 熱分解 및 固型化에 이용이 되고 있다.

이외에도 金屬분말을 溶射 시켜 FRM(Fiber Reinforced Metal)을 만들거나, 세라믹, FRC(Fiber Reinforced Ceramic), refractory금속과 같은 高融點, 難加工性 材料의 切斷, 溶接 등에 이용이 되고 있다.

5. 맺음말.

70년대에 있었던 2차례의 유류파동 이후 세계적으로 관심을 갖기 시작한 에너지 및 資源의 절약 및 효율적 이용에 대한 연구의 결과로 등장하기 시작한 高溫耐熱 材料, 새로운 기능을 갖는 物質, 特殊材料 등의 加工, 기존의 공정을 대체하는 보다 높은 효율을 갖는 새로운 공정 등에 지금까지 일반적으로 사용되어 오던 熱源이 제공할 수 없는 高溫熱源이 필요하게 되었으며,

本稿에서는 이들 목적에 이용이 될 수 있는 熱플라즈마 및 글로우플라즈마에 대해 生成方法 및 특징, 측정, 이용분야에 대해서 살펴 보았으며, 核融合 超高溫 플라즈마는 범위에서 제외시켰다.

超高溫 利用技術에 대한 新物質의 合成은 세라믹분야에서 그 眞價가 발휘되고 있으며 앞으로도 이용범위가 계속 확대되리라 기대된다.

超高溫 利用기술의 진전과 새로운 분야가 개척되기 위해서는 超高溫 發生技術분야에서는 발생장치의 大容量化 및安定化를 통해 높은에너지와 밀도를 갖는 영역을 확대하여 반응영역을 늘리고, 장치의 耐久性과 操作性의 向上을 통해 生産性を 높이고 특히 외부에서 인가되는 磁場의 영향에 대한 이해를 통해 에너지의 高密度化가 필요하다. 測定技術분야에서는 化學反應이 일어나는 경우 플라즈마내의 化學種에 대한 정보와 반응구조에 대한 이해가 필요하며, 밀도와 온도 측정의 경우 서로 다른 원리를 이용한 측정에서 얻어진 데이터를 비교하여 측정치의 신뢰성을 높이며, CT(Computer Tomography) 기술을 이용하여 3차원 계측기술의 개발이 필요하고, 대형 컴퓨터를 이용한 시뮬레이션을 통해 얻어진 변수와 비교, 검토할 수 있는 방법의 개발이 필요하다.

참 고 문 헌

- 1) H.Gerdian and A.Lotz, wiss. Veroff, Siemens-Konz 2, 489(1922)
- 2) R.H. Huddleston and S.L. Leonard, "Plasma Diagnostic Techniques" Academic Press(1965)
- 3) W.Lochte-Holtgrever, "Plasma Diagnostics" North Holland(1968)
- 4) F.C. Jahoda, R.A. Jeffries and G.A. Sawyer, Applied Optics 6, 1407(1967)
- 5) A.C. Eckbreth, P.A. Bonczyk and J.F. Verdieck EPA-600/7-80-091, May(1980)
- 6) ibid
- 7) L.E. Drain, "The Laser Doppler Technique" Wiley d Sons
- 8) K.M. Young, J.M. Soures and S.S. Medley, Proceeding of the Sixth Topical conference Diagnostics, Review of scientific Instruments, Vol. 57, No.8, Pt II, 1986.
- 9) P. Dewilde, Ber. dtsh. Chem. Ges. 7, 4658(1874)

- 10) A. Thenard, C.R.Hebd. Seances Acad. Sci. 78, 219(1874)
- 11) B.V. Derjaguin, D.V. Fedoseev, V.M. Lukyanovich, B.V. Sptizir, V.A.Ryabov, A.V. Lavrentyev, J.Cryst. Growth 2, 380(1968)
- 12) S.Mstsumoto, Y. Sato, M.Tsutsumi, N.Setaka, J.of Materials Science 17(1982) 3106
- 13) M.Kamo, Y.Sato, S.Matsumoto, N.Setaka, J. of Cryst growth 62(1983) 642
- 14) Chom. Abst. 91(1979)-100(1984).
- 15) T.Yoshida, A.Kawasaki, T.Harada and K.Akashi, Plasma Chem. Plasma Processing 1, 113(1981).
- 16) J.Szekely and D.Apelian, "Plasma processing and Synthesis of materials" Symposia proceedings Vol 30, Material Research Society, North-Holland(1984).
- 17) H.Yasuda, Plasma Polymerization, Academic Press(1985)
- 18) Ward Roman, "Thermal Plasma melting / remelting technology" ibid.