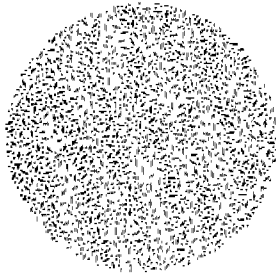


着火用 圧電素子

Piezoelectric Igniter



金 龍 赫

韓國科學技術院
電子窯業材料研究室 研究員

金 昊 起

材料工學科 教授

1. 머리말

1880년 큐리형제에 의해 電氣石의 圧電效果가 發見된 이래로 結晶의 대칭중심을 갖지 않는 20종의 結晶群에서 發電現象이 발견됨으로써 현재는 圧電材料로서의 세라믹에 대한 應用分野가 通信, 動力, 음향 및 着火裝置에 이르기까지 전자세라믹(Electroceramics)분야가 電氣, 電子産業의 핵심부품으로서의 중요한 위치를 차지하고 있다.

이들 圧電材料는 전기에너지와 기계에너지의 相互變換을 이용한 것으로 素子에 기계적인 힘을 가함으로써 전기적인 에너지를 얻을 수 있고, 역으로 전기에너지를 기계에너지로 변환시킬 수 있는 특성을 갖게 되므로 그 응용성은 Pick-up, Microphone 가속계 및 각종 센서 재료로 널리 사용되고 있다. 이들의 이용은 주로 機械의振動을 전기에너지로 변환시키는 목적으로 사용되며 발생된 전기 에너지의量は 매우 작으므로 受動素子로 사용되고 있다.

근래에 와서 발생된 전기에너지를 직접 일에 이용시킬 수 있는 能動素子의 개발이 급속히 진행되어 Gas機器用 圧電式 點火裝置등에 이용되게 되었다.

도시의 Gas사용 수요가 급증되면서 Gas着火時 안전성 문제가 대두되어 착화시 발생하는 폭발성의 위험을 방지할 수 있는 차원에서 圧電세라믹을 이용한 點火裝置가 개발되었다. 이는 세라믹素子의 직접압전효과(Direct Piezoelectric Effect)를 이용한 것으로 圧電素子 자체에서 발생하는 高電壓의 放電現象에 의한 着火方式을 채택하므로, 사용이 매우 편리하고 높은 안정성을 지니므로 가정용 Gas기구로부터 공업용에 이르기까지 그 수요는 점차 증가 추세에 있다.

이하에 세라믹압전재료의 특성 및 제조방법, 圧電着火特性에 대해 개략적으로 기술하고자 한다.

2. 圧電세라믹 振動子の 特性

圧電세라믹의 전기적인 에너지의 발생과 기계적인 진동은 圧電效果에 의하게 되며 이 圧電效果(Pie-

electric Effect)란, 物質에 張力이나 應力(Stress)을 가하게 되면 變形(Strain)이 일어나 結晶에 誘電分極(Polarization)이 발생되어 電界(Field)가 생기고 (壓電正效果), 역으로 結晶에 電界를 가하여 分極을 일으키면 結晶은 變形되어 應力이 생기게 되는 현상을 말한다(壓電逆效果), 壓電性を 나타내는 結晶에서, 機械量(탄성량)으로서는 應力T와 變形S를 電氣量(유전량)에 대해서는 電界E와 電荷密度D로 나타낸다.

壓電效果에 따른 이들 량의 상호관계 독립변수의 선정에 따라 다음형태의 壓電方程式이 사용된다.

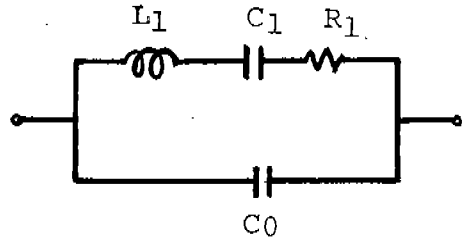
$$\begin{aligned}
 \text{d형식} & \begin{cases} S = s^E T + d E \\ D = d T + \epsilon^T E \end{cases} \\
 \text{e형식} & \begin{cases} T = c^S S - e E \\ D = e S + \epsilon^S E \end{cases} \\
 \text{g형식} & \begin{cases} S = s^D T + g D \\ E = -g T + \beta^T D \end{cases} \\
 \text{h형식} & \begin{cases} T = c^P S - h D \\ E = -h S + \beta^S D \end{cases}
 \end{aligned}$$

電壓세라믹에 交流電界를 가하게 되면 周波數에 따라 기계적인 진동에 의해 공진을 일으키게 되는 데, 이때 공진점 부근에서의 전기적인 동가회로는 그림 1 (a)과 같이 나타낸다. 여기서 C_0 는 電極간 정전용량, C_1 은 등가 Compliance, L_1 은 등가질량, R_1 은 기계적인 저항을 나타낸다. 이 동가회로에서 직렬공진주파수 (=공진주파수) f_r 과 병렬공진 주파수 (=반공진주파수) f_a 는 다음 식으로 된다.

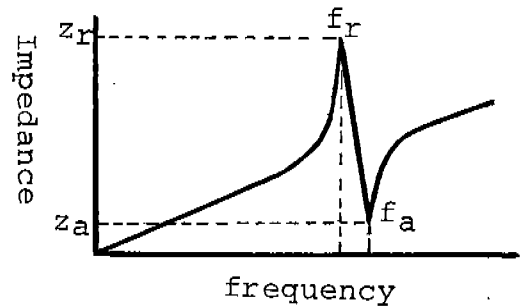
$$\begin{aligned}
 f_r &= 1/2 \pi \sqrt{L_1 C_1} \\
 f_a &= 1/2 \pi \sqrt{L_1 / \left(\frac{1}{C_0} + \frac{1}{C_1} \right)}
 \end{aligned}$$

이와같은 공진특성은 그림 1 (b)의 임피던스 - 주파수 관계로 나타내며 임피던스 最小, 最大값이 f_r, f_a 로 된다.

壓電體 전극간에 가해진 전기에너지 - 기계에너지 사이의 相互變換能率을 나타내는 電氣機械結合係數는 壓電體의 壓電特性을 나타내는 尺度로써 K로 표시한다. 전기에너지 U_d , 기계 에너지 U_e , 상호 결합



(a) 共振點 부근의 等價回路



(b) 임피던스의 周波數 特性

<그림-1>

에너지 U_m 일 때

$$R = U_m / \sqrt{U_d \cdot U_e}$$

으로 표시하며, 円柱形 素子の 경우, 두께방향진동의 結合係數 R_{33} 는

$$\begin{aligned}
 R_{33}^2 &= \frac{\pi}{2} \frac{f_r}{f_a} \tan^2 \frac{\pi}{2} \frac{\Delta f}{f_a} \\
 \Delta f &= f_a - f_r
 \end{aligned}$$

이며 壓電定數 d_{33} 와 g_{33} 는 유전율 ϵ_{33}^T 와의 관계로 부터

$$\begin{aligned}
 d_{33} &= R_{33} \sqrt{\epsilon_{33}^T S_{33}^E} \\
 g_{33} &= d_{33} / \epsilon_{33}^T
 \end{aligned}$$

여기서, ϵ_{33}^T : T가 一定할 때의 誘電率

S_{33}^E : E가 一定할 때의 탄성 Compliance

로 표시된다.

3. 壓電세라믹材料

壓電材料는 一般的으로 單結晶材料, 세라믹材料, 薄膜材料, 高分子材料로 분류되며 電子機器의 진보

로 材料部品の 高性能化, 小型化, 高周波化 등에 대응되는 材料特性이 요구되고 있으므로 이 재료중 圧電세라믹재료는 이 特性要素를 만족시킬 수 있는 材料로 볼 수 있다.

圧電세라믹재료가 갖는 圧電特性을 열거하면 다음과 같다.

- i) 誘電率(ϵ)이 높다: 전기에너지의 축적량이 많다.
- ii) 彈性否定數(S)가 크다: 적은 應力으로 變形을 크게할 수 있다.
- iii) 圧電否定數(d)가 크다: 電界에 따른 變形량이 크다.
- iv) 電氣機械結合係數(R)가 높다: 전기-기계 상호, 에너지변환능률이 크다.
- v) 機械의品質係數(Qm)이 크다: 기계적 에너지 손실이 적다.

이들의 特性을 만족시키기 위해서는 單成分세라믹으로는 어렵고 多成分세라믹의 固溶체가 사용되고 있다. 圧電材料로 주로 사용되는 세라믹 재료와 압전특성은 표 1과 같다.

〈표-1〉 圧電세라믹특성

	조성계	압전특성 ϵ k_p k Q_m
단 분 계	BaTiO ₃	1170 0.32 0.49 970
	PbTiO ₃	190 0.06 0.45 1050
	KNbO ₃	430 0.3
2 분 계	PbTi _{0.48} Zr _{0.52} O ₃	612 0.529 0.670 860
	Na _{0.5} K _{0.5} NbO ₃	<450 >0.42 0.53 240
3 성 분 계	Pb(Mg _{1/3} Nb _{2/3})O ₃ -PbTiO ₃ -PbZrO ₃	1650 0.62 - 75
	Pb(Sb _{1/2} Nb _{1/2})O ₃ -PbTiO ₃ -PbZrO ₃ +MnO ₂	1000 0.40 - 4000
	Pb(Mn _{1/3} Nb _{2/3})O ₃ -PbTiO ₃ -PbZrO ₃	1000 0.60 - 2000
	Pb(Mn _{1/3} Sb _{2/3})O ₃ -PbTiO ₃ -PbZrO ₃	1000 0.68 - 2000
	Pb(Co _{1/3} Nb _{2/3})O ₃ -PbTiO ₃ -PbZrO ₃	2200 0.64 0.71 110
	Pb(Cd _{1/3} Nb _{2/3})O ₃ -PbTiO ₃ -PbZrO ₃	600 0.50 0.55 800

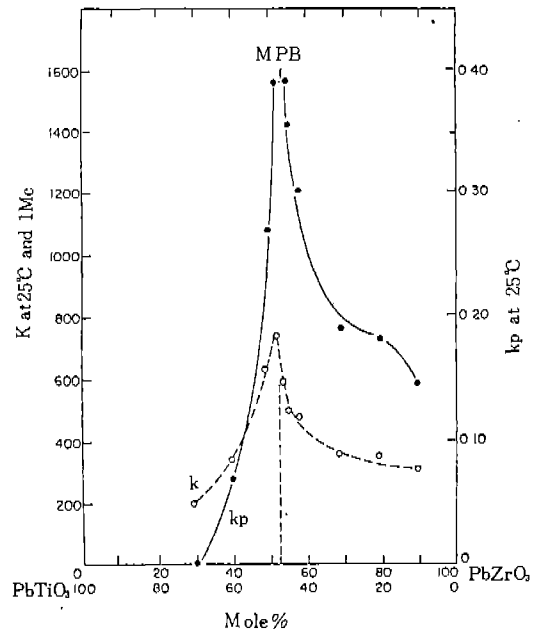
(1) BaTiO₃계 세라믹스

티탄산바륨(BaTiO₃)은 高誘電率 세라믹재료로서 Perovskite형 결정구조를 가지며 실온에서 正方晶系로 되는 強誘電性 圧電結晶이다. 이 재료는 Ba

TiO₃와 TiO₂를 固溶体化한 것으로 120°C 부근에서 Curie점이 나타나므로 실온에서 사용시 温度와 經時變化(Aging)가 크므로 CaTiO₃나 PbTiO₃ 등의 構成元素로 치환시킴으로써 이들의 特性을 개선하여 사용한다. 이 재료는 초음파세척기, 가습기등의 초음파 변성기나 Sonar, Hydrophone 등의 수중음향변성기등에 실용화 되어 있다. 또한 ABO₃形 強誘電체로써의 PbTiO₃는 La_{2/3}TiO₃, MnO₂등을 첨가함으로써, 高密度로써 기계적강도 및 저항율이 증가되어 結合係數가 크고 圧電諸定數의 温度 및 經時變化 特性이 우수하여 高周波用 세라믹 공진자등에 실용화 되고 있다.

(2) (Pb(Ti, Zr)O₃)계 세라믹스

PbTiO₃와 PbZrO₃를 固溶体化한 지르콘티탄산염 (Pb(Ti, Zr)O₃)세라믹은 結晶構造에 대한 組成의 존성이 명확하며 소위 Morphotropic 相轉移 근방에서 큰 圧電性이 나타나게 된다. 그림 2와 같이 각각의 圧電定數특성이 48/52mol%(Ti/Zr)에서 최대 값을 나타내는 것은 正方晶과 三方晶의 相境界(M-



〈그림-2〉 相境界부근에서의 圧電特性

orphotropic Phase Boundary MPB)를 형성하기 때문이며, 이 MPB에서는 温度特性이 안정되므로 큰 压電性を 안정되게 이용할 수가 있다. 또한 材料特性은 Pb의 일부를 Ca, Sr, Mg 등으로 치환하거나 미량의 첨가물을 사용함으로써 개선시킬 수가 있다.

(3) 3 成分계 세라믹스

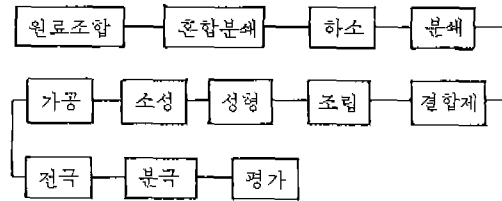
2 成分계에 ABO_3 型の 成分을 加함으로써 $PbTi_3O_7$, $-PbZr_3O_{10}$, $-(ABO_3)_2$ 의 3 成分으로 构成되는 複合構造를 갖게되며 各各의 組成에 따라 結晶相의 分포가 달라지게 되며 相境界에서 큰 压電性を 나타낸다.

ABO_3 形의 化合物로써 $Pb(Mg_{1/3}, Nb_{2/3})O_3$ 는 Pb(Ti, Zr) O_3 계보다 우수한 压電特性을 나타내며 이 3 成分계에 미량의 MnO_2 , NiO_2 등을 첨가함으로써 소결성, 유전성 등을 개선시킬 수 있으므로 응용성에 알맞는 재료의 제어가 가능하게 된다.

이 以外에도 투과성압전세라믹스로서 可視光이나 赤外光에 대해 透過率이 큰 PLZT가 개발되었으며 Pb를 사용하지 않는 非酸系 압전세라믹스로서 $NaNbO_3$, $-KNbO_3$ 나 $NaNbO_3$, $-LiNbO_3$ 계가 고주파용으로 개발되었다.

4. 製造方法

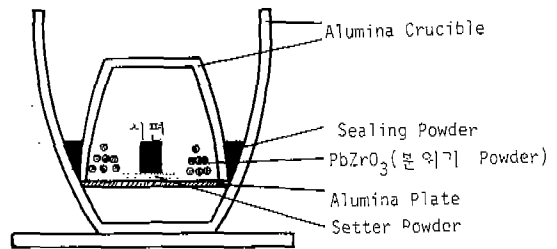
일반적인 压電세라믹의 제조공정도는 그림 3 과 같다. 우선 原料組合은 앞에서 설명한바와 같이 應用 压電素子の 特性에 알맞는 材料 및 첨가제의 선택에 의하며 이들 原料의 混合은 Ball mill을 사용한 混式混合方式이 보통 사용되고 있다. Ball mill에 순수물과 組合原料를 넣고 回轉數, 混合時間 등을 조절하여 混合粉碎하게 된다. 假燒工程은 조합원료를 固相反應시키는 것으로 보통 860~900℃ 범위에서 소성한다. 일단 반응된 세라믹을 本燒成 때에 反應의 均일성을 유지시키기 위해 미세하게 粉碎한 후 결합제를 세라믹 粉末에 混合한 다음 성형을 좋게 하기 위해 流動性이 좋은 적당한 크기의 粒子상태로 均일하게 하는 造粒工程을 거치게 된다. 造粒이 끝



〈그림-3〉 压電세라믹의 製造工程

난 粉末을 요구되는 임의의 모양으로 加壓成形하게 된다. 成形壓力은 材質이나 形狀에 따라서 다르지만 보통 0.3~2 Ton/cm²의 壓力을 가하게 된다. 本燒成에 있어서 燒成溫度는 組成, 添加物, 假燒溫度 등에 의존하게 되며 보통 1200~1500℃ 내에서 行하게 된다. 특히 PZT계 세라믹 燒成에 있어서는 PbO의 휘발 방지에 주의를 기울여야 한다. PbO의 휘발을 억제시키기 위해서 그림 4의 방법이 사용되며 成形體를 용기내에 밀폐하여 PbO분위기 내에서 燒成하게 된다.

压電진동자로 사용하기 위해서는 공질 주파수에 따라 素子를 加工한후, 500~800℃ 정도에서 소결하여 銀電極을 부착시킨다. 소성이 완료된 세라믹은 压電性を 나타내지 않으므로 压電性を 부여하기 위하여 직류고전계를 양전극 사이에 가하여 分極處理(Poling)을 하며, 이때 분극정도는 溫度, 電界, 유지시간등에 의존하게 된다.



〈그림-4〉 压電세라믹의 燒成方法

5. 着火用压電세라믹

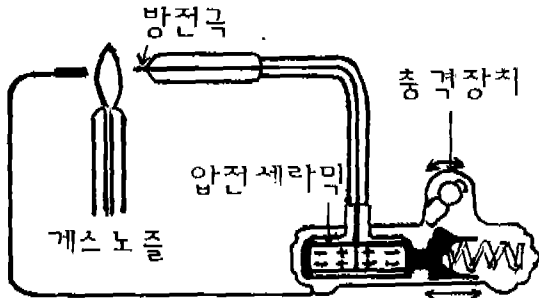
压電着火裝置는 压電세라믹중 기본적인 應用例로

써 圧電세라믹素子에 기계적인 응력을 가함으로써 발생하는 고전압을 불꽃방전시켜 분출Gas를 點火하는 장치이며 圧電素子에 가해지는 壓力의 시간변화에 따라 충격식 (Impact Type)과 열증식 (Squeeze Type)으로 구분된다. 前者는 Spring에 축적된 기계적에너지를 圧電素子에 일시에 가하는 방식이며 後者는 힘을 서서히 가하는 방식이다. 표 2에 이들의 특성을 비교하였다.

圧電着火裝置의 구성은 그림 5와 같으며 圧電素子 2개를 병렬로 구성하여 방전에너지를 증가시키는 구조로 되어 있다.

〈표-2〉 Impact Type과 Squeeze Type의 비교

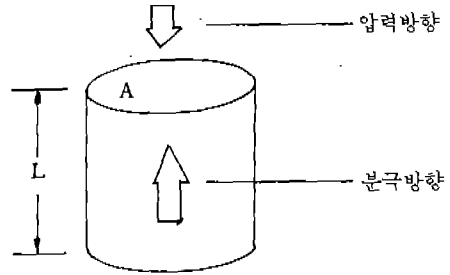
	Impact Type	Squeeze Type
1	방전시간이 짧다 (μs)	방전시간이 길다 (ms)
2	방전이 2회 발생	방전 3-5회 발생
3	방전이 안정	방전이 가압력에 의해 변화
4	외형이 작다	외형이 크다
5	충격음을 낸다	충격음이 없다
6	방전전력이 크다	방전전력이 작다
7	열화에 강하다	열화에 약하다



〈그림-5〉 圧電着火裝置의 構造

圧電세라믹素子の 모양은 円柱狀으로 그림 6과 같이 양전극방향으로 分極되어 큰 圧電性을 나타내게 된다.

면적 A, 길이 l의 素子에 힘 F를 가하게 되면 양전극사이에 고전압이 발생되어 순간적인 電氣放電이 발생된다. 이때의 발생전압 V는



〈그림-6〉 着火用 圧電素子

$$V = g_{33} \frac{l}{A} F \text{ (V)}$$

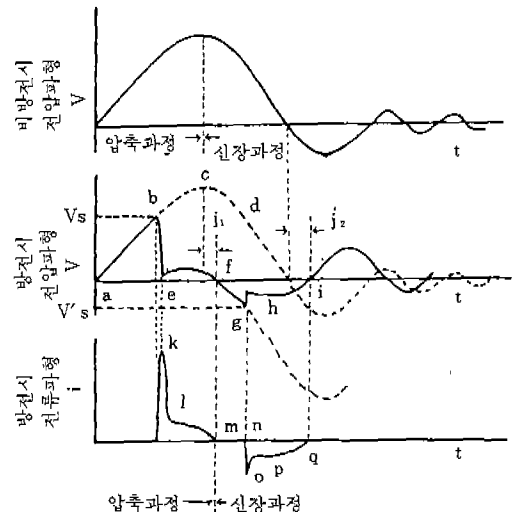
g_{33} : 電壓出力係數 (V. m/N)

실용적인 l/A 의 값은 1.4~2.2 범위이며 일반 Gas기구에 사용되는 크기는 2.5mmφ × 4mm~7mmφ × 15mm 정도로서 Gas량이나 종류에 따라 결정된다. 가해지는 壓力 F는 素子の 기계적강도를 고려하여 그 한계를 결정해야 하며 약 200~500kg/cm² 힘이 가해질 때 10~20KV의 전압을 얻을 수 있다.

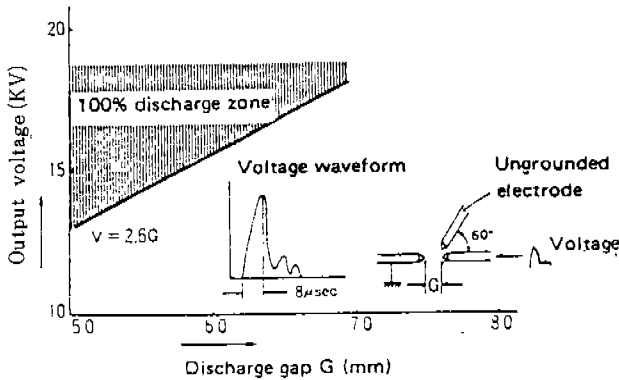
그림 7는 放電時의 電壓, 電流波형을 나타낼 것으로 이때 발생되는 방전에너지는

$$E = \int_0^Z i(t) v(t) dt$$

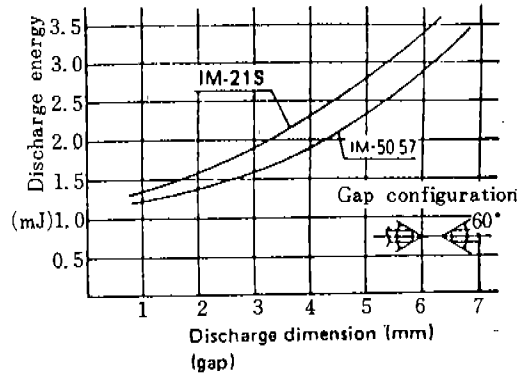
Z : 방전시간



〈그림-7〉 Impact Type의 放電波형



(a) 放電 Gap에 따른 放電電壓



(b) 放電Gap에 따른 放電에너지

(그림-8)

로 구해지므로 着火特性을 向上시키기 위해서는 방전전압을 크게 할 필요가 있다. 着火時에 필요한 방전에너지는 다음과 같이 Gas 종류에 따라 다르게 된다.

- Butan : 0.76mJ
- Methan : 0.33mJ
- Propan : 0.31mJ
- 천연Gas : 0.2mJ

또한 방전극간의 거리에 의해 큰 차이를 나타내므로 Gas 종류에 따른 着火에너지와 방전Gap의 크기를 고려해야만 한다. 그림 8 (a) (b)와 같이 방전 Gap이 증가하면 그외 에너지가 증가하게 되나 방전 발생에 어려움이 뒤따르게 된다.

방전특성을 개선하기 위해 방전시의 발생전압을 증가시키기 위해서는 재료특성에 의해 정해지는 전압계수 g_3 가 커야하며 기계적충격에 대해서 충분한 강도를 유지해야하고, 연속사용에 대해 피로현상이나 經時變化가 적어야 되는 등의 조건이 구비되어야 한다.

6. 맺음말

機能材料로서의 세라믹은 圧電性이 우수한 재료의 개발로 전자세라믹素材分野에 있어서 受動素子の 가치 뿐만이 아니라 電磁氣的, 光學的, 機械的

機能을 겸비함으로써 그의 應用性은 매우 크다고 하겠다.

이의 응용분야는 高周波用 Filter, 음향기기, 초음파기기, 고전압발생 장치에의 이용으로 크게 분류되며 이의 應用素子로서는 발진자, 세라믹필터, 圧電Trans, 압전부자등으로 고품질화 내지는 소형경량화라는 측면에서 기존素子の 機能향상은 물론 새로운 전자재료의 개발에 중요한 가교적 역할을 담당하고 있다고 하겠다.

아직 착화용압전소자등 전자세라믹부품의 수요를 거의 수입에 의존하고 있는 국내 실정에 비추어 이의 국산화양산 및 새로운 기능성세라믹素材의 개발에 많은 참여가 기대되는 바이다. *