

SMD형 고안정 수정 진동자의 전극에 따른 Aging 특성

논문
12-4-14

Aging properties of SMD type quartz crystal resonator with variation of electrodes.

신현규*, 최덕균*, 이희수**, 엄우식**, 손우창***, 고용득***

(Hyun-Gyoo Shin*, Duck-Kyun Choi*, Hee-Soo Lee**, Woo-Sik Um**, Woo-Chang Son***, Yong-Deuk Ko***)

Abstract

Electrode and adhesion layer were deposited onto quartz crystal blank as electrodes by thermal evaporation method. Quartz crystal resonators was made by using that quartz crystal blanks and then frequency stability was measured with variation of electrode materials and annealing temperatures. Au, Ag, and Al were used as electrode materials and the resonator which has Au electrode had the finest frequency stability. NiCr, Ni, Ti, Al, and Ag were used as adhesion layer between electrode and quartz crystal blank because the adhesion force between Au and quartz crystal blank were not strong enough for the electrode. In adhesion test, NiCr had the finest adhesion force, so we used it as adhesion layer in this work. The annealing process from R.T. to 350℃ changed the microstructure of electrode and the diffusion of adhesion layer into electrode was observed. After the annealing at 250℃, the grain growth of electrode material by recrystallization was observed and the observations by auger electron spectroscopy indicated that the adhesion layer diffused into Au electrode during annealing process. Acceleration test showed that the diffusion had influenced the frequency shift. The sample which was annealed at 150℃ had the finest frequency stability in this work.

Key Words(중요용어) : Quartz Crystal Resonator(수정진동자), Gold electrode, adhesion layer(부착층), Aging, Frequency(주파수), SMD(표면실장형), Acceleration test(가속시험)

1. 서 론

최근 정보통신과 이동통신 분야의 급격한 발전으로 인하여 전자부품의 소형화, 고안정화, 고정밀화가 이루어지고 있는 것이 세계적인 추세이며, 특히 이동통신 분야에서 매우 중요한 위치를 차지하고 있는 수정 진동자의 경우 단순한 주파수 발진기로서가 아니라 보다 정밀하고 경시변화에 대한 특성이 우수한 소자가 필요하게 되었다. 수정 진동자의

주파수 특성은 수정면의 두께, 크기 그리고 절단각에 의해 가장 직접적으로 영향을 받으며 고정밀도의 소자에서 요구되는 경시변화 특성에 영향을 주는 인자로는 전극물질의 종류와 특성, 전극의 증착 조건¹⁾ 등이 있다. 본 연구에서는 전극 물질로 금속 중에 가장 화학적으로 안정하다고 알려져 있는 Au를 사용하였다. Al, Ag 등 기존에 사용되던 전극 물질들은 오랜 기간 사용 시 산화 등의 문제가 있고 이를 막기 위해 소자의 패키지 내에 불활성 가스를 채워야 하는 등의 문제점이 있기 때문에 원료 자체로는 고가이지만 성능, 공정 면에서 우수한 Au를 사용하였다²⁾. 일반적으로 Au는 quartz에 대한 부착력이 좋지 않은 단점이 있기 때문에 본 실험에서는 이를 극복하기 위하여 adhesion layer를 사용하였다. 또한 보다 안정적인 주파수 안정도를 구현하기 위하여 수정 진동자를 상온에서 350℃까지 열처리하여 전극의 특성 변화를 분석하고 소자의

* : 한양대학교 대학원 무기재료공학과
** : 산업기술시험원 기술감리본부 재료평가팀
*** : 미래통신 주식회사
(서울시 구로구 구로3동 222-13, E-mail : hgshin@madang.ktl.re.kr)
1999년 1월 20일 접수, 1999년 3월 19일 심사완료

주파수 안정도를 측정하였다. 미국, 일본 등 선진국에서 수정 발전기에 대한 연구는 매우 많이 되어 오고 있지만, 전극이 소자에 미치는 영향 등에 대한 체계적인 연구는 거의 이루어지지 않고 있는 실정이다. 본 연구에서는 AT-cut의 수정편에 thermal evaporation법으로 전극을 증착하여 수정 진동자를 제작한 후 증착조건, adhesion layer, 열처리 등에 따른 소자의 주파수 및 aging특성 변화를 고찰하였다.

편을 전도성 paste를 이용하여 ceramic package내에 장입시키고 그 위에 cap을 씌우므로써 수정 진동자를 제작하였다(Fig. 1). 제작된 진동자를 상온부터 350℃까지 4단계로 열처리하여 전극과 adhesion layer의 미세구조 변화, 깊이조성을 분석하였고, 125℃에서 85시간동안의 가속시험을 거쳐 주파수의 경시변화에 대한 특성을 확인하였다. 수정진동자의 주파수 특성은 network analyzer (HPE5100A)로 측정하였다.

2. 실험방법

실험에 사용된 수정편은 12.8MHz 진동자에 사용되는 AT-cut으로서 전극의 증착 공정이 이루어지기 전 먼지 등으로 인한 표면의 오염을 방지하는 공정으로 초음파 세척기에서 15분 동안 세척을 한 후 에탄올에 1시간 동안 담가두어 청정상태를 유지시켰다. 전극과 adhesion layer는 thermal evaporator를 이용하여 1×10^{-6} torr의 진공 하에서 2~4A/sec의 속도로 증착하였으며 증착되는 박막의 두께 및 증착속도는 6MHz의 주파수를 갖는 quartz crystal을 사용한 Thickness/Rate monitor (STM-100)을 이용하여 측정하였다. 전극과 수정편의 미세구조 및 계면상태는 SEM(Scanning Electron Microscope)을 이용하여 확인하였고, 전극과 adhesion layer의 깊이 조성 분석은 AES(Auger Electron Spectroscopy)를 통해 분석하였다. 전극물질로는 Au, Ag, Al을 사용하여 주파수의 경시변화 특성을 비교하였고, Au의 부착특성을 향상시키기 위한 adhesion layer는 일반적으로 세라믹과 금속의 접합 시에 사용되는 Ag, Al, Ni, Ni-Cr, Ti를 사용하였다. Adhesion layer의 전극 부착력에 대한 분석은 scratch tester(CSEM, Revetest)를 이용하였으며, 측정조건은 scratch rate를 20 mm/min, load rate를 20N/min으로 하여 측정하였다. Scratch tester는 diamond tip이 부착된 하중축이 기판과 접촉할 때까지 서서히 하강시킨 후 수평이동을 하여 박막표면에 scratch를 생성시켜 이 때 발생하는 acoustic emission 값을 측정하여 급작한 변화를 일으키는 지점을 박막이 파괴되는 point로 설정하여 adhesion특성을 측정하는 방법이다. 수정편과 전극에 대한 직접적인 분석은 전극이 증착된 시편만으로도 가능하지만 주파수 특성에 대한 분석은 시편 자체만으로 불가능하기 때문에 전극과 adhesion layer가 증착되어진 수정

3. 실험결과 및 고찰

그림 2.는 기존에 전극물질로서 많이 사용되고 있는 Ag, Al과 화학적으로 안정하다고 알려져 있는 Au를 전극물질로 사용하여 수정진동자를 제작한 후 125℃에서 85시간동안 가속시험을 실시한 주파수 안정도 결과이다. 시험 결과 Au가 기존에 사용되는 Ag, Al보다 수십에서 수백배의 안정도를 나타내는 것을 확인할 수 있었는데, 이는 Ag와 Al의 경우 소자 제작 시에 ceramic package 내에 불활성 가스등을 채우지 않았기 때문에 산화 및 오염이

일어나 주파수 안정도가 떨어진 것으로 판단된다¹⁾.

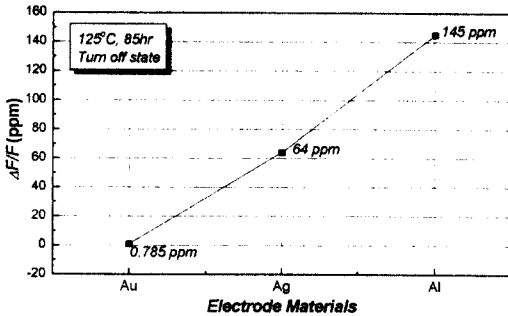


그림 2. Al, Ag, Au를 전극으로 사용한 수정진동자의 가속시험에 의한 주파수 안정도 결과

Fig. 2. Frequency stabilities of quartz crystal resonator with Al, Ag and Au electrode.

그림 3.은 수정편에 전극을 증착 할 경우, adhesion layer의 증착 여부에 따른 전극의 상태를 보여주고 있다. (a)의 경우 adhesion layer를 사용하지 않은 것으로 수정편과 Au 전극 사이에 박리 현상이 일어난 것을 확인할 수 있었으며, (b)는 adhesion layer를 사용했을 경우로 부착력이 향상된 것을 알 수 있었다. 수정 진동자는 수정편의 압전 현상에 의한 기계적인 진동이 주파수로 발진 되기 때문에^{3), 4)} 수정편에 부착된 전극의 박리 현상은 소자의 주파수 특성에 치명적인 영향을 미치게 된다.

그러므로 화학적으로 안정하다고 알려져 있는 Au를 전극으로 사용하기 위해서는 adhesion layer가 필수적이라고 할 수 있다. 본 실험에서는 Ag, Al, Ni, NiCr(Ni:Cr=8:2), Ti을 adhesion layer로 사용하여 Au의 부착력을 향상시키고자 하였다. 그림 4.는 5종류의 adhesion layer 물질에 따른 adhesion 특성을 나타낸 것으로 NiCr-Ni-Al-Ti-Ag의 순으로 부착특성이 나타나 adhesion layer를 사용한 경우 모두 Au만을 사용했을 경우보다 우수한 부착특성을 나타내는 것을 알 수 있었다. 이 실험 결과에 따라 모든 시편에 가장 좋은 부착력을 나타낸 NiCr을 adhesion layer로 사용하였다.

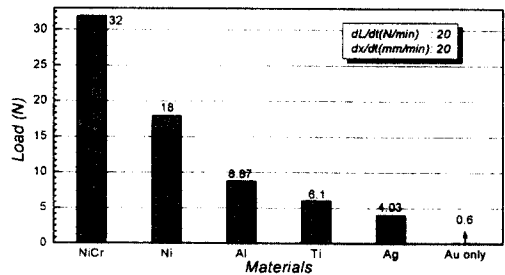


그림 4. 5가지 adhesion layer에 대한 전극의 부착 특성(NiCr, Ni, Al, Ti, Ag)

Fig. 4. Adhesion characteristics of electrode with variation of five adhesion layer.

그림 5.는 수정진동자의 제작 과정 중 하나인 열처리에 따른 전극 표면의 변화를 나타낸 사진으로 150℃까지의 열처리에서는 변화가 일어나지 않았으며, 250℃이상에서는 전극의 grain size가 3~5배 정도 증가한 것을 확인할 수 있었다. 이는 금속에서 녹는점의 1/3~2/3정도의 온도에서 발생하는 재결정화⁵⁾에 의한 현상이라고 판단이 되었으며, 전극의 재결정화에 의한 adhesion layer의 변화를 확인하기 위하여 AES로 깊이조성 분석을 실시하였다.

분석결과 그림 6.에 나타난 바와 같이 250℃이상의 열처리에서 adhesion layer로 사용된 NiCr 중 약 3~5 atomic%가 Au 내로 확산현상을 일으킨 것을 확인할 수 있었다. Cr, NiCr등의 Au 내로의 확산현상이 보고되어 있기는 하지만⁶⁾ res-

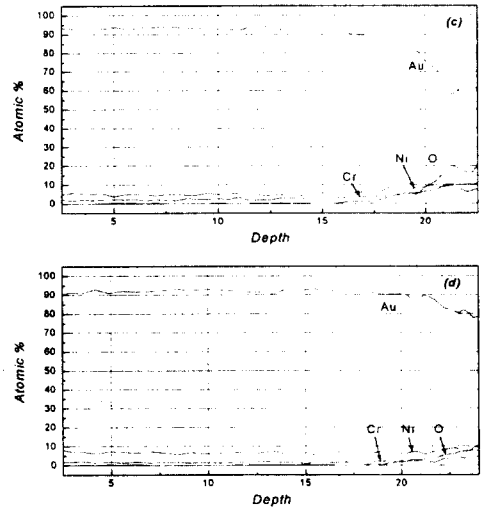
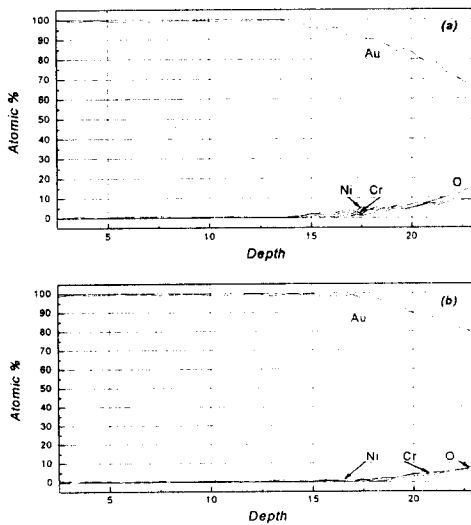


그림 6. 열처리 온도에 따른 전극의 깊이 조성 (AES)
 Fig. 6. Depth profiling of electrode at various annealing Temperatures.
 (a) R.T, (b) 150°C, (c) 250°C and (d) 350°C

onator의 주파수와 관련된 보고는 거의 없는 실정이다. 이러한 전극물질의 grain size 변화와 adhesion layer의 확산에 의한 수정진동자의 주파수 안정도 변화를 측정하기 위해 125°C에서 85 시간동안 가속시험을 실시하여 10년의 기간을 가정 한 후 주파수 변화율을 확인하였다. 그림 7.에 나타난 바와 같이 150°C에서 열처리를 한 시편이 가장 안정한 주파수 변화율을 나타냈으며 그 이상의 온도에서는 변화율이 증가하는 것을 볼 수 있었다. 따라서 본 실험에서는 수정진동자의 안정화를 위한 열처리는 전극의 재결정화 온도인 200°C 부근에서 하는 것이 가장 적당한 것으로 나타났다.

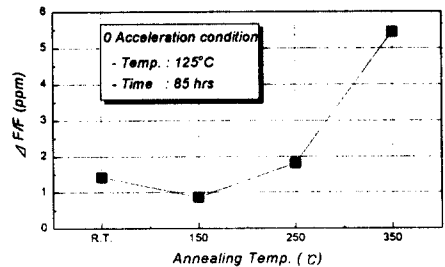


그림 7. 열처리 온도에 따른 주파수 안정도 분석
 Fig. 7. Frequency stabilities of the resonator with variation of annealing temperatures.

4. 결 론

수정진동자에 사용되는 전극물질과 adhesion layer의 변화와 그에 따른 주파수 안정도를 분석해 본 결과 다음과 같은 결론을 얻게 되었다.

- 가. 기존에 전극물질로 사용된 Ag, Al과 화학적으로 안정한 Au를 전극으로 하여 가속시험에 의한 주파수 안정도를 비교해 본 결과 Au 전극이 우수한 주파수 안정도를 가지는 것을 확인할 수 있었다.
- 나. Au의 부착력을 향상시키기 위해 adhesion layer로 사용된 NiCr, Ni, Ti, Al, Ag의 5가지 물질 중 NiCr이 가장 우수한 부착력을 갖는 것으로 확인되었다.
- 다. 제작된 수정진동자에 대한 열처리 결과 150℃에서 처리된 시편이 가장 높은 주파수 안정도를 보였으며 이는 전극의 재결정화에 의한 자체적인 영향과 adhesion layer의 확산에 기인한 것으로 확인되었다.

참 고 문 헌

1. J. R. Vig and Thrygve R. Meeker, Proceedings of the 45th ASFC, 77-101, 1991.
2. P. H. Holloway, "Gold/Chromium Metallizations for Electronic Devices", Solid Stat Technology, pp. 109-115, February 1980.
3. D. W. Dye, Proc. Phys. Soc., 38, 399, 1926.
4. K. S. Van Dyke, Proc. IRE, 16 742, 1928.
5. Lawrence H. Van Vlack, "Elements of Materials Science and Engineering.", Addison-Wesley Publishing Co., 296-304 1990(6th).
6. G. Majni, G. Ottaviani and M. Prudenziati, "Interdiffusion of Thin Cr and Au Films Deposited on Silicon", Thin Solid Films, Vol. 38, pp. 15-19, 1976.