

통신기기용 대역통과필터의 공정에 관한 연구

A study on Photolithography of band pass filter for communication devices

이동윤*, 신용덕**

(Dong-Yoon Lee , Yong-Deok Shin)

Abstract

SAW filters were fabricated on LiNbO₃ substrates to evaluate frequency response and properties of photolithography. In the both of etch and lift-off methods, lift off method was superior to etch method in fabrication process. Frequency response property was measured by network analyzer. From a measurement of acoustic property, SAW propagation velocity was 3574.9m/sec for LiNbO₃ SAW filter.

Key words : SAW, photolithography, frequency response, propagation velocity

1. 서론

최근 수년간 정보 통신 분야는 이동 통신을 선두로 급속한 발전을 이루어 왔으며, 앞으로도 이러한 추세가 계속 되어질 것으로 전망되고 있다. 국내외적으로 통신분야에 사용되는 주파수 영역은 정보량의 증가와 전송 속도, 거리 등의 이유로 점점 고주파화 되어가고 있으며, 이에 상응하는 부품 또한 관심의 대상이 되고 있다. 그러므로 이에 따른 시스템과 부품 개발이 더욱더 중요한 실정이다.

본 연구의 목표는 이동통신의 핵심 부품인 SAW(Surface Acoustic Wave ; 표면 탄성파) 필터를 제작하기 위해 사진공정(photolithography)기술을 적용하였다. 사진공정의 개략도는 그림1에 나타내었다. SAW 필터의 특징은 제조기술에 사진공정 기술을 적용하므로 양산성이 뛰어나며 신뢰성이 높다. 사진공정은 마스크상에 설계된 패턴을 공정제어 규격하에 웨이퍼상에 구현하는 기술이다.[1] 이를 위하여 패턴이 형성되어 있는 마스크를 통하여, 특정한 파장을 갖고 있는 빛을 감광제(photoresist)가 도포되어 있는 웨이퍼상에 노출

(exposure)시켜 광화학 반응이 일어나게 되며, 그 다음 현상(development)공정시 화학반응에 의하여 패턴형성을 한다.

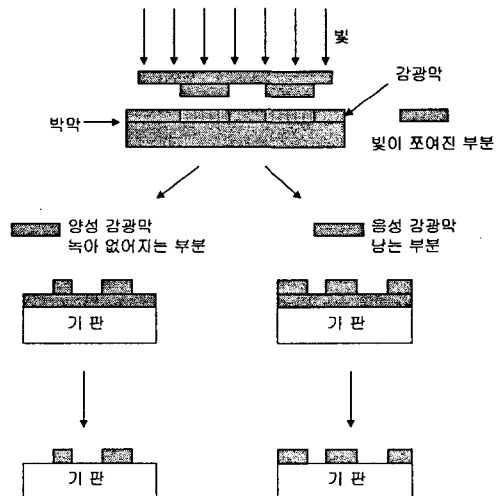


그림 1. 사진공정의 개략도

Fig. 1. Schematic diagram of photolithography

* 중부대학교 정보공학부

** 원광대학교 전기전자 및 정보공학부

형성된 감광막 패턴은 식각(etch)방식 또는 리프트오프(lift-off)방식에서 화학작용에 의해 제거된다. SAW 필터는 그림2와 같이 압전 기판상에 송/수신 금속 전극 막(IDT : InterDigital Transducer)을 배열하여, 압전효과에 의해 입력 전기 신호를 탄성 표면파로 전달한 후 다시 전기적 신호로 검출해내는 소자이다. 즉, 빗형 전극과 압전체에 따라 입력전기신호가 기판(Substrate)상에서 표면파로 변환되고 이 표면파가 다시 출력전기신호라는 변환을 하며, 이때에 특정한 주파수 신호만을 통과시키는 것이 동작의 기본이다. 이러한 SAW 필터는 IDT전극의 기하학적 구조에 의하여 주파수 특성이 결정되며, 특정 주파수의 신호만을 통과시키는 대역통과필터로 많이 이용되고 있다. SAW 필터의 특징은 작고 가볍고 얇으며 무조정 단일 패턴이므로 안정성과 신뢰도가 높고 다양한 응용분야 (TV, 이동통신, 위성통신, 군용 등) 및 반도체 공정을 사용한 대량 주문 생산이 가능하다. 탄성파를 전파시키는 압전(piezoelectric) 기판 재료로는 단결정 재료(SiO_2 , LiNbO_3 , LiTaO_3 등)와 ZnO 다결정 박막(thin film)이 있다. 본 연구에서는 LiNbO_3 SAW 필터를 제작하여 주파수 특성을 고찰하였다.

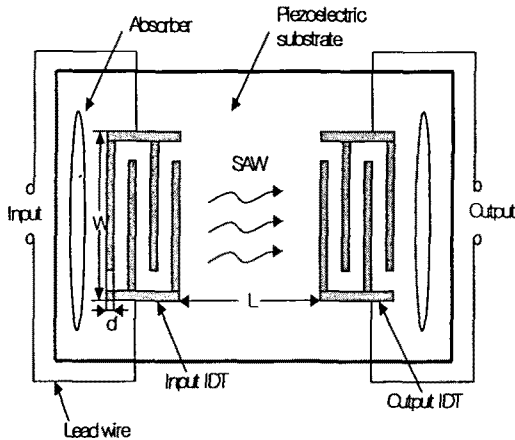


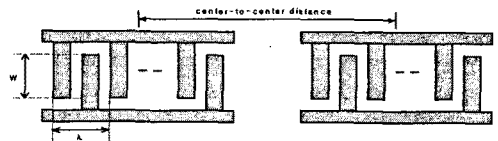
그림 2. SAW 필터의 기본 구조
Fig. 2. Basic structure of SAW filter

2. 실험

LiNbO_3 압전 기판은 기저 면인 기판 오염이 사진공정과 Al 증착에 영향을 미칠 수 있으므로 이 물질을 제거하기 위해 아세톤, 알코올, DI 워터 속

에서 각각 30분간 초음파 세척을 한 후 질소를 이용해 송풍 건조하였다. 마스크상에 설계된 패턴을 기판상에 구현하기 위해 필요한 사진공정의 과정인 스핀(spin), 소프트 베이크(soft bake), 정렬(alignment)과 노출(exposure), 현상(development), 하드 베이크(hard bake)를 순차적으로 진행하였다.

본 실험에서는 LiNbO_3 SAW 필터의 주파수 응답, 전파속도 및 삽입손실을 측정하기 위해서 uniform 형태의 대칭형 IDT를 이용하였다. 그림 3에 IDT의 구조와 제원을 나타내었다. 사용된 IDT는 Single electrode 로 IDT 파장은 $70\mu\text{m}$ 이고 전극수는 4쌍이다.



Single electrode IDT
Number of finger pair : 4
SAW wavelength : $70\mu\text{m}$

그림 3. IDT의 구조와 제원

Fig. 3. Structure and specifications of IDT

웨이퍼 표면처리에서 감광제의 접착력을 향상시키는 처리 방법이 중요하므로 HMDS(Hexa Methylene Di Silane)를 사용한다.[2] 본 실험에서는 LiNbO_3 웨이퍼와 감광제 사이의 접착력을 높이기 위하여 HMDS를 10초 동안 500 rpm, 35초 동안 3500 rpm으로 코팅 한 후, 감광제를 코팅 하였다.

감광제의 해상력은 막 두께와 깊은 관계가 있다. 막 두께가 작을수록 해상력이나 공정 마진이 커지나 너무 작으면 에칭이나 이온 주입시 막이 깨져버려 수율이 떨어지기 쉽다. 적절한 막 두께 외에도 도포된 막은 웨이퍼 전면에 걸쳐, 또 웨이퍼와 웨이퍼 간에 균일한 두께를 가져야 한다. 막 두께를 균일하게 유지하지 못하면 매번 노광 장비를 조절하고 bake 조건을 조절해야 하므로 불편할 뿐만 아니라 생산성이 떨어지기 때문이다. 감광제의 막 두께는 다른 조건들이 모두 일정하다고 가정할 때 다음의 식에 따른다.

$$t = kw^{\circ}$$

여기서 t 는 막 두께, w 는 회전 속도이며 k, α 는 상수이다.[3]

본 실험에서 PR(Photoresist) coating은 노광지역이 현상되고, 미노광지역이 패턴이 남는 양성 감광제로 LiNbO_3 웨이퍼에는 Hoechst AZ1518을 사용하여 10초 동안 500 rpm, 35초 동안 3500 rpm으로 PR coating하였다. 이때의 PR 두께는 약 $1\mu\text{m}$ 였다. 회전 도포할 때 disperse 가 끝나고 불과 2-3초면 감광제는 웨이퍼 전면으로 퍼지고 도포막이 형성된다. 그리고 막에 남아 있는 용매를 제거하기 위하여 soft bake를 하였다. soft bake는 감광막을 건조시키고, 기판과 감광막사이에 접착도를 향상시키며, 열에 의한 annealing 효과로 응력을 완화시키는 과정이다. 본 실험에서는 소프트 베이크 과정에서 MCB(Monochlorobenzene)처리를 하였다. MCB 처리는 대류식 오븐(convecton oven)에서 80°C , 25분간 건조한 후 MCB에 8분동안 노출하고 자연 건조 30분 후에 다시 오븐에서 80°C , 10분 동안 건조하였다.

노광기는 대개 stepper라고 부른다. Stepper에서는 해상력을 높이는 중요한 변수로 그 빛의 파장과 렌즈의 numerical aperture(NA)가 있는데 이들이 해상력과 더불어 중요한 공정 변수인 초점거리(depth of focus : DOF)에 대해 갖는 영향을 다음식에 나타 내었다.[4]

$$r = k_1 \frac{\lambda}{NA}$$

$$DOF = k_2 \frac{\lambda}{(NA)^2}$$

여기서 r 은 해상력, NA는 numerical aperture, λ 는 노광기에서 나오는 빛의 파장, DOF는 초점거리, k_1, k_2 는 사용하는 감광제 및 공정에 따른 상수이다.

해상력 r 은 작을수록 좋고 초점거리DOF는 클수록 좋으므로 위 식에서 볼 때 파장과 NA에서 서로 상충된 조건을 요구하게 된다. 본 실험에서는 마스크 Aligner(MJB21, Karl Suss)를 사용하여 근접 모드로 300W에서 LiNbO_3 웨이퍼를 12초 동안 노광하였다.

현상은 노광에 의해 변화된 감광제를 녹여 내어 마스크의 형상을 구현하는 공정으로 본 실험에서는 현상액인 AZ MMD-s와 300MFL로 적정시간 현상(Development)하였다. 현상액 : DI water의 비는 1:4로 현상 후 DI water로 충분히 세정하고 질소로 송풍 건조하였다.

Hard bake는 잔여 용제를 제거하여 감광막을

건조시키며 기판에 대한 감광막의 접착도를 증가시키는 과정으로 현상 후에 형성된 패턴 중에 포함된 물을 제거해 주고 패턴을 열경화시켜 후공정에서 패턴이 안정할 수 있도록 하는 공정이다. 본 실험에서 하드 베이크는 115°C 에서 30분간 건조하였다.

웨이퍼에서 그 역할을 다한 감광제는 완전히 제거 되어야 한다. 웨이퍼 위에 패턴을 형성하는 반도체 공정에는 리프트오프(Lift-Off)방식과 식각(Etch)방식이 있다. 식각방식에서는 식각 되어야 할 부분에 존재하는 감광막을 제거하기 위해 현상액(developer)과 세척액(rinse)을 사용한다. 식각에는 화학 약품을 사용하는 습식식각(wet etch)과 유기물인 감광제를 태워버리기 위해 산소 플라즈마를 사용하는 건식식각(dry etch)이 있는데 정확한 패턴형성이 가능한 반면에 많은 공정 변수를 갖고 복잡한 물리, 화학반응을 수반하므로 공정의 어려움이 있다. 특히 알루미늄 기판은 반사문제를 피하기 위해 자주 파소 노출해야하며 이것이 감광막이 심하게 일어나는 원인이 된다.[5] 그러므로 이러한 단점을 해결할 수 있는 리프트오프방식을 이용하는데 이 방식은 감광제 제거 용액을 사용하여 감광제와 함께 감광제위에 증착된 금속 막을 제거하고 원하는 금속 패턴만을 형성한다. 그러나 선평이

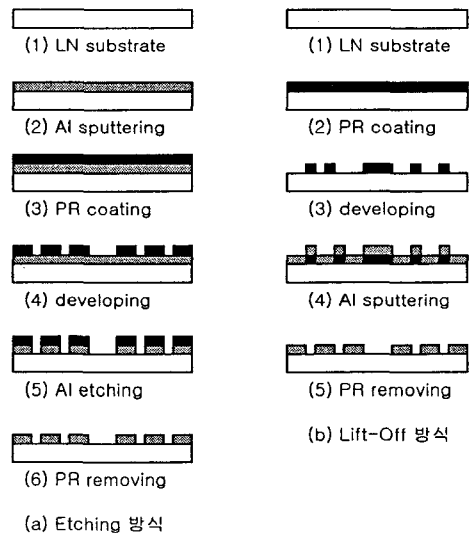


그림 4. 식각방식과 리프트-오프방식의 비교
Fig. 4. The comparison of etching and lift-off

미세한 경우 정확한 패턴 형성이 어려운 단점이 있다. 본 연구에서는 이러한 단점을 해결하기 위해

MCB처리를 하여 리프트오프방식으로 정확한 IDT 패턴을 구현 하였다. 그림4는 식각방식과 리프트오프방식의 공정상의 차이를 나타내고 있다. IDT를 형성하기 위한 Al 박막은 기판상에 pulsed dc reactive sputtering system으로 증착하였다. 이때 사용된 타겟은 지름 2", 두께 1/4" 의 Al 타겟(5N)을 사용하였고 타겟과 기판사이의 거리는 90 mm이며, 기판온도는 R.T., 초기진공도는 3×10^{-6} Torr이하에서 DC Power 20W, 2 mTorr의 스퍼터링 압력으로 약 1000A의 Al박막을 증착하였다.

미세한 패턴 구현시 기판위에 도포되어 있는 감광제를 노광하여 패턴을 형성할 때 패턴의 맨 윗면과 기판 사이 90°이어야 하지만 노광시에 MCB 처리를 하지 않으면 패턴의 맨 윗면과 기판 사이 각이 둔각이 형성되어 정확한 금속패턴을 구현하기 어렵다. 그러나, MCB 처리를 하면 패턴의 맨 윗면과 기판 사이 각이 예각이 형성되어 IDT의 선폭이 미세한 경우라도 정확한 금속패턴을 형성할 수 있다.

제작한 SAW 필터의 주파수응답, 임펄스응답, S-parameter 등을 측정하기 위해 HP Network Analyzer 3577A(5Hz-200MHz)를 사용하여 측정하였다. 특히, 외부 전자기파의 영향을 최소화 하기 위해 제작된 SAW 필터는 적절한 패키징을 한 후 측정 시스템과 연결하여 측정하였다.

삽입 손실은 SAW 필터의 S_{21} 파라미터에서 피크점에서의 손실값으로 하였고, 통과 대역폭은 최대점에서 3dB 감소하는 점에서의 값을 취했고, 중심 주파수는 3dB 대역폭의 중앙점의 주파수 값으로 하였다.

3. 결과 및 고찰

그림 5는 LiNbO₃ 기판에 single electrode IDT 형태로 제작된 SAW 필터의 주파수응답 특성을 Network Analyzer 를 사용해서 측정한 결과로서, 이 때 사용된 IDT의 파장은 70 μ m이고 IDT 전극수는 4쌍이며 SAW 전파속도를 3500[m/sec]로 하여 중심주파수는 50[MHz]로 제작하였다. LiNbO₃ 기판위에 제작된 SAW 필터는 중심 주파수가 51.07[MHz], 중심 주파수를 이용해 계산한 상속도는 3574.9[m/sec] 로서 중심 주파수 50[MHz]로 설계된 IDT 보다 전파속도가 약 75[m/sec]의 속도차를 보여 미미한 오차가 발생한 것을 알 수 있다. 삽입손실은 약 30[dB] 였지만 주파수 통과 대역 형태는 약간의 파형 왜곡이 존재함을 알 수 있다.

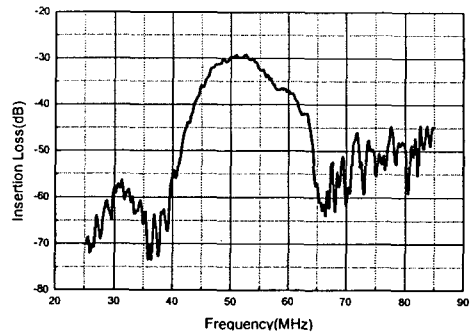


그림 5. LiNbO₃ SAW filter의 주파수 응답
Fig. 5. Frequency response of LiNbO₃ SAW filter

4. 결론

그림 5의 결과에서와 같이 미소하지만 중심 주파수가 이동하는 현상의 주된 원인은 IDT 전극과 전극폭의 부정확성에 있다고 할 수 있다. 이와 같은 원인은 사진공정시 본 실험에서 사용한 MCB 처리 리프트오프 방식의 보다 더 정확한 조건으로 상당히 개선될 것이다.

【참고문헌】

- [1] F. H. Dill, "Optical Lithography," IEEE Trans. Electron Devices, ED-22, 7, 440, 1975.
- [2] W. A. Moreau, Semiconductor Lithography -Principles, Practices, and Materials, Plenum Press, N.Y. 1988.
- [3] D. J. Kim, W. G. Oldham, and A. R. Neureuther, "Development of Positive Photoresist," IEEE Trans. Electron Devices, ED-31, 12, 1730, 1984.
- [4] C. A. Meak, "Analytical Expression for the Standing Wave Intensity in Photoresist," IEEE Trans. Electron Devices, ED-31, 12, 1730, 1984.
- [5] F. H. Dill, W. P. Homberger, P. S. Hauge, and J. M. Shaw, "Characterization of Positive Photoresist," IEEE Trans. Electron Devices, ED-22, 7, 445, 1975.