

ZnO/나노결정다이아몬드 적층 박막 SAW 필터

정두영, 강찬형*

한국산업기술대학교 신소재공학과

SAW Filter Made of ZnO/Nanocrystalline Diamond Thin Films

Doo Young Jung, Chan Hyoung Kang*

Department of Advanced Materials Engineering, Korea Polytechnic University,
 2121 Jungwang-Dong, Shihung-Si, Kyonggi-Do, 429-793, Korea

(Received August 9, 2009 ; revised September 2, 2009 ; accepted October 30, 2009)

Abstract

A surface acoustic wave (SAW) filter structure was fabricated employing 4 μm thick nanocrystalline diamond (NCD) and 2.2 μm thick ZnO films on Si wafer. The NCD film was deposited in an Ar/CH₄ gas mixture by microwave plasma chemical vapor deposition method. The ZnO film was formed over the NCD film in an RF magnetron sputter using ZnO target and Ar/O₂ gas. On the top of the two layers, copper film was deposited by the RF sputter and inter digital transducer (IDT) electrode pattern (line/space : 1.5/1.5 μm) was defined by the photolithography including a lift-off etching process. The fabricated SAW filter exhibited the center frequency of 1.66 GHz and the phase velocity of 9,960 m/s, which demonstrated that a giga Hertz SAW filter can be realized by utilizing the nanocrystalline diamond thin film.

Keywords: SAW filter, ZnO, Nanocrystalline diamond, Microwave plasma CVD

1. 서 론

표면탄성파(Surface Acoustic Wave: SAW) 필터는 전자기파의 주파수 성분과 위상 성분을 제어하여 인접 채널 신호를 제거하고 수신 채널 신호를 정형하는 대역통과필터(band pass filter)로서 이동통신기의 소형화, 경량화, 다기능화에 중요한 부품이다. 기존의 SAW 필터는 석영(quartz), LiNbO₃, LiTaO₃ 등의 압전성 단결정 기판을 이용하였으나 최근에는 ZnO 같은 압전성 박막을 이용하여 타 부품과 집적화 하려는 연구가 이루어지고 있다^{1,2)}. 또한 압전성 박막에 탄성계수가 큰 다이아몬드 혹은 사파이어 박막을 적층하여 SAW 필터를 제작하면 음파전달 속도가 높아져 GHz 급의 고주파 필터 구현이 가능하다³⁻⁵⁾.

한편 다이아몬드는 경도, 영률, 열전도율 등이 아

주 높고 불순물을 첨가하면 반도체 특성을 나타내는 등 우수한 기계적, 열적, 광학적, 전기적 특성을 지니고 있어 산업적인 관심이 크다. 특히 나노결정 다이아몬드(nanocrystalline diamond: NCD) 박막 합성 기술이 개발된⁶⁾ 이후, 국내에서도 관련 연구가 발표되고^{7,8)} 다양한 분야에서 상업적 응용이 시도되고 있다.

본 연구팀은 DC 플라즈마 CVD 방법으로 합성한 NCD 박막 위에 RF 마그네트론 스퍼터링 방법으로 ZnO 박막을 적층하고 AI 전극(Inter Digital Transducer: IDT)을 사용한 SAW 필터를 제작하여, 중심주파수 534 MHz, 위상속도 5,340 m/s의 다소 낮은 특성을 얻은 바 있다^{9,10)}. 본 연구에서는 마이크로웨이브 플라즈마 CVD 방법으로 NCD 박막을 합성하고 ZnO와 적층한 뒤, IDT 전극으로 AI 대신 Cu를 채용하고 lift-off 공정으로 식각하여 SAW 필터를 제작하여 주파수 응답 특성을 측정하였다.

*Corresponding author. E-mail : chkang@kpu.ac.kr

2. 실험방법

2.1 다이아몬드 박막 증착

다이아몬드 박막은 Ar과 CH₄ 혼합가스를 사용하여 Microwave Plasma Chemical Vapor Deposition (MPCVD) 방법으로 증착하였다. 2인치 Si 웨이퍼 기판을 BOE(Buffered Oxide Etchant) 용액에 1분간 넣어 표면산화층을 제거하고 아세톤과 메탄올로 각 3분간 초음파 세정한 후, 나노다이아몬드 분말을 분산시킨 에탄올에서 1시간 동안 초음파처리를 통해 표면에 핵생성 자리를 부여하였다. 메탄올을 사용하여 1시간 동안 기판을 세정하고 질소 가스로 blowing 한 후, 시편을 MPCVD로에 장착하였다. 공정변수를 표 1에 나타내었다.

Table 1. Deposition condition of diamond film

Base pressure	5.0×10 ⁻³ Torr
Working pressure	100 Torr
Microwave power	1 KW
Substrate temperature	400°C
Gas flow rate	Ar/CH ₄ = 200/2 sccm

2.2 ZnO 박막 증착

다이아몬드 박막을 증착한 시편을 RF 마그네트론 스퍼터에 넣어, 지름 3인치, 두께 1/4인치의 ZnO 타겟을 사용하여 초기 진공 2.0×10⁻⁵ Torr에서 Ar/O₂(11/5 sccm)의 혼합가스를 도입하고 작업 압력을 4.5×10⁻³ Torr로 유지시킨 후, RF 인가전력 150 W, 기판온도 300°C의 조건에서 ZnO 박막을 증착하였다.

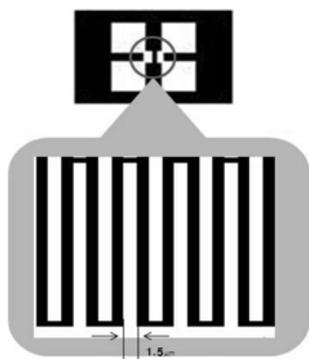


Fig. 1. Structure of IDT electrode.

2.3 IDT 전극 형성 공정

SAW 필터 단위소자의 구조는 그림 1과 같다. IDT 전극 finger 하나의 선/폭은 1.5/1.5 μm이고, finger의 숫자는 입력측이 50개, 출력측이 25개이다. 형성되는 표면탄성파의 한 파장(λ)은 6 μm으로 설계되어 있다. 셀 1개의 크기는 10 mm×10 mm이다.

ZnO 박막 위에 있는 구리 전극 패턴을 습식에칭하면 산에 약한 ZnO 표면이 손상되는 문제를 해결하기 위하여 그림 2와 같은 lift-off 공정을 이용하였다. ZnO 박막 증착 후, 회전 코팅 방법으로 감광제(AZ 1512)를 도포하고 건조한 후 노광기(Karl-Suss, MA6)를 사용하여 IDT 전극 패턴을 형성하고 (CH₃)₄NOH 용액으로 현상하였다. 다음 RF 마그네트론 스퍼터에서 지름 3인치, 두께 1/4인치의 Cu 타겟을 사용하여 초기 진공 2.0×10⁻⁵ Torr, 가스 유량 Ar/O₂(11/5 sccm), 작업 압력 4.5×10⁻³ Torr의 상태에서 RF 인가전력 200 W, 기판온도 200°C의 조건으로 Cu 박막을 증착하였다. 그 후 아세톤으로 감광제를 제거하여 IDT 패턴을 얻었다.

2.4 특성 분석

증착된 다이아몬드 박막, ZnO 박막, IDT 전극의 표면형상 및 두께를 전계방출주사전자현미경(FESEM)으로 관찰하였고, 박막의 결정 구조는 X-선 회절분석기(XRD)로 분석하였다. 제작된 SAW 필터의 특성은 network analyzer를 이용하여 분석하였다.

3. 실험결과 및 고찰

MPCVD 법으로 증착한 다이아몬드 박막의 XRD 분석 결과를 그림 3에 나타내었다. 회절 각도 2θ 값 44°(111), 75°(220)에서 다이아몬드 결정 peak를 확인할 수 있다.

그림 4는 FESEM으로 다이아몬드 박막의 표면과 단면을 관찰한 사진이다. 그림 4(a) 표면 사진에서 30~40 nm의 다이아몬드 나노결정립을 확인할 수 있다. 그림 4(b)의 단면 사진에서 성장한 다이아몬드 박막의 두께는 약 4 μm이다.

그림 5는 ZnO 박막의 XRD 분석 결과이다. 회절 각도 2θ 값 34°에서 (002) 결정방향의 c축으로 우

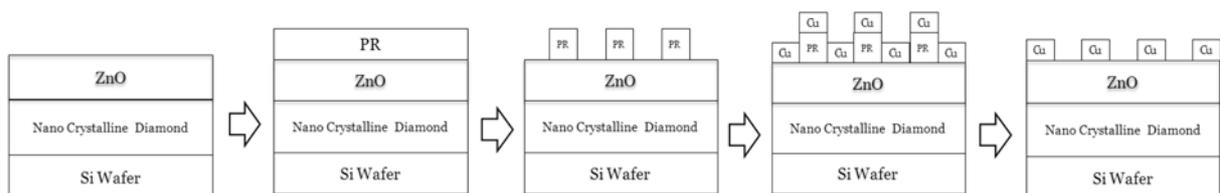


Fig. 2. Schematic diagram of the lift-off process employed.

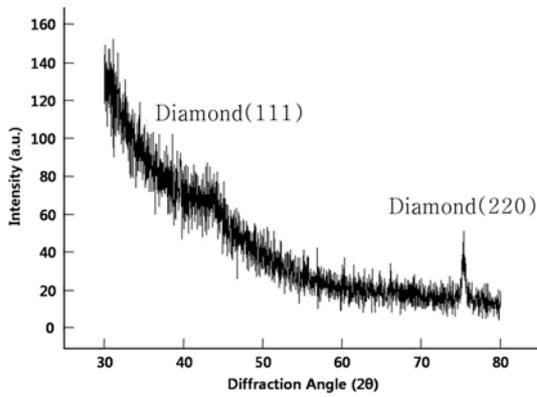


Fig. 3. X-ray diffraction pattern of diamond film.

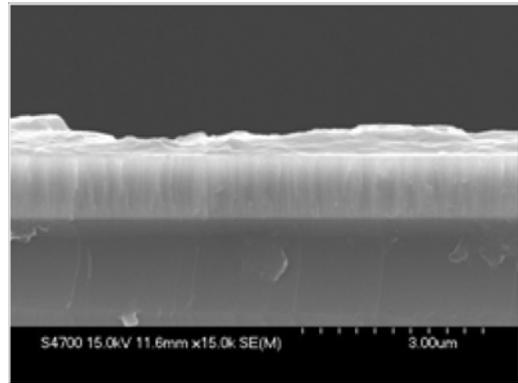
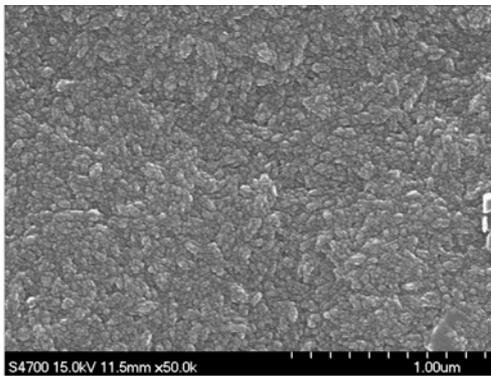
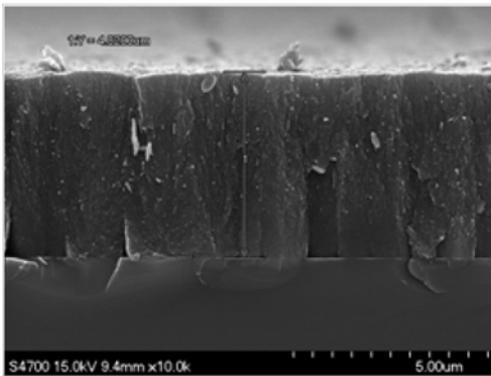


Fig. 6. Cross section image of the ZnO film.



(a) Surface image



(b) Cross section image

Fig. 4. FESEM images of diamond film.

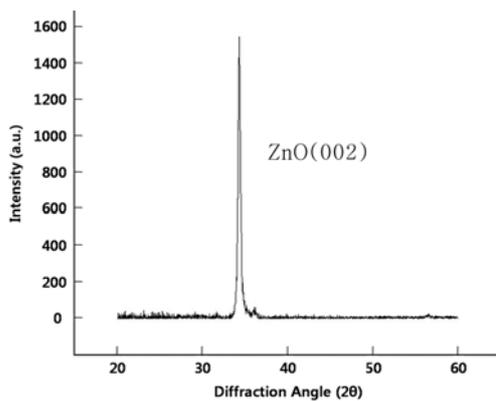
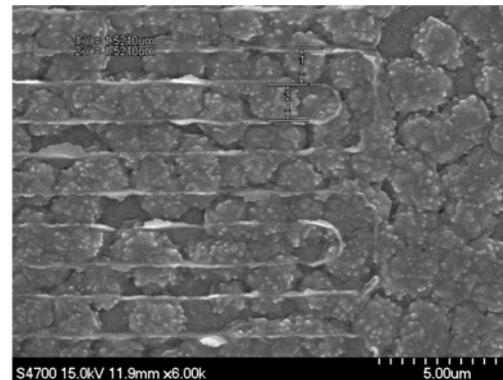
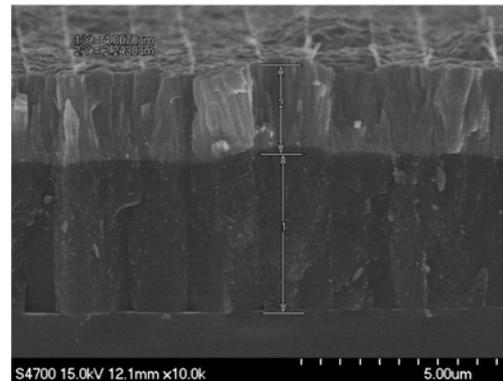


Fig. 5. X-ray diffraction pattern of ZnO film.



(a) Surface image



(b) Cross section image

Fig. 7. FESEM images of the IDT pattern.

선성장한 ZnO peak를 확인할 수 있다. 그림 6의 FESEM 사진에서 일정한 방향으로 균일하게 성장한 ZnO 박막을 볼 수 있다.

그림 7은 lift-off 공정을 이용하여 형성된 IDT의 표면과 측면의 FESEM 사진이다. 그림 7(a)의 표면 사진을 통해 선과 폭이 각각 1.5 μm 간격의 IDT가 형성되었음을 볼 수 있다. 그림 7(b)의 단면 사진으로 약 4 μm의 나노결정다이아몬드 박막과 2.2 μm 두께의 ZnO 박막 위에 IDT 전극이 형성됨을 알 수 있다. IDT 구리 전극의 두께는 이 사진에서 정확히 알 수 없지만 단차 측정 방법(알파 스텝)으로 1,500 Å 임을 확인하였다.

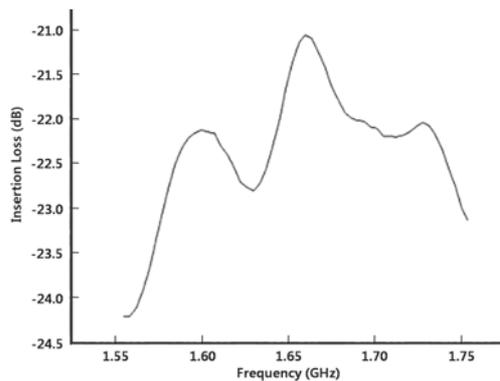


Fig. 8. Frequency response characteristics of the fabricated SAW filter.

최종적으로 제작한 다이아몬드/ZnO 적층 구조 SAW 필터의 주파수 응답 특성을 그림 8에 나타내었다. 측정된 중심주파수(X축)는 1.66 GHz, 삽입손실(Y축)은 21 dB이다. 얻어진 중심주파수(1.66 GHz)와 IDT에서 표면탄성과 한 파장의 길이($\lambda = \text{IDT}$ 선 폭 $1.5 \mu\text{m} \times 4 = 6 \mu\text{m}$)를 곱하여 얻은 상속도(phase velocity)는 9,960 m/s로 다이아몬드 매질 내 음파전달 속도에 육박하는 값이다.

Nakahata 등¹¹⁾의 연구에 의하면, 표면탄성과의 파수(wave number) $k(2\pi/\lambda)$ 와 다이아몬드 박막 두께(H)의 곱, 즉 kH 값이 4보다 커야 다이아몬드의 이론적 음파전달 속도인 10,000 m/s를 구현할 수 있다. 본 연구에서 제작한 SAW 필터의 표면탄성과 파장(λ)이 $6 \mu\text{m}$ 이고 H 값이 $4 \mu\text{m}$ 이므로 kH 값은 약 4.2로서 이들의 이론적 예측과 잘 일치한다.

본 연구에서 얻은 중심주파수 1.66 GHz, 상속도 9,960 m/s는 이전의 결과^{9,10)}, 즉, 중심주파수 534 MHz, 상속도 5,340 m/s를 훨씬 상회하는 양호한 결과이다. 이로써 나노결정다이아몬드와 ZnO 적층 박막을 이용하여 GHz 영역의 SAW 필터를 제조할 수 있음을 실증하였다. 앞으로 최적의 SAW 필터 특성을 얻기 위한 조건, 예를 들어 다이아몬드 박막과 ZnO 박막의 결정성과 두께 의존성 등에 대해서 더 연구할 가치가 있다고 본다.

4. 결 론

MPCVD 법으로 합성한 나노결정다이아몬드와 RF

스퍼터로 증착한 ZnO의 적층박막 구조로 SAW 필터를 제작하였다. 실리콘 기판 위에 $4 \mu\text{m}$ 두께의 다이아몬드 박막을 증착시키고, 그 위에 $2.2 \mu\text{m}$ 두께의 ZnO 박막을 적층하고, $1.5/1.5 \mu\text{m}$ 간격의 선/폭을 갖는 IDT 전극을 $1,500 \text{\AA}$ 두께의 구리 박막으로 형성하였다. Network analyzer를 사용하여, 제작된 SAW 필터의 성능을 평가한 결과 1.66 GHz의 중심주파수를 얻었다. 다이아몬드 박막 내의 표면탄성과 전달속도는 9,960 m/s로 추정되었다. 본 연구를 통해 나노결정다이아몬드 박막과 ZnO 박막의 적층 구조로 GHz 대역의 고주파 SAW 필터의 제조가 가능하다는 결론을 얻을 수 있었다.

후 기

본 연구의 일부는 지식경제부 소재원천기술개발사업의 연구비 지원으로 수행되었습니다.

참고문헌

1. T. Shiosaki, Y. Mikamura, F. Takeda, A. Kawabata, IEEE Trans. Ultrason. Ferroelec. Freq. Cont., 32 (1986) 324.
2. Y. W. Park, H. Y. Shin, J. Kor. Cer. Soc., 40 (2003) 547.
3. M. B. Assouar, O. Elmazria, R. J. Rioboo, F. Sarry, P. Alnot, Appl. Surf. Sci., 164 (2000) 200.
4. B. Bi, W. S. Huang, J. Asmussen, B. Golding, Diamond Relat. Mater., 11 (2002) 677.
5. H. Nakahata, S. Fujii, K. Higaki, A. Hachigo, H. Kitabayashi, S. Shikata, N. Fujimori, Semicond. Sci. Technol., 18 (2003) S96.
6. D. M. Gruen, Annu Rev. Mater. Sci., 29 (1999) 211.
7. T. G. Kim, S. H. Kim, S. J. Yoon, J. Kor. Inst. Surf. Eng., 39 (2006) 82.
8. T. G. Kim, C. H. Kim, J. Kor. Inst. Surf. Eng., 39 (2006) 153.
9. S. H. Choi, Master of Science Thesis, Korea Polytechnic University (2007).
10. S. H. Choi, C. H. Kang, MRS Proc. 1035E-L05-16 (2007).
11. H. Nakahata, K. Higaki, IEEE Ultrasonics Symposium (1995) 361.