논문 2000-9-4-09

이동통신용 표면탄성파 필터의 내전력 특징

남효덕*, 김동수**, 김홍락**, 김광일**

Power Durability Properties of Surface Acoustic Wave Filters for Mobile Telecommunications

Hyo-Duk Nam*, Dong-Su Kim**, Hung-Rak Kim**, Kwang-Il Kim**

요약

중심주파수가 340MHz이고 1.435㎛의 IDT 전극 폭과 간격을 가진 양방향 전송형 SAW필터를 LN 128° Y-X 웨이퍼의 압전기판으로 제작하였다. 전력 내구성을 개선시키기 위한 방안으로 Al에 비해 밀도가 크고, 열팽창계수가 작으며 접착력이 좋은 Ti를 압전체기판과 전극물질인 Al 사이에 증착시켰다. Ti의 두께 및 열처리 온도가 내전력 특성에 미치는 영향을 분석하였는데, Ti층이 두꺼울수록 내전력이 개선되었으며, 특히 300℃에서 열처리하였을 때 가장 우수하였다.

Abstract

Transversal SAW(Surface Acoustic Wave) filters of 340MHz were fabricated on piezoelectric substrates of the LN 128° Y-X wafers. Both of spacing and width of IDT were 1.435㎛. For improving the power durability characteristics, titanium layer was inserted between aluminum electrode and piezoelectric substrate since it has high density, low thermal expansion coefficient, and good adhesive properties. Power durability was evaluated with respect to the thickness of inserted titanium layer and the temperature of heat treatment. Power durability is improved with increasing the thickness of the inserted titanium layer. Moreover, it is remarkably improved by heat treatment at the temperature of 300℃.

1. 서 론

SAW(Surface Acoustic Wave) 디바이스는 소형 고주파필터로서 각종 이동통신에 응용되어 왔으며, 최근 휴대전화로 대표되는 소형 이동통신 단말기가 급속히 보급되면서 우리 생활에 필수적인 위치를 차지하게 되었다. 1990년 초 상용화를 시작한 무선호출기를 필두로 이동통신 시장은 해를 거듭함에 따라 급속히 발전하여 현재 CDMA(Code Division Multiple Access) 방식의 디지털 휴대전화, PCS(Personal Communication Service)의 상용서비스에까지 이르게 되었으며, 또 다른 새로운 이동통신서비스의 개발을 위해 계속 연구가 추진중이다[1-3]. SAW 필터가 보다 광범위하게 응용되기 위해서는 삽입손실이 적고 내전력성이 우수한 디바이스 개발이 무엇보다 중요하다. 이는 장시간 경과에 따라 삽입손실, 중심주파수 등의 특성이 변하고 디바이스 전체의 성능이 열화될 수 있기 때문인데, 이러한 현상은 주로 열적, 전기적 충격으로 인한 크랙의 발생 혹은 전극물질의 손상 등에 의해 일어난다[4]. SAW필터

*영남대학교 전기전자공학부 (Dept. of Elec. & Electronics, Yeungnam University)
**포항산업과학연구원 센서계측연구팀(Sensor · Instrumentation Research Team, RIST)
<접수일자 : 2000년 2월 11일>

의 내전력 개선 방법으로는 박막재료로서 Al에 미량의 Cu를 첨가하는 방법[5]과 Cu를 샌드위치 형태로 하여 Al 박막을 증착하는 방법 등이 알려져 있다[6].

본 연구에서는 SAW 필터의 내구성 개선을 위한 방안의 일환으로 전극 물질이 내전력에 미치는 영향을 조사하였다. 소자 제작에 있어서는 이중전극(double-electrode) IDT (Interdigital Transducer)를 기본으로 양방향 전송형(Transversal type) 설계법을 택하였고, 중심주파수는 340MHz로 하였다. 전극물질의 경우, 내전력성이 좋지 않은 단점을 개선하고자 Al에 비해 내열성 및 접착력이 좋은 Ti을 압전체 기판과 Al전극 사이에 적절히 증착시켰으며, 샘플의 열처리 여부에 따른 내전력 평가도 실시하였다.

2. 실 험 방 법

2.1. SAW 필터의 제작

본 실험에 사용된 압전기판은 LN($LiNbO_3$) 128° Y-X이였으며, 시편은 2500Å의 순수 알루미늄 기판(이하 2500/0) 및 알루미늄과 타이타늄 비를 각각 1000 : 500, 1000 : 1000, 1000 : 1500Å으로 한 3종류의 기판(이하 각각 1000/500, 1000/1000, 1000/1500)을 만들었다.

SAW 필터의 전극형성은 정밀한 사진식각기술(lithography)을 이용하기 위해 고청정 노광실에서 제작하였는데, 본 연구에 사용된 공정도를 그림1에 나타내었다. 이러한 방법으로 중심주파수가 340MHz인 이중전극 IDT형의 SAW필터를 제조하였다. 이때 Al과 Ti를 동시에 에칭할 수 있는 최적의 조성인 1HF : 1HNO_3 : 50H_2O를 찾아내어 이를 에칭액으로 사용하였다.

2.2. 경시변화 및 파괴전압 측정

일반적으로 경시(aging) 프로세스를 가속화하기 위하여 고온이나 실제 작동 범위 이상의 높은 RF 파워에 노출시키는데, 본 연구에서는 상온영역에서 높은 파워를 디바이스에 걸어줌으로써 강제 경시를 진행하였다.

그림 2는 경시특성을 관찰하기 위한 장치도로서, directional coupler는 network analyzer와 RF 증폭기 보호용으로 반사되는 파워를 막아주는 역할을 하며, 지

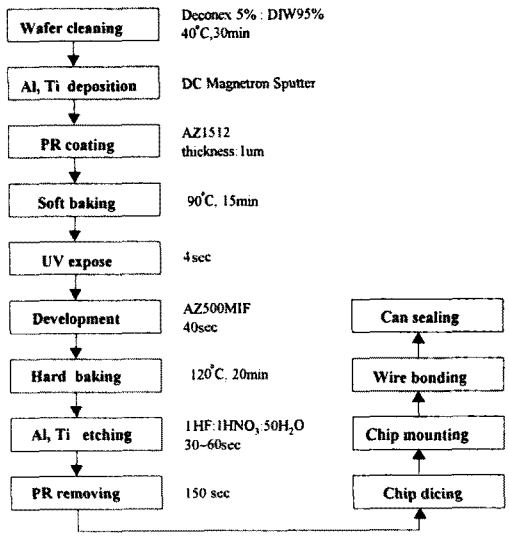


그림 1. 제조 공정도.
Fig. 1. Overall process Flow Chart.

그는 전자기파의 차폐를 위해 동판으로 제작하고 내부는 밀폐시켰다. network analyzer에서 나온 RF파워는 directional coupler를 통해 RF증폭기로 연결되어 aging에 필요한 높은 파워를 제공하며, 증폭기의 출력은 SAW필터의 입력포트에 연결되고 SAW필터의 출력포트는 20dB 감쇠를 통하여 network analyzer 입력포트에 연결시켰다.

SAW 필터는 일반적으로 1Watt 이상의 영역에서 갑작스러운 파괴가 일어난다고 알려져 있기 때문에 파워를 25dBm부터 0.5dBm 간격으로 천천히 증가시키면서 전송특성에 이상이 생기는 시점, 즉 파괴가 일어나는 시점의 입력 파워를 내전력으로 규정하였고, 측정이 끝난 소자는 다시 광학 현미경으로 관찰하였다.

2.3. 필터특성 측정

한편 제작된 SAW 필터의 주파수 특성 및 필터 특성은 S-parameter set과 지그를 이용하여 측정하였고, HP8753C Network Analyzer로 주파수응답 및 삽입 손실을 구했다. 삽입손실은 SAW 필터의 S21 parameter를 측정하여 주 피크(main peak)에서의 최대치를 측정했다. 중심주파수는 3dB 통과 대역폭의 중심값으로 측정했다. 제조한 SAW 필터의 전달 속도는 $v = f \cdot \lambda$에서 중심주파수 340MHz와 IDT의 파장 11.476㎛를 대입하면 3901m/sec로 구해진다.

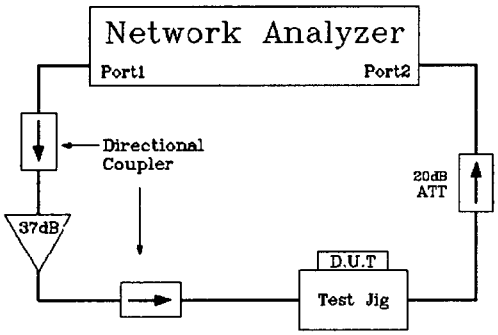


그림 2. Aging 실험을 위한 장치 개략도.

Fig. 2. Schematic diagram of aging test facilities.

3. 결과 및 고찰

그림 3은 제조된 Al : Ti = 1000Å : 1000Å 시편(1000/1000)의 SAW 필터에 대한 입력측 IDT를 광학현미경으로 관찰한 전극의 형태이다. 그림에서 IDT는 전극 선폭과 전극선 간격이 1 : 1 정도임을 볼 수 있고, IDT 패턴이 개방되거나 단락된 부분이 없이 패턴이 잘 형성되었음을 관찰할 수 있었다.

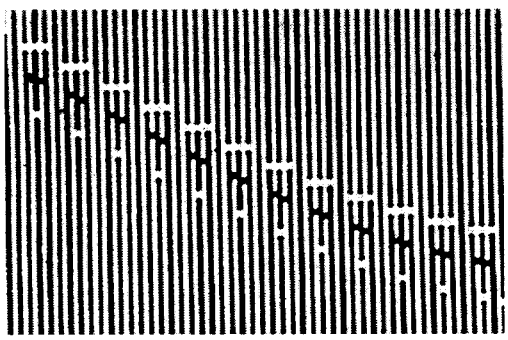
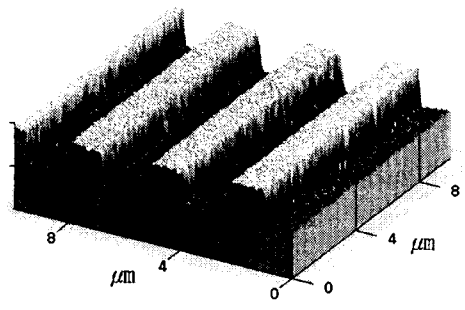


그림 3. 입력측 전극 형태.

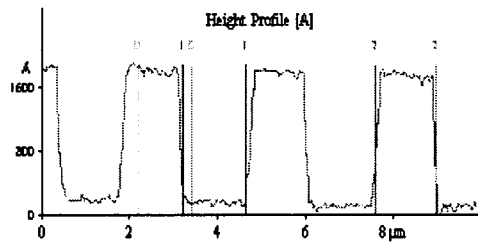
Fig. 3. IDT pattern (×600).

전극이 형성된 상태를 더욱 정확히 알아보기 위해 AFM (Atomic Force Microscopy)을 이용하여 전극의 두께 및 넓이, 전극간의 간격을 확인하였는데, 그림4(a)는 제조된 소자의 3차원 형상이며, 그림4(b)에 의하면 전극두께는 1700Å이고 전극간의 간격과 전극의 폭은 각 1.41㎛이다.

주파수 응답특성을 시편 종류별로 측정한 결과를 그림 5에 나타내었다. 전체적으로 Ti를 삽입한 경우



(a)



(b)

그림 4. 제조된 소자의 AFM 사진.

(a) 표면의 3차원 형상

(b) 샘플의 두께 및 간격

Fig. 4. AFM analysis of manufactured sample.

(a) Three dimensional appearance of surface

(b) Width and space of sample

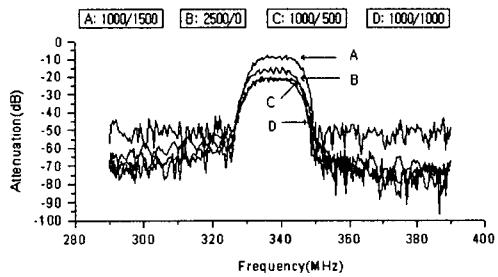


그림 5. SAW필터 주파수응답 특성 곡선.

Fig. 5. Frequency response of SAW filters.

순수 Al 전극에 비해 삽입손실 및 통과 대역폭 등에 큰 변화가 없음을 볼 때 Ti를 삽입한 기판을 전극 물질로 사용하기에 문제가 없음을 알 수 있고 내전력 평가는 표1에서 다시 논하기로 한다. 한편 Al과 Ti의 질량차로 인한 mass loading 효과가 클 것으로 예상하였으나 이로 인한 영향은 크지 않았다.

그림6은 Al을 2500Å 증착한 시료(2500/0)에 대한 내구성 실험을 위해 파워를 서서히 올렸을 때 파괴가 일어나기 전과 파괴가 일어난 후의 주파수 특성을 나타낸 것이다. 파괴가 일어난 후에는 통과대역 폭이 사라져서 필터로서의 특성이 거의 상실되었음을 알 수 있다.

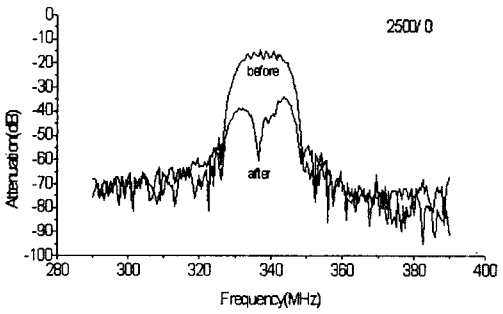


그림 6. 파괴현상 전후의 주파수 특성.

Fig. 6. Frequency responses before and after breakdown.

그림 7은 전압파괴에 의한 통과대역폭이 거의 사라진 소자에 대한 현미경 관찰 사진이다. 전극과 전극 사이에 방전이 일어나 전극이 손상된 현상을 볼 수 있다. 이는 전극간 미소 간격에 상대적으로 강한 전계가 집중되어 파괴되는 현상으로 순식간에 전극전체로 확산되어 일어난다는 것을 알 수 있다.

그림 7. 파괴현상이 일어난 시료의 전자현미경 사진. (□ : 확대 사진)

Fig. 7. Electronic micrograph of SAW filter after breakdown(□ : Enlarged image of damage IDT part)

표1은 여러 가지 기판을 사용하였을 때 내전력을 측정한 결과이다. 순수 Al전극 2500/0과 Ti를 삽입한 1000/1500 전극을 비교해 볼 때, 전극의 두께가 다같이 2500Å이지만 Al 만을 전극으로 사용한 기판에 비해 Ti를 Al 전극과 기판 사이에 삽입한 경우가 내전력성이 우수함을 볼 수 있다. 한편 1000/500과 1000/1000 시료를 비교해 볼 때 Al층의 두께가 같을 경우 Ti층이 두꺼울수록 내압 특성이 향상된다는 것을 알 수 있다. 이와같이 Ti를 삽입함으로써 내전압 특성이 향상되는 것은 Ti의 내열성 및 접착성에 기인한 것으로 생각된다.

표2는 1000/1500 시편에 대해 300℃와 500℃에서 열처리하였을 때 내압을 측정한 결과이다. 300℃에서 열처리한 시편은 열처리하지 않은 시편에 비하여 내압 특성 개선 효과를 볼 수 있는 반면, 500℃에서 열처리한 시편의 경우는 오히려 내압이 떨어지는 특성을 보이고 있다. 이로서 적당한 온도에서 열처리함으로써 내압특성을 향상시킬 수 있었다.

표 1. 순수 Al과 Ti 두께 변화에 대한 내압.

Table 1. Withstanding power vs. Al/Ti thin film thickness.

substrate (Al/Ti)(Å)	withstanding power(dBm)	power(W)
2500/ 0	33	1.995
1000/1500	34.25	2.660
1000/500	32.5	1.778
1000/1000	32.75	1.883

표 2. 열처리 온도에 따른 내압.

Table 2. Withstanding power vs. heat treatment temperature.

heat treatment temperature	withstanding power(dBm)	power(W)
No heat treatment	34.25	2.660
300℃	35.5	3.548
500℃	33	1.995

그림 8은 1000/1500 시편을 열처리 온도에 따라서 면저항을 측정한 결과이다. 열처리 온도가 400℃까지는 면저항이 낮아 거의 일정한 값을 유지하고 있으나

500℃ 이상에서는 급격히 커지고 있음을 알 수 있다. 이러한 갑작스런 면 저항의 증가가 내압특성을 열화시킨다고 생각된다.

그림 9에서는 1000/1500 시편을 열처리 온도에 따른 AFM 표면조도 값을 나타내는데, 이 또한 400℃ 이후에서 IDT 표면의 거칠기가 급격히 증가하고 있다. 그러므로 300℃에서 열처리한 소자가 안정하며 좋은 특성을 나타낸 것으로 생각된다.

이와 같은 결과로 볼 때 400℃ 이하의 온도에서 열처리를 하면 기판과 Ti 및 Al 사이의 계면특성이 향상되어 내압이 향상되나, 500℃ 이상에서는 Al, Ti 등의 상호 확산 등에 의해 화합물이 형성되어 전기전도도 등이 낮아져서 내압이 떨어진다고 생각된다.

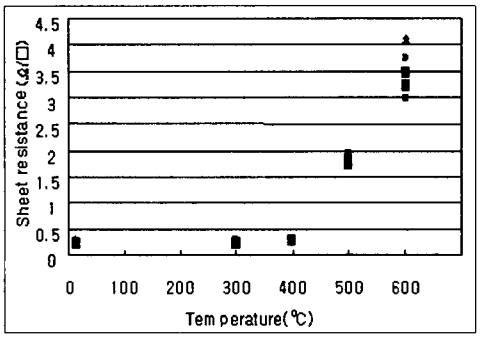


그림 8. 1000/1500 시료에 대한 열처리 온도에 따른 면저항.

Fig. 8. Sheet resistances vs. heat treatment temperature for 1000/1500 sample.

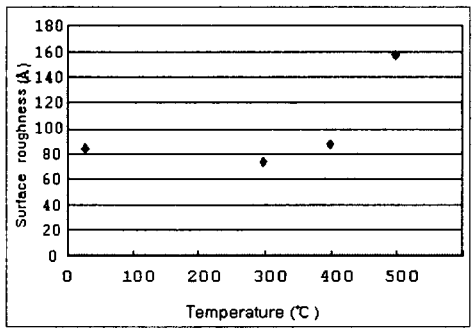
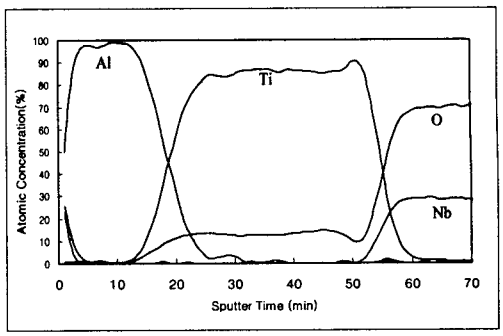
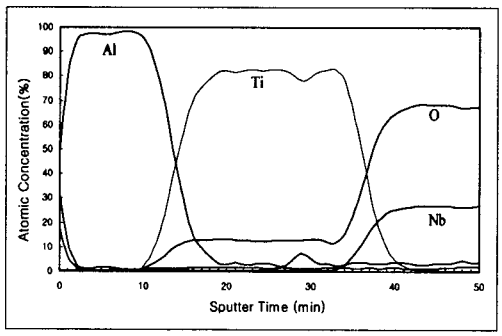


그림 9. 1000/1500 시료에 대한 열처리 온도에 따른 AFM 표면조도.

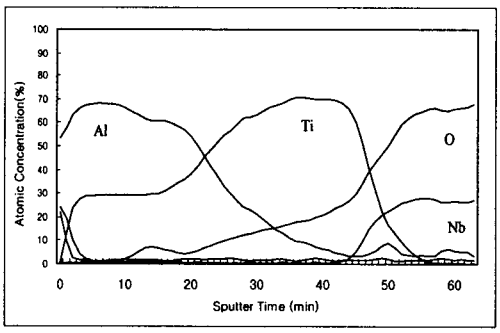
Fig. 9. Surface roughness from AFM measurement vs. heat treatment temperature for 1000/1500 sample.



(a)



(b)



(c)

그림 10. 1000/1500 시료에 대한 열처리 온도에 따른 AES 원소분포. (a) 실온, (b) 300℃, (c) 500℃

Fig. 10. AES depth profiles of heat treatment temperature for 1000/1500 sample. (a) room temperature. (b) 300℃, (c) 500℃

그림 10의 (a), (b) 및 (c)는 1000/1500 시편을 각각 열처리하지 않은 소자와 300℃ 및 500℃에서 열처리한 소자의 전극에 대한 AES(Auger Electron Spectroscopy) 깊이 방향 원소 분포를 각각 나타낸 것이다. 열처리하지 않은 시료와 300℃에서 열처리한 시료의

원소분포는 큰 차이가 없으나 500℃에서 열처리한 경우 Al과 Ti이 상호 확산하고 기판 쪽으로도 많은 확산이 일어나고 있음을 알 수 있다. 이러한 현상이 앞에서의 면저항, 표면 거칠기에 영향을 주어서 내압 특성을 열화시킨다고 생각된다.

4. 결 론

중심주파수 340MHz인 양방향 전송형 SAW 필터를 제작함에 있어서 필터의 전력 내구성을 개선시키기 위한 방안으로, Al에 비해 밀도가 크고 열팽창계수가 작으며 접착력이 좋은 Ti을 압전체 기판($LiNbO_3$)과 전극 물질인 Al 사이에 증착시켰다. 한편 Ti 두께 및 열처리 온도가 내전력 특성에 미치는 영향도 분석하였는데, 얻어진 중요한 결과는 다음과 같다.

1. Al과 $LiNbO_3$기판 사이에 Ti을 증착시켜 SAW 필터를 제작함에 있어서 Al과 Ti을 동시에 에칭할 수 있는 최적용액(1HF : $1HNO_3$: $50H_2O$)을 찾아내었으며, 이 혼합용액을 이용하여 Al과 Ti를 상온에서 에칭한 결과 IDT의 전극 폭과 전극 간격이 1 : 1로 형성된 1㎛대의 선폭을 구현할 수 있었다.

2. 순수 Al 전극에 비해 Ti를 알루미늄 전극과 기판 사이에 삽입한 경우, 삽입손실 및 통과 대역폭 등의 필터 특성에는 큰 영향을 미치지 않으면서도 내전력 특성을 뚜렷하게 향상시킬 수 있었으며, Ti층이 두꺼울수록 그 효과는 큼을 알 수 있었다.

3. Al 전극에 Ti를 삽입한 기판을 적당한 온도에서 열처리함으로써 내압특성을 향상시킬 수 있었고, 본 실험의 경우 300℃에서 열처리하였을 때 내압특성이 가장 우수하였다.

감사의 글

본 연구는 1999학년도 영남대학교 교비 연구비에 의해서 이루어진 것으로 이에 대학 당국에 감사드린다.

참 고 문 헌

[1] R. B. Brown and S. Gopani, "Apodized inglehase unidirectional transducer SAW Devices", Proc. IEEE Ultrasonic Symp., vol.1, pp.231-234, 1991.

[2] E. M. Garber D. S. Yip and D. K. Henderson, "Design of high selectivity DART SPUDT filters on quartz and lithium tantalate", Proc. IEEE Ultrasonic Symp., vol.1, pp.7-12, 1994.

[3] E. V. Bausk and I. B. Yakovkin, "Design of low-shape-factor SAW filters having a single acoustic track", Proc. IEEE Ultrasonic Symp., vol.1, pp.291-295, 1996.

[4] M. E. Woodberry and W. D. Hunt,"Investigation of Accelerated Aging Characteristics of a SAW filter" Proc. IEEE Ultrasonic Symp., p56-61, 1997

[5] The Electronic Parts & Components Monthly, Aug., pp126-130, 1992.

[6] T. Nishihara, H. Uchishiba, T. Matsuda, O. Ikata, and Y, Satoh "Improvement in Power Durability of SAW Filters", Proc. IEEE Ultrasonic Symp., pp383-388, 1995.

著 者 紹 介

남 효 덕

『센서학회지 제6권 4호』 논문 97-6-4-09, P316 참조

현재 영남대 전자정보공학부 교수

김 동 수

1968년 5월 9일 생

1995년 부경대학교 전자공학과졸업(공학사), 1999년 영남대학교 센서및시스템공학과 졸업(공학석사) 2000년 ~ 현재 영남대학교 센서 및 시스템공학과 박사과정, 1994년 ~ 현재 포항산업과학연구원, 주관심분야 : 표면탄상파 필터 및 센서개발

김 홍 락

1967년 11월 5일 생

1989년 한양대학교 전자공학과졸업(공학사), 1991년 포항공대 전자전기공학과졸업(공업석사), 1998년 ~ 현재 포항공대 전자전기공학과 박사과정, 1991년 ~ 현재 포항산업과학연구원, 주관심분야 : 반도체물성

김 광 일

1958년 9월 1일 생

1981년 경북대학교 전자공학과졸업(공학사), 1987년 경북대학교 전자공학과 졸업(공학석사), 1995년 게이오대학교 전자공학과 졸업(공학박사), 1987년 ~ 현재 포항산업과학연구원 센서 계측연구팀장, 주관심분야 : 설비진단용 진동, 초음파센서개발 및 응용, 광센서 응용 환경측정 시스템개발