

스퍼터링 조건변화에 따른 Ni/Cr/Si 박막의 전기적 특성

論 文

52P-2-2

The electrical properties of Ni/Cr/Si thin film with sputtering process parameters

李 鵬 周* · 朴 球 範** · 金 炳 秀*** · 李 德 出[§]

(Boong-Joo Lee · Gu-Bum Park · Byung-Soo Kim · Duck-Chool Lee)

Abstract - In this work, we have fabricated thin film resistors using the DC/RF magnetron sputter of 51wt%Ni-41wt%Cr-8wt%Si alloy target and studied the effect of the process parameters on the electrical properties. In fabrication process, sputtering power, substrate temperature and annealing temperature have been varied as controllable parameters. TCR decreases with increasing the substrate temperature, but TCR increases over 300 [°C]. The films are annealed to 400 [°C] in air atmosphere, TCR increases with increasing the annealing temperature. The resistivity was 172 [$\mu\Omega \cdot \text{cm}$] and 209 [$\mu\Omega \cdot \text{cm}$] for the RF and DC as a sputtering power sources, respectively. Also, TCR was -52 [ppm/°C] and -25 [ppm/°C]. As a results of them, it is suggested that the sheet resistance and TCR of thin films can be controlled by variation of sputter process parameter and annealing of thin film.

Key Words : Thin Film Resistor, TCR, annealing, sputter process parameter

1. 서 론

정보통신 및 정밀계측분야에 이용되어지고 있는 핵심 전자부품들은 고정밀화, 복잡화 그리고 고효율성 및 미세 조정기능에 대한 요구가 증가되어오고 있다. 이중에서도 저항은 주로 전류의 흐름을 제한하여 회로의 각 소자에 목적인 전류를 공급하거나 또는 전압을 분할하는데 사용되는 대표적인 회로의 기초 부품으로 최근 저항온도계수가 낮은 고정밀 저항에 대한 요구가 대두되고 있다. 이중에서도 고정밀급 저항기의 경우, 모든 전자회로의 정밀도를 결정하는 기준값을 설정하는데 있어서의 핵심적인 요소로서 모든 전자회로의 정밀도를 평가, 결정하는 중요한 역할을 담당하는 기초부품으로 최근 저항온도계수가 낮은 고정밀 저항에 대한 요구가 증가하고 있다.

일반적으로 고정밀급 박막형 저항으로 사용되어지고 있는 NiCr계 합금 박막은 낮은 저항온도계수(TCR:temperature coefficient of resistance), 높은 안정성 및 신뢰성의 특성을 가지므로 정밀급 저항관련 전자부품에 많이 응용되고 있으며, 최근까지 박막 제조 공정, 재료 조성 등에 따른 전기·물리적 특성에 관한 많은 연구가 행하여져 왔다.^[1-9] NiCr계 합금 박막에 대한 초기의 연구는 주로 증발(evaporation)방법으로 박막을 제작하였으나 이 방법의 경우 Ni과 Cr의 증

기압 차이 때문에 제조된 박막의 조성 재현성이 어려운 단점이 있으므로, 최근에는 주로 스퍼터(sputter)방법으로 제조된 NiCr계 박막에 대한 연구가 발표되고 있다. 또한, NiCr의 2원계 합금에 Al, Cu, Si, Mn, Mo 등의 원소를 첨가함으로써 박막의 저항온도계수 및 비저항 특성 등 전기적 특성의 변화를 유도하기 위한 연구^[3-6]가 수행되었으며, 고온에서 열처리에 의한 박막의 특성 변화에 대한 연구^[3-4]가 발표되었다.

따라서 본 연구에서는 고정밀급 박막저항을 제조하기 위하여 Ni,Cr의 합금에 미량의 Si성분을 첨가하여 스퍼터링 증착공정 및 열처리공정에 따른 면저항 및 저항온도계수 등의 전기적특성을 연구하였다.

2. 실 험

2.1 실험방법

본 실험에서는 안정되고 신속한 박막형성을 위해 3타겟 시스템인 RF/DC 마그네트론 스퍼터장치(A-tech)는 그림1에 나타내었고, 이때의 제조조건은 표1에 나타내었다. 실험에 사용된 Target의 경우 51wt% Ni-41wt%Cr-8wt%Si 합금을 이용하였고 기판의 경우는 일반적으로 박막용 알루미늄(Al_2O_3) 기판을 사용하였으며, 박막의 두께, 면저항, 결정상 및 재료성분 특성 등을 분석하기 위해 glass기판과 Si 웨이퍼를 사용하였다. 알루미늄 기판은 70×70[mm] 크기이고, 각 Cell의 절단을 위해 레이저 스크라이빙(laser scribing)을 하여 제조하였다. 스퍼터에 의해 증착된 박막의 면저항 측정에는 면저항 측정기(4-Point Probe, ChangMin Tech)를 사용하였고, 박막의 두께는 α -step(Dektak³)을 사용하여 측정하였다. 증착된 저항막을 패터닝(patterning)을 하기 위해 spin

* 正 會 員 : ACROSENS Co. ltd 責任研究員 工博

** 正 會 員 : 柳韓大學 電氣科 教授 · 工博

*** 正 會 員 : 仁荷大 工大 電氣工學科 · 博士課程

§ 正 會 員 : 仁荷大 工大 電氣工學科 教授 · 工博

接受日字 : 2003年 2月 24日

最終完了 : 2003年 5月 7日

coater(W5-400, Laurell)를 이용하여 positive PR(AZ1512)을 도포 하였고, mask aligner(MA-6, Karl-suss)를 이용하여 노광한 후 전용 developer로 현상하였다. etching의 경우는 상용화되고 있는 Cr-7K를 이용하여 박막의 두께에 따라 에칭시간의 차이를 두었다. 패터닝한 후의 패턴형상을 관찰하기 위해서는 광학현미경(Optical Stereoscope, Leica Wild M3Z)을 사용하였다.

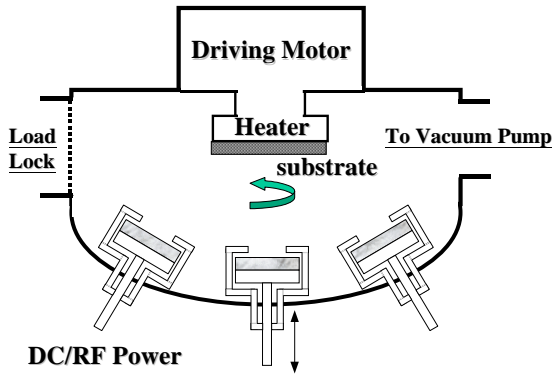


그림 1 멀티 타겟 마그네트론 스퍼터
Fig. 1 Magnetron sputter with multi-targets

표 1 스퍼터 조건

Table. 1 Sputtering conditions

| Parameter | condition |
|--------------------------------------|---------------------------------|
| Substrate Temp(°C) | 25 ~ 300 |
| DC Power (W) | 250 ~ 550 |
| Pressure (mTorr) | 5 ~ 25 |
| Ar Gas Flow (sccm) | 30 ~ 60 |
| O ₂ /(Ar+O ₂) | 0 ~ 3 |
| Annealing Temp(°C) | 150~400 (Air, N ₂) |

2.2 저항막 설계

저항온도계수측정을 위한 저항막의 설계는 다음과 같은 이론에 따라다. 일반적으로 저항은 아래 식(1)과 같이 나타낸다.

$$R = \rho \cdot \frac{L}{S} = \rho \cdot \frac{L}{tW} \quad (1)$$

여기서 ρ 는 비저항($\Omega \cdot \text{cm}$), L 는 저항의 길이(cm), t 는 저항막의 두께(cm), W 는 저항막의 폭(cm)이다. 일반적으로 비저항은 면저항($R_s[\Omega/\square]=\rho/t$)과 막두께의 곱과 같으므로 위의 식(1)은 아래의 식(2)과 같이 쓸 수 있다.

$$R = \frac{R_s L}{W} \quad (2)$$

저항의 길이가 저항막의 폭과 같은 길이의 cell을 생각할 때($L = W=N$)를 생각할 때, 식(2)는 식(3)과 같이 쓸 수 있다.

$$R = R_s \times N \quad (3)$$

즉, 원하는 저항값을 얻기 위한 설계시 면저항과 일정의

셀의 개수가 중요한 것을 알 수 있다. 상기의 식을 이용하여 총저항이 0.5, 1, 1.5 k Ω 이 되도록 3종류의 일차형 저항막으로 설계를 하였으며, 개별시편의 크기는 저항온도계수 측정이 쉽도록 2mm \times 4mm로 정하였고, 저항박막은 각각 선폭 114 μm , 55 μm , 37 μm 로 설계하였다. 제조된 저항박막의 저항온도계수(TCR : Temperature Coefficient of Resistance)를 측정하기 위해 TCR chamber(S&A, 4220A)를 사용하였다.

이때의 측정조건은 설정온도에서 10분을 유지하여 측정하였으며, 일반적으로 25°C에서의 저항(R_{25})을 기준으로 하여 85°C에서의 저항(R_{85})을 측정한 후 그 값을 아래식(4)로부터 계산하였다.

$$TCR[\text{ppm}/^\circ\text{C}] = \frac{1}{R_{25}[\Omega]} \cdot \frac{\Delta R[\Omega]}{\Delta T[^\circ\text{C}]} \quad (4)$$

여기에서 저항온도계수(TCR)은 저항온도계수, ΔR 은 특정한 온도구간(25°C~85°C)에서의 저항변화량이고, ΔT 는 온도구간차이다.

3. 결과 및 고찰

비저항의 증가 및 낮은 온도저항계수 특성을 위하여 일반적으로 소량의 불순물을 첨가하고 있다. 그중 가장 많이 사용되는 불순물로는 Si, Mo, Al등을 이용하는데, 이는 소량의 불순물에 의한 metastable phase형성이 용이한 결과로 알려지고 있다. 그중 낮은 온도저항계수 측면을 고려하여 본 연구에서는 Negative한 저항온도계수 특성을 가진 Si에 대한 첨가를 고려하여, Ni-Cr-Si에 대한 특성을 보았다. 이때의 3원계 조성함량은 기존의 실험을 통해 얻어진 결과를 바탕으로 하여 Ni/Cr비가 0.8에서 1.5정도가 되는 것중 51wt%Ni-41wt%Cr-8wt%Si의 특정 조성으로 선택하였다.

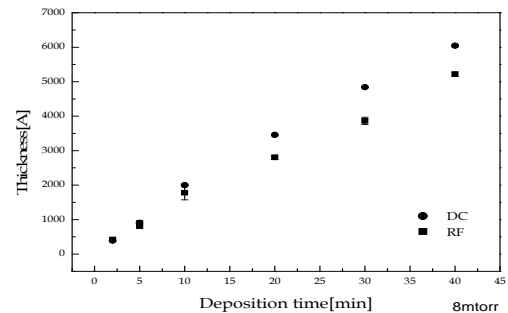


그림 2 증착시간에 따른 박막 두께
Fig. 2 Thickness as a function of deposition time

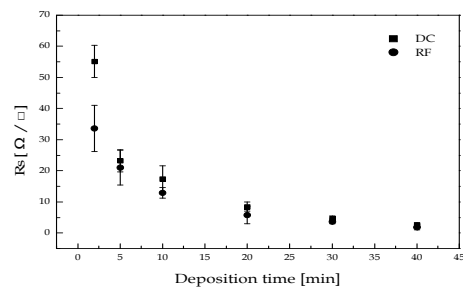


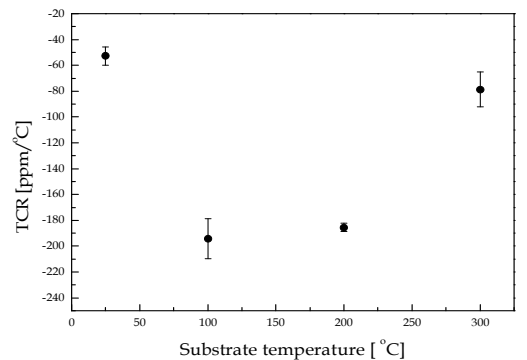
그림 3 증착시간에 따른 면저항
Fig. 3 Sheet resistance as a function of deposition time

그림 2와 3은 3원계 타겟의 공정조건을 위해 Power변화와 증착시간에 따른 두께와 면저항을 본 결과이다. Power에 따른 특성을 보고자 진공도는 8 [mtorr]로 선정하였는데, 이는 사용된 Multi sputtering M/C에서 플라즈마가 안정하게 형성되는 가장 낮은 진공도를 본 결과 DC Power의 경우 8 [mtorr]이었고, RF Power의 경우 5 [mtorr]이기 때문에 진공도는 8 [mtorr]로 선정하였다. 그림 2에서 볼 수 있듯이 같은 진공도내에서의 두께변화를 본 결과 RF Power에 비하여 DC Power을 이용한 경우, 더 두껍게 증착되고 있음을 알 수 있었고, RF나 DC 모두 전형적인 스퍼터링의 선형성을 볼 수 있었다. 또한 그림 3에서의 면저항 특성을 보면 증착시간에 따른 면저항은 두께의 증가로 인한 감소현상을 볼 수 있으며, 같은 Power의 크기에서 RF Power에 비하여 DC Power의 경우가 면저항이 큰 것을 알 수 있다. 즉 두 그림으로부터 알 수 있는 결론은 DC Power는 RF Power에 비하여 증착율이 커서 두꺼운 막의 증착을 이룰 수 있지만, 치밀한 막의 성장이 어려워 면저항 증가된 것으로 생각된다. 이때의 비저항 값을 계산한 결과 두께가 약 1000Å 정도를 기준하면, RF Power의 경우 비저항은 172 [$\mu\Omega\text{cm}$]이며, DC Power의 경우 비저항 209 [$\mu\Omega\text{cm}$]의 값을 얻을 수 있었다. 이는 NiCr의 2원계 합금타겟을 이용한 박막의 결과와 비교할 때, Ni/Cr의 비가 1.2정도의 값에서는 2원계(Ni/Cr)의 경우 100~120 [$\mu\Omega\text{cm}$]정도값에 비하여 큰 값으로 Si의 첨가에 따른 불순물의 효과로 비저항값이 증가된 것으로 생각된다. 8[mtorr], Ar 30[sccm]의 공정조건에서 Power의 변화에 따른 결정분석을 위한 XRD분석한 결과, RF Power로 제작된 박막이 DC Power로 제작된 박막에 비하여 피이크의 강도(intensity)가 약간 작으며, 약간 광폭화 현상을 볼 수 있으나, 그 정도는 아주 작다. 그러나, 이와 같은 강도의 감소 및 광폭화 현상은 grain의 미세한 구조로 설명된다^[10]. 즉 상기의 Power에 따른 면저항 및 두께의 특성과 동일하게 RF Power를 이용하는 경우가 DC Power을 이용하는 경우에 비하여 얇고 치밀한 박막이 제조됨을 알 수 있다.

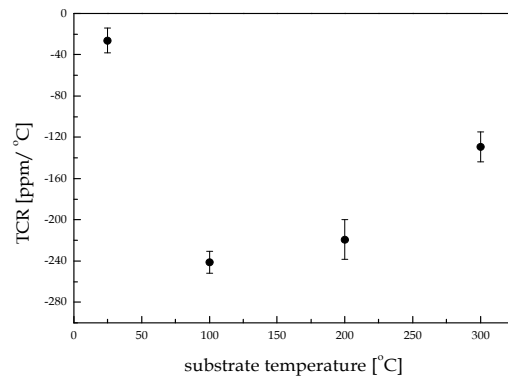
그림 4는 Power의 변화 및 기판의 온도 증가에 따른 제작된 박막의 저항온도계수의 특성이다. 이때의 제조공정에서는 최적의 저항온도 계수값을 위해 RF(a)을 이용한 경우 RF250 [W], 5[mtorr], 30 [sccm] 조건이었고, DC(b)을 이용한 경우 DC250 [W], 8 [mtorr], 30 [sccm]이었다. 그림에서 보면 Power의 종류에 관계없이 저항온도 계수의 특성은 기판의 온도가 증가함에 따라 100 [°C] 온도에서는 급격한 저항온도계수 값이 감소하였으나, 점차 그 값이 증가하는 것을 볼 수 있다. 이는 초기의 기판온도 증가에 따른 박막의 제조시 치밀한 구조의 형성으로 인한 저항온도계수가 감소되었으나, 온도의 증가로 인한 산화가 진행되어 다시 저항온도계수값은 증가하는 것으로 생각된다^[10]. Power의 변화를 생각할 때 초기의 저항온도 계수값에서 RF Power를 이용한 경우가 저항온도 계수값이 작음을 알 수 있는데, 이는 상기의 결과들과 동일하게 RF Power로 인한 박막의 치밀성의 결과로 인해 얻어진 결과라 말할 수 있다.

일반적으로 AFM(atomic force microscope)은 물질의 표면 연구에 있어 표면의 입체적인 정보뿐만 아니라, Angstrom 단위까지의 표면의 원자배치를 아주 간단하게 파악할 수 있고 표면의 처리없이 자연상태 그대로 관찰이 가

능하다. AFM을 통하여 박막의 미세구조분석을 한 결과를 통하여 볼때, 기판온도증가에 따른 증착된 막의 표면조도(roughness)는 100 [μm] \times 100 [μm]의 크기를 기준일때, 기판온도가 25°C, 100°C, 200°C, 300°C로 증가함에 따라, 각각 4.56[nm], 3.25[nm], 2.54[nm], 2.44[nm]로 감소됨을 알 수 있었다. 이러한 결과는 기판온도의 증가로 인해 박막의 미세구조는 치밀해 지고 grain의 증가로 인하여 박막표면이 안정화되는 현상으로 생각할 수 있다.^[10] 저항온도계수가 낮은 값을 가진 박막저항을 제조하기 위해서는 제조공정중 열처리공정이 필수적이다. 이는, 온도에 따른 저항값의 변화폭이 작은 특성을 가진 소자의 제조공정시 열충격을 거친 경우, 온도에 대한 신뢰성 있는 특성이 보존되어 일반적인 박막저항 제조시 필수적으로 이용되고 있다.



(a) RF power



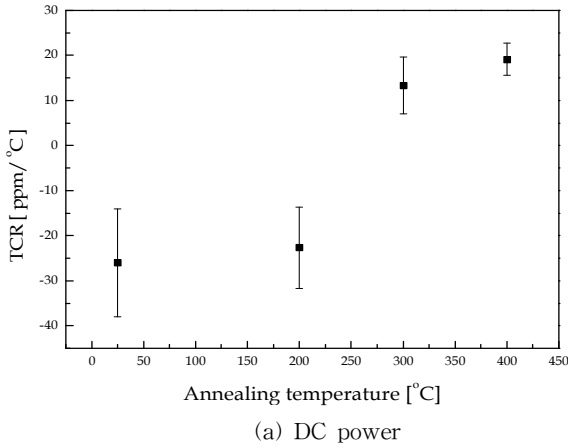
(b) DC power

그림 4 기판온도에 따른 저항온도계수

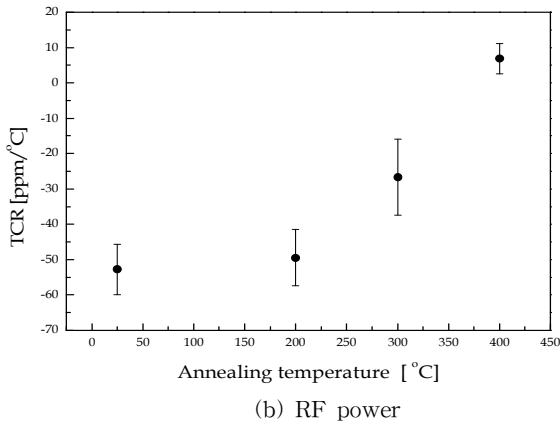
Fig. 4 TCR as a function of substrate temperature.

그림 5는 공기중에서 1시간동안 열처리 한 경우, 열처리 온도에 따른 저항온도계수특성 본 것이다. (a)의 경우 DC 250 [W], 8 [mtorr], 30 [sccm]로 증착한 박막이고, (b)의 경우 RF 250 [W], 5 [mtorr], 30 [sccm]로 증착한 박막의 결과이다. 그림에서 보면, 각각의 특성은 Power의 변화에 상관없이 열처리온도가 증가함에 따라 박막의 저항온도 계수값은 증가하는 것을 볼 수 있다. 이것은 제조된 박막이 열처리 과정을 통하여 열에 의한 산화현상으로 저항온도 계수값이 증가된 것으로 생각된다. 또한, RF와 DC의 Power변화에 따른 초기 저항온도계수값은 각각 -52 [ppm/°C]와 -25 [ppm/°C]값을 얻었다. 이는 상기의 결과들과 동일하게 RF

Power로 인한 박막의 치밀성의 결과로 인해 얻어진 결과라 말할수 있다.



(a) DC power



(b) RF power

그림 5 열처리온도에 따른 저항온도계수

Fig. 5 TCR as a function of annealing temperature.

3. 결 론

Ni과 Cr의 조성에 미량의 Si성분을 첨가한 형태인 Ni:Cr:Si=51:41:8wt%의 조성타겟을 가지고 마그네트론 스퍼터링에 의해 제작된 박막은 다음과 같이 정리하면,

1) Power의 변화에 대한 결과, DC를 이용하는 것이 RF를 이용하는 것 보다 증착률이 크고, 또한 면저항값이 큰 값을 얻을 수 있었다. 이는 RF을 이용하는 경우 치밀한 박막의 형성으로 인한 증착율의 감소 및 면저항값의 감소라고 생각된다.

2) 비저항 값을 계산한 결과 두께가 약 1000Å 정도를 기준하면, RF의 경우 비저항은 172[μΩcm]이며, DC의 경우 비저항 209 [μΩcm]의 값을 얻었다.

3) 기판온도 증가에 따른 저항온도계수 값은 감소하다가 다시 증가하는데, 이는 기판온도가 증가함에 따라 박막의 제조시 치밀한 구조의 형성으로 저항온도계수가 감소되었으나, 산화현상의 진행으로 다시 저항온도 계수값은 증가하는 것으로 생각된다.

4) RF와 DC을 사용한 경우의 초기 저항온도계수값은

각각 -52 [ppm/°C]와 -25 [ppm/°C]값을 얻었다. 이는 상기의 결과들과 동일하게 RF Power로 인한 박막의 치밀성의 결과로 인해 얻어진 결과라 말할수 있다.

이 논문은 2001 연도 인하대학교의 지원에 의하여 연구되었다. (과제번호:21993)

참 고 문 헌

- [1] A. P. Bhatt et. al., "D.C. sputtering of Ni-Cr thin film resistors", Proc. of the 1984 International symp. on microelectronics, pp.370, 1984
- [2] N. G. Dhere et. al., "Composition and temperature coefficient of resistance of Ni-Cr thin films", Thin Solid Films, Vol.59, No.33, 1979
- [3] W. E. Isler et. al., "Influence of deposition and processing parameters on the TCR of Ni-Cr-Cu-Al alloy film resistors", IEEE Trans. on Parts, Materials & Packaging, PMP-5 (3), pp.139, 1969
- [4] K. Matsuda, "Super precision metal film resistors", National Tech. Rep., Vol.26, No.2, pp.283, 1980
- [5] E. Schippel, Kristall und Technik, "Modification test of vacuum deposition Ni/Cr films with Mn and Si for thin film resistors", Vol.15, No.8, pp.917, 1980
- [6] M.A. Bayne, "Al-doped Ni-Cr for temperature coefficient of resistance control in hybrid thin-film resistors", J. Vac. Sci. Technol., A4(6), pp.3142, 1986
- [7] J.H. Mooij et. al., "Structural and electrical properties of sputtered CrNi films", J. Vac. Sci. Technol., Vol.9, No.1, pp.446, 1972
- [8] A. Belu-Marian et. al., "Electrical properties and structural defects of Ni-Cr thin films", Thin Solid Films, Vol.139, No.15, 1986
- [9] M. I. Birjega et. al., "Crystallization of amorphous sputtered 55%Cr-45%Ni thin films", Thin Solid Films, 92, 315, 1982
- [10] BJ Lee, BH Lee, DC Lee, "Quaternary Alloy Films for Thin Film Resistors", JJAP, 42, 3, pp1405-1409, 2003

저 자 소 개



이 봉 주 (李鵬周)

1973년 4월 16일생. 1996년 인하대 전기공학과 졸업. 1998년 동 대학원 전기공학과졸업(석사). 2003년 동 대학원 전기공학과졸업(박사) 현재 (주)아크로센스 책임연구원

Tel : 032)860-7393 Fax : 032)863-5822

E-mail : aprilb@empal.com



박 구 범 (朴球範)

1962년 1월 19일생 1984년 인하대 전기공학과졸업 (학사) 1992년 동대학원 전기공학과 졸업(박사) 1995년 - 1996년 日本北海道大學校 post-doc. 1992. 3 - 현재 유한대학 전기과 부교수

Tel : 02)2610-0734

E-mail : pgb@yuhan.ac.kr



김 병 수 (金昞秀)

1969년 7월 12일생. 1993년 인하대 전기공학과 졸업, 1998년 동대학 동학과 석사 졸업. 현재 인하대 전기과 박사과정

Tel : 016-784-8601, 032)860-7393

E-mail : drkbs@hanmail.net



이 덕 출 (李德出)

1939년 1월 22일생. 1963년 인하대 전기공학과 졸업. 1966년 동 대학원 전기공학과졸업(석사). 1976년 나고야 대학교 전기공학과 졸업(공박). 1996년~1998년 인하대 공대학장/부총장. 현재 인하대 전기·전자공학부 교수

Tel : 032)860-7393

E-mail : leedc@inha.ac.kr