

고정저항기의 개요 및 기술현황

김 영 선

(스마트전자 종합연구소 소장)

1. 머리말

최근의 전자산업 전반에서 가장 화두가 되고 있는 Digital, 정보통신등과 적용분야에서 수많은 신규 부품들이 적용되고, 그 발전 속도 또한 완제품이 부품을 리드하기 보다는 오히려 부품이 완제품을 리드하는 것이 전자 산업의 현 주소이다.

지난 수십 년간 일본 전자 산업의 종사자들은 이렇게 말하곤 한다. "지금까지 초일류의 전자산업을 선도해 온 일본이 Sony는 포기해도 Murata는 포기하지 않는다." 우리의 전자산업의 구조와는 상반되는 산업 구조이며, 시사 하는 바가 있을 듯 하다. 우리는 초 일류를 지향하는 대형 완제품 Maker는 있으나, 이에 걸 맞는 초일류의 부품 Maker는 전무한 것이 사실이기 때문이다. 모든 전자기기는 결국 부품의 조합이며, 부품의 이해를 통해 Set를 이해 할 수 있는 시각 또한 필요할 때가 된 것이다.

이러한 대표적인 수동 부품의 하나인 저항기는 단순 부품으로 취급되고 있지만 실제 전력, 전자공학을 전공했거나 이 분야에 종사하는 많은 Engineer들조차 정확한 이해에 바탕을 둔 적용의 예를 찾아보기 힘들다. 즉, 가장 보편적인 부품이면서도 많은 적용상의 오류를 범하고 있는 부품 중에 하나가 저항기라는 것이다. 산업 전반의 모든 전자 부품은 저항기로 해석할 수 있으며, 실제 저항이다. 단지 저항을 해석하는 방법의 차이일 뿐이다. 열적 해석인 경우 Thermistor이고, 주파수의 해석인 경우 인덕터, 콘덴서이고, 전압의 해석인 경우 Varistor등 일 뿐이다. 따라서 모든 부품의 근간이 되는 저항기의 올바른 이해는 모든 부품의 이해에 많은 도움이 될 것으로 확신한다.

2. 저항기의 개요 및 분류

2.1 저항기의 개요

전자부품에 대한 기능적 분류에서 저항기는 수동부품에 속하는 것으로서 가장 이상적 수동부품의 경우 손실 없이 전기적 에너지를 저장하거나 전달 또는 비전기적인 형태로 변환될 수 있어야 한다. 이러한 특성은 전압(V)과 전류(I)사이의 직선적인 관계 혹은 시간에 대한 미분계수로 나타낼 수 있다. 저항기는 이러한 특성을 가장 기본적으로 만족시켜주는 부품으로써 어떤 전압을 인가할 때 이것과 동위상으로 희망하는 전류를 얻기 위한 소자라 할 수 있다. 특히 옴(Ohm)의 법칙에서 저항(R)은 전류(I)에 대한 전압(V)의 비로 우리에게 매우 잘 알려져 있다⁽¹⁻⁹⁾. 이는 1V의 전압을 인가하여 1A의 전류가 흐를 때의 저항치를 1Ω으로 정하고 있다. 또한 R의 값은

$$R = \rho \frac{L}{A}$$

로 주어지고, ρ 는 비저항율로 물질의 고유 상수, L은 길이, A는 단면적이다.

전기회로의 기본법칙인 옴(Ohm)의 법칙이 발견된 1826년부터 약 반세기 후에야 탄소 Solid 저항기의 원형이 C. Bradley에 의해서 발명되었다. 그 후, 여러 가지 종류의 저항기가 전기통신기술의 발전과 더불어 발명되고, 기본적 회로부품으로서 그 자리를 굳혀 오늘에 이르고 있다⁽¹⁰⁻¹¹⁾.

2.2 저항기의 분류

저항기는 크게 일정한 저항치를 유지할 수 있도록 되어 있는 고정저항기와 전압회로의 전압조정과 음성조정 등의 역할을 하는 가변저항기 및 여러 개의 저항소자를 복합시켜 연결

한 네트워크 저항기로 분류된다. 하지만 본 내용에서는 고정 저항기(Fixed Resistor)에 국한하여 설명하도록 하겠다.

2.2.1. Film Type Resistor

저항체 재료에 따라 금속계와 탄소계로 크게 분류된다. 또 다른 분류로서 저항기의 중요부분인 저항막은 후막계와 박막계로 대별되며, 후막과 박막은 그 두께에 의해 분류되기보다는 막의 형성기술에 따라 분류된다. 저항 페이스트를 사용하여 스크린 인쇄로 형성한 막을 후막으로 분류하며, 그 두께는 수 μm 부터 수십 μm 에 이른다. 이와는 달리 진공증착과 같은 물리적 방법 또는 도금에 의한 화학적 방법 등으로 수십 \AA 부터 수천 \AA 의 두께로 형성된 막을 박막으로 분류하고 있다. 표 1에 현재 가장 보편적으로 사용되고 있는 Film형 저항기의 종류, 용도를 나타내었다.

2.2.2. Wire Type Resistor

직경 0.1~0.4mm 저항선을 비전도성 부재에 감아놓은 저항기로 저 저항을 형성하는 동시에 고전력에 사용이 가능하므로 전류센서 및 돌입전류 보호소자로 많이 이용된다. 또한 선재에 용단 특성을 부여 시 과전류에 대한 퓨즈역할도 가능하다.

3. 신뢰성 평가

저항기의 저항치는 사용되는 회로의 전기적 조건에 따라 변화할 수밖에 없으며 온도, 습도 등의 주위환경 또는 시간적 조건에 의해서도 변화한다. 이와 같은 저항치 변동의 원인은 저항체인 기능막의 물리적 상태가 변화하거나, 화학적으로 변질하는 것뿐만 아니라, 기능막의 지지체나 보호 외장의 상태 변화에 따라서도 변화한다. 따라서 저항기를 사용하는데 있어서 저항치의 변화를 유발시키는 사용 조건은 피해야 한다. 그러나 각종 규격에 정해진 사용조건 범위 내에서 사용하는 경우에는 저항치가 거의 영구적으로 허용된 변화범위 외의 값으로 변화하지는 않는다. 저항기는 많은 다른 전자부품과 비교하여 환경조건의 변화에 대하여 전기적, 기계적으

Table 1 Classification of film type resistors

종류	저항체막	용도
탄소피막형	열분해 석출탄소	가장 범용화 된 저항기
산화금속피막형	열분해 산화주석	Power용으로 전원부 적용
금속피막형	Ni-Cr계 합금박막	정밀급 저항
후막형	Metal Glaze계 후막	고저항, 고전압용 Anti-surge 저항
Fusible 형	Fe계 합금	Abnormal 대응용

로 안정성이 우수하며 회로설계에 무리가 없는 한 가장 신뢰성이 높은 전자부품이다.

저항기의 특성에 대해 각종 규격으로 정해진 것은 온도, 습도, 부하전력, 단시간과부하전력, 고온부하, 내습부하, 부하수명, 고주파, 온도 cycle, 펄스부하, 전압계수, 잡음, 절연내력, 납내열성, 단자강도, 경시변화 등이 있다^[12-13]. 그러나 실용상으로 가장 크게 저항치의 변화에 영향을 주는 요인은 온도, 습도, 전압, 전류, 시간, 기계적 응력 등으로써 상기의 여러 가지 특성은 이들 6인자로 거의 환원된다. 이들 인자의 상호작용 또는 경우에 따라 부가적인 인자의 영향으로 사료된다. 표 2에 저항박막의 전기적 특성에 미치는 인자를 나타내었다. 이 표로부터 저항기의 특성에 가장 큰 영향을 주는 환경조건은 온도, 습도이며 전기적 조건으로는 부하전력임을 알 수 있다.

또한 저항기에 일정한 전압을 인가한 경우 저항치 변화가 어떠한 인과관계로 일어나는가를 그림 1에 나타내었다.

저항기의 저항 기능막은 도전성 물질을 박막으로 형성한 것이므로 그 물질이 Bulk상태에서 나타나는 도전성과는 상당히 다르다. 막의 두께가 그 물질 중에서의 전자평균 자유 행로와 비슷한 정도, 즉 수백 \AA 으로 되면, 전자의 운동이 막의 표면에서의 산란에 의해 방해를 받으므로, 그 결과 Bulk에서

Table 2 Parameters affecting electrical properties of a thin film resistor

특성 \ 요인	온도	습도	전압	전류	시간	기계적 요소
온도특성	●					
고온특성	●					
납내열성	●					
습도특성	○	●				
전압계수			●			
부하특성	●	○	●	●		
고온부하특성	●		●	●		
내습부하특성	○	●	●	●		
펄스특성	○	○	●	○		
부하수명특성	●	○	●	●	●	
절연내력		○	●			
열잡음	●					
전류잡음		○	○	●		
섭동잡음				○		●
경년변화특성	○	●	○		●	
섭동특성						●
단자강도	○	○				●

● : 주요인 ○ : 2차적 요인

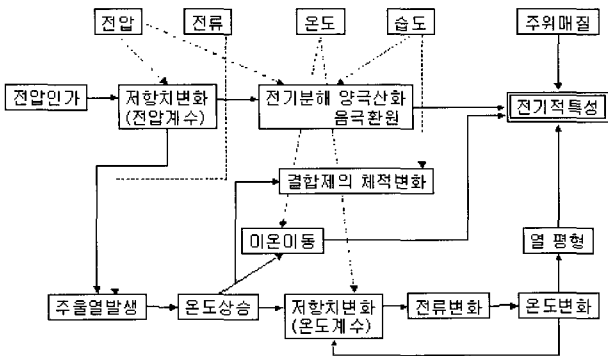


Fig. 1 Parameters affecting electrical properties of a thin film resistor

의 저항치에 비해서 큰 값을 나타낸다. 저항체 박막의 지지체로써 원통형 또는 각형 Alumina세라믹스가 사용되며 그 표면상태는 전기적 특성을 변화시킨다. 예를 들면, 금속피막저항기의 경우, 세라믹스 표면에서는 Glass표면에 착박된 경우에 비해 수배의 값을 나타낸다. 물론 막의 두께가 두꺼워지면 Bulk인 경우의 값과 가깝게 된다.

3.1 온도계수

저항기에서 저항치의 온도의존성을 나타내는 지수로써 일반적으로 온도계수라는 수치가 사용되고 있다. 온도계수는

정해진 온도 범위 내에서 단위온도에 대한 저항치의 변화율이며 단위는 ppm/°C로 나타내고 있다⁽¹⁴⁻¹⁵⁾. 저항기의 온도계수는 주로 저항체를 구성하는 기능막의 재료, 형상, 제조방법에 의해 지배된다. 저항체로써 단일금속 또는 합금으로 된 선, 판, 박막 등을 사용한 것은 온도계수가 정(+)의 값을 나타내며, 넓은 온도 범위에 있어서 저항치가 직선적으로 변화한다. 금속 또는 합금에서는 온도가 올라가면 결정격자의 금속이온의 열진동이 활발해져 전자의 이동을 방해하기 때문에 저항이 증가하여 양(+)의 온도계수를 나타낸다.

탄소질의 열분해석출 탄소를 저항체로 한 탄소피막형, 금속산화물을 박막을 저항체로 한 산화금속피막형에서는 저항체가 반도체이므로 고온으로 가면 전기전도에 관여하는 전자 또는 정공의 증가에 의한 저항치의 감소가 결정격자 이온의 열진동에 의한 저항치의 증가보다 크므로 결과적으로는 온도계수는 음(-)으로 된다. 탄소계 후막, 귀금속계 후막을 저항체로 한 후막계 저항기는 일반적으로 음(-)의 온도계수를 나타낸다⁽¹⁶⁻²¹⁾. 이들 저항체에서는 탄소입자 또는 귀금속산화물 등의 입자가 근처에 있는 수지 또는 Glass등의 열팽창에 의해 내압을 받아 전기적 접촉이 강해지기 때문에 저항치가 감소하는 것으로 사료된다. 표 3에 저항기에 사용되고 있는 재료의 저항율과 온도계수를 나타내었다.

3.2 잡음

저항기에서 발생하는 잡음에는 열잡음과 전류잡음의 2종류

Table 3 Electrical properties of various resistor materials

재 료	조 성(Typical Wt%)	저 항 율($\mu\Omega$ cm)	온도계 수(ppm/°C)
Ni-Cr-Au	30Ni-45Cr-25Au	-	-20 ~ +20
Ni-Cr-Cu-Al	70Ni-24Cr-3Cu-3Al	-	-50 ~ +40
Ni-Cr	40Ni-60Cr	135	-60 ~ +30
Ni-Cr-Al-Fe	76Ni-20Cr-2Al-2Fe	133	± 5
Ni-Cr-Al-Si	40Ni-40Cr-15Al-5Si	90 ~ 230	-120 ~ +750
Ni-Cr-Al-Be	69Ni-23Cr-4Al-4Be	-	-20 ~ +50
TaN	-	250	-30 ~ +250
TaAl	70Ta-30Al	-	-100 ~ +500
TiN	-	200	-30 ~ +10
ZrN	-	10^4 Order	-1100 ~ 0
Cr-Si	-	$10^3 \sim 10^5$ Order	-1500 ~ +500
CrCo	50Cr-50Co	-	-25 ~ +25
Ta	-	2000 ~ 4000	-200 ~ -300
TaO	-	80 ~ 240	-200 ~ +800
TaAl	TaAl	30 ~ 220	-100 ~ +500
TaSi	TaSi	200 ~ 300	-140 ~ -60
Ni-Cu	Ni-Cu	-	-100 ~ -30

가 있다. 열잡음은 저항체 중에 존재하는 자유전자의 불규칙한 열운동에 기인하며, 그 재질이나 형상에는 무관하고 전류잡음에 비하여 매우 작다. 전류잡음은 저항기에 전류가 흘렀을 때 발생하는 잡음이며 전류가 증가함에 따라 커진다. 또 저항체의 재질에 영향을 쉽게 받으며, 권선형 저항기, 금속피막저항기에서는 거의 무시할 수 있으나 탄소피막형, 후막형 등에서는 무시할 수 없는 크기를 가진다. 탄소체 저항기에서 저항치가 높은 것이 특히 전류잡음이 커서 잡음이 문제되는 회로에서는 사용되지 않는다.

3.3 주파수특성

일반적으로 실용저항기에 있어서 인가전압이 교류인 경우, 직류에 있어서의 저항치와 차이가 난다. 이것은 주로 저항기에 부수하는 용량과 더불어 인덕턴스에 기인하는 것과 표피효과에 의한 것으로 대별된다. 전자에 대해서는 저항기 자체의 분포용량, 회로에 실장 되었을 때의 다른 부품, 케이스 등과의 용량, 저항체 및 리드선의 인덕턴스 등을 인자로 들 수 있다. 후자는 주로 권선저항기에서 문제로 되고 있으며, 비저항치가 비교적 크고 동시에 유전율이 작은 일반적인 저항체에서는 그다지 큰 인자로 되지는 않는다. 권선저항기를 제외하면 일반적으로 저항치는 주파수의 증가에 따라 감소한다. 이 현상은 Boella 효과로 불리워진다. 지금까지 몇몇 사람들에 의해 그 기구의 설명이 시도되었으나 가장 대표적으로 인용되는 것은 G. W. Howe에 의한 것이다. Howe는 저항체의 자기 분포용량만의 영향을 고려하여, 출력축을 단락시킨 전송선의 모델로 이것을 해석하였다^[22].

그림 2의 (a)와 같은 저항체에 단위길이 당 균일한 분포용량을 가정하고, 이것을 상하 방향으로 들여다보면 (b)와 같은 전송선으로 옮길 수 있으며, 그 임피던스를 구하여 저항체를 (c)와 같은 등가회로로 표현한 것으로써, 주파수 f에서의 저항치 R_f 와 직류저항치 R_1 와의 비를 산출하는 것이다. 그 결과를 다음 식으로 나타낼 수 있다.

$$\frac{R_f}{R_1} = \frac{1}{A} \frac{e^{2A} + e^{-2A} - 2 \cos 2A}{e^{2A} + e^{-2A} + 2 \sin 2A}$$

여기에서, $A \equiv \ell \sqrt{\omega CR/2}$

직류전저항 : $R_0 = IR$

전분포용량 : $C_0 = IC$

2ℓ : 저항체 길이

분포용량에 대해서는 주파수 f에 있어서 용량치를 C_f 직류에서의 용량을 C_0 라 하면, A를 사용하여 다음 식으로 주어진다.

$$\frac{C_f}{C_0} = \frac{1}{2A} \frac{e^{2A} + e^{-2A} - 2 \cos 2A}{e^{2A} + e^{-2A} + 2 \sin 2A}$$

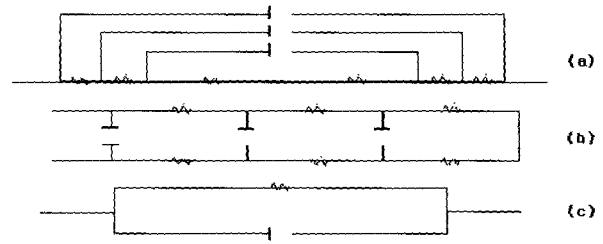


Fig. 2. Equivalent circuits of a resistor; (a) distributed capacitor model, (b) transmission line model, (c) Simplified model

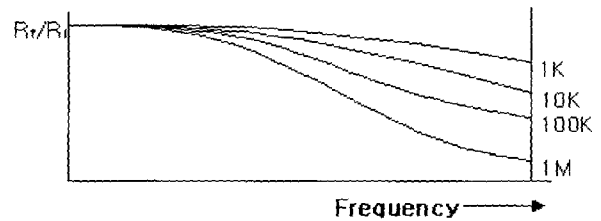


Fig. 3. Frequency dependence of resistance. R_f : resistance of frequency f, R_1 : DC resistance

이를 주파수와 저항값의 관계로 그림 3에 나타내었다.

3.4 전압계수

저항기의 여러 가지 특성 중에서 순수하게 전압에만 의존하는 성질로서 전압계수를 들 수 있다. 이것은 저항기에 전압을 인가했을 때 순간적으로 일어나는 저항치 변화를 말하는 것이다. 일반적으로 실용 저항기의 대부분은 엄밀히 말하면 Ohm의 법칙에 따르지 않는다. 즉 저항치는 인가전압에 무관하지 않으며 전압의 증가와 더불어 일반적으로 저항치는 감소한다.

전압계수(V_v)는 저항기의 정격전력에 상당하는 인가전압을 V, 이때의 저항치를 R_1 전압 V/10에 있어서의 저항치를 R_2 라고 하면 다음 식과 같이 정의된다.

$$V_v = 100(R_1 - R_2) / [R_2(V - V/10)] \quad (\%/V)$$

$$= 1000(R_1 - R_2) / R_2 V \quad (\%/V)$$

일반적으로 균일한 도체에서는 Ohm의 법칙이 성립하며, 전압-전류 특성은 직선관계에 있다. 이것은 전계에 의해 가속된 전도캐리어가 얻는 에너지가 충분히 작아서, 캐리어가 격자원자 또는 이온과 열평형 상태에 있다고 생각할 때 근사적으로 성립하는 것이다. 전계가 크게 되면 그 평형은 파괴되고 전류는 전장에 비례하지 않게 되어 Ohm의 법칙은 성립하지 않는다. 이러한 Ohm의 법칙으로부터 벗어나기 시작하는 전

계의 세기는 물질에 따라 다르다. 금속에서는 비저항이 낮고 일반적으로 인가 가능한 전계는 작아서 그 범위 내에서는 상기와 같은 현상이 일어나지 않는다.

4. 최근 저항기 동향

4.1 소형화

소형화의 경향은 이미 오래 전부터 예상된 것으로 완제품의 고집적화에 따라 부품의 경박단소화는 당연한 추세이다. 이를 위해 SMD형 또는 소형화 되고 있으며, 이로 인해 열전도도를 향상시킨 소재의 필요성 또한 부각되고 있다.

저항기는 완전한 전력 소실을 동반하는 발열체로서 소형화를 위해 열 방출은 업계 최대의 Issue이다. 따라서 기존의 알루미늄이나 소재의 기판에서 ALN에 이르기까지 그 적용 범위 또한 다양하게 형성되고 있다.

4.2 기능성 저항기

초일류 완제품 Maker의 등장과 함께 전자 부품 산업 전반의 Hot Issue는 가격 경쟁력뿐만 아니라 제품별로 적용되는 전반의 신뢰성이다. 이로 인하여 최근 저항기 시장 역시 단순 부하용에서 완제품의 적용 분야에 적합한 특화된 기능성 저항기들이 주류를 이루고 있다.

탄소피막, 금속피막, 산화금속피막, Fusible 피막, 돌입전류 제한소자, Fusing + Inrush current protect, Metal Glaze(Anti-surge resistor), Wire Wound, Metal Plate, 고전력 각형 저항 등, 적용 분야와 제작 공법에 따라 수십 종의 저항기들이 적용되고 있다.

5. 맺음말

지금까지 대부분의 사람들은 저항기를 RLC회로 구현을 위한 단순 부하용으로만 알고 있었다. 즉, 가장 보편적인 부품 이면서도 많은 적용상의 오류를 범하고 있는 부품 중에 하나가 저항기라는 것이다. 적용 Set의 구동 전압, 사용 환경 등 조건에 따라 적합한 저항기를 선정하여야 한다. 예를 들어 세탁기와 같이 습한 환경에서 사용되는 전원부의 저항기의 경우 절연성, 내화성, 내 Surge 특성뿐만 아니라 내습성까지 요구가 되어진다. 이러한 경우 내화를 위한 실리콘 피복 하단부에 내습을 위한 에폭시 코팅 층이 추가되어진다.

따라서 본 저자는 상기의 내용들을 통하여 모든 부품의 근간이 되는 저항기를 바르게 이해하고 회로에 적용 시 올바른 저항기 선정에 많은 도움이 되기를 바란다.

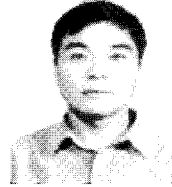
참고 문헌

- [1] Callister and William, "재료과학과 공학", 희중당, 2000.
- [2] V. Vlack and H. Lawrence, "재료과학", 문운당, 1982.
- [3] Craig R. Barrett, William D. Nix, and Alsan S. Tetelman, "재료과학원론", 지성출판사, ch. 12, 1997.
- [4] Donald R. Askeland and Frank Haddleton, "재료과학과 공학", 사이텍미디어, 1999.
- [5] James P. Schaffer, "재료과학의 이해와 응용", 반도출판사, 1997.
- [6] DeCarlo, R. A., and P. M. Lin, "Linear Circuit Analysis", Prentice Hall, 1995.
- [7] Charles K. Alexander, Matthew N. O., and Sadiku, "회로이론", McGraw-Hill Korea, 2001.
- [8] 정정화, 박민용 역, "Brophy-전자공학", 희중당, 1996.
- [9] James J. Brophy, "Basic electronics for scientists", McGraw Hill, 1983
- [10] 편집위원회편, "저항기최신기술재료", 종합기술출판, 1985.
- [11] JIS Handbook, 전자부품편, 일본규격협회, pp. 555~724, 1987.
- [12] 박태순, "고주파 마그네트론 스퍼터링으로 제조한 SiO₂ 절연박막 및 NiCr 합금박막의 구조 분석 및 전기적 특성 관한 연구" 고려대학교, 금속공학과 석사학위논문, 1998.
- [13] 연운모, 지무성, 송건, 홍영환, "금속재료" 기전연구사, pp. 23~44, 1996.
- [14] H. Yoenhara, Y. Fukuda, and T. Shirakawa, ISHM'87 Proceedings, pp. 147~150 1987.
- [15] M. Ohring, "The Materials Science of Thin Films", Academic Press, pp. 101~132, 1992.
- [16] 城阪俊吉, 전자기기부품, pp. 185~186, 1961.
- [17] T. Arai, "The study of the optical properties of conducting tin oxide films and the interpretation in terms of a tentative band scheme", J. Phys. Soc. Japan, Vol. 15, pp. 916~927, 1960.
- [18] M. Yoshida and E. Andrade, "Growth and Structure of thin dioxide thin films obtained by an improved spray pyrohydrolysis technique", Thin Solid Films, Vol. 224, pp. 87~96, 1993.
- [19] K. H. Yoon and J. S. Song, "Effect of solvents and

carrier gases of the electrical and optical properties of pyrosol-deposited SnO₂-based films”, Thin Solid Films, Vol. 224, pp. 203~208, 1993.

- [20] V. Vasu, “Electrical and optical properties of pyrolytically sprayed SnO₂ Films-Dependence on substrates temperature and substrates temperature and substrate-nozzle distance”, Thin Solid Films, Vol. 189, pp. 217~225, 1990.
- [21] V. Vasu and Subrahmanyam, “Electrical and optical properties of sprayed SnO₂ Film: Dependence on the oxidizing agent in the starting materials”, Thin Solid Films, Vol. 193/194, pp. 973~980, 1990.
- [22] 강승돈, 정진기, 구기덕, 윤종광, “고정저항기의 개발을 위한 특성고찰 및 향후동향”, 전자공학회지, 제 21 권 제 8 호, pp. 4, 1994.

〈 저 자 소 개 〉



김영선(金永善)

1959년 6월 18일생. 1987년 동아대 공대 전자공학과 졸업. 2004. 3~현재 울산대 대학원 첨단소재공학과 재학중. 1995년 (주)성요사 근무. 2002년~현재 스마트전자(주) 종합연구소 소장.