

## 높은 비저항을 갖는 RF 소자용 CoPdAlO 박막의 자기적 특성

김택수

고기능성자성재료연구센터, 대전광역시 유성구 궁동 충남대학교 220, 305-764

이영우 · 김종오

충남대학교 재료공학부, 대전광역시 유성구 궁동 충남대학교 220, 305-764

(2001년 2월 26일 받음, 2001년 6월 1일 최종수정본 받음)

휴대전화와 PHS등의 Si-MMIC에 이용되고 있는 spiral 인덕터는 약 800 MHz대 이상의 준마이크로파 대역을 이용하고 있다. 그러나 W-CDMA는 약 2 GHz까지의 주파수 대역을 적용하고 있어, 그에 따라 자성박막의 자기특성도 2 GHz 대역까지 안정한 재료 개발이 요구되고 있다. 따라서 2 GHz 대역에서 연자기 특성이 기대되는 CoPdAlO계 박막을 rf 스퍼터링 법으로 제조하여, Pd 첨가량 및 자장중열처리 온도에 따른 자기적 성질을 조사하였다. Pd 조성이 19 %일때,  $H_k$ 는 118 Oe,  $\mu'$ 는 1.5 GHz까지 평행한 주파수특성을 보였다. 그러므로, CoPdAlO 박막은 GHz 대역에서 안정한 자기 특성변화를 나타내었고, W-CDMA의 인덕터 재료로서 기대 할 수 있다고 판단된다.

### I. 서 론

휴대전화와 PHS등의 수신전용 Si-MMIC에 이용되고 있는 공심 스파이어럴 형 인덕터에 자성막을 부여하여 소형화와 인덕턴스 값을 높이기 위한 연구가 진행되고 있다 [1, 2]. 현재까지의 MMIC는 약 800 MHz대 이상의 준마이크로파 대역에서 동작하고 있어, 자성막의 주파수 자기 특성도 1 GHz까지 안정적인 특성을 갖는 재료가 활용되고 있다[3]. 그러나 W-CDMA는 약 2 GHz까지의 주파수 대역을 적용하고 있으며, 그에따라 자성박막의 자기특성도 2 GHz 대역까지 안정한 재료 개발이 요구되고 있다. 자성막의 주파수특성을 결정하는 요인으로 강자성공명주파수가 있다. 강자성공명주파수는 이방성자계와 포화자화의 곱의 제곱근에 비례하기 때문에, 그 값이 큰 재료를 요구하고 있다. 또한 와전류손실의 감소를 위해서 전기저항 값이 높은 것이 필요하다. 이를 위하여 과립형(granular) 자성막의 연구가 행해지고 있고[4, 5], Co계의 과립형 자성막에서 100 Oe을 초과하는 고이방성자계, 고포화자화, 또한 높은 비저항을 가지는 막이 보고되고 있다. 그러나 GHz 대역에서 동작하는 인덕터에의 적용을 전제로 한 자성막의 검토는 행해지지 않았다.

본 논문에서는 100 Oe을 초과하는 고이방성자계를 가지고, GHz 대역에서 연자기 특성이 기대되는 Co-Pd-Al-O계 박막을 Pd 첨가량 및 자장중열처리 온도에 따른 자기적 성질과 결정구조를 측정하였고, 특히 Pd 첨가량에 따른 GHz

대역에서의 자기특성변화에 대하여 상세한 검토를 함으로써, 집적화 인덕터에의 응용 가능성을 살펴보고자 하였다.

### II. 실험

CoAlPdO 박막은 스퍼터링법으로 제작하였고, Co 타겟 위에 5 mm×5 mm의 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Pd chip을 배치한 복합 타겟을 이용하였고, 그의 면적비에 의해서 조성을 변화시켰다. 도달압력은 4×10<sup>-7</sup> Torr 이하, 기판은 glass를 이용하였다. 성막시의 Ar gas 압은 11 mTorr, 투입전력 160 W로 하였다. 이때 얻어진 박막의 두께는 0.65 μm이다. 막의 열처리온도는 진공도 6×10<sup>-6</sup> Torr 이하, 직류자계 500 Oe을 자성막의 자화용이축방향으로 가하면서, 300 °C의 온도에서 1시간동안 수행하였다. 보자력  $H_c$ , 이방성자기장  $H_k$ , 포화자기유도  $B_s$ 는 VSM으로 측정하였고, 투자율의 주파수특성( $\mu$ -f 특성)은 10 MHz~3 GHz의 주파수범위에서 측정하였다. 저항값은 직류 4단자법, 막의 구조는 Cu-K $\alpha$ 선을 이용하여 X선 회절법(XRD)에 의해 평가하였다. 시료조성은 EDX를 이용하여 조사하였다.

### III. 결과 및 고찰

Fig. 1은 제작된 Co-Pd-Al-O박막의 조성을 나타낸다. 여기서의 Al+O양은 막중의 산화물 절연상의 양이라고 생각할 수가 있다. Al과 O의 조성비는 약 1:2로 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>의

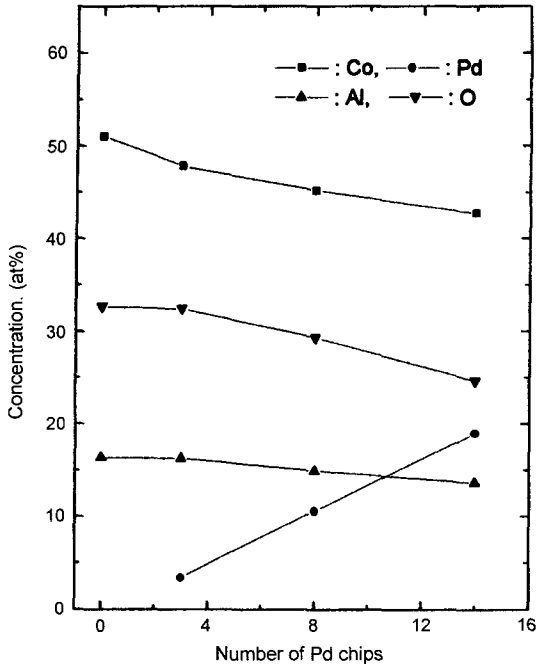


Fig. 1. Composition dependence on the Pd chips of Co-Pd-Al-O films.

화합조성비 2:3 보다도 산소가 과잉된 상태에 있다. 또한 Pd chip의 면적비를 증가시키면 스퍼터율이 큰 Pd의 조성이 급격히 증가함을 알 수 있다.

Fig. 2는 300°C에서 자장중 열처리한 Co-Al-Pd-O박막의 Pd조성에 따른 자화곡선을 나타낸 것이다. Pd 첨가량 2%까지의 자화용이 방향의 자화곡선은 큰 변화를 볼 수 없으나, 그 이상으로 Pd양을 증가시키면 자기이력곡선의 폭이 급격히 증가되었다. 또한 Pd 첨가량에 관계없이 자화용이 방향과 관련방향의 자기이력곡선을 확실히 구분 할 수 있어 양호한 일축자기이방성을 가지고 있음을 알 수 있었다.

Fig. 3은 자장중 열처리한 Co-Al-Pd-O박막의 Pd조성에 따른 자화특성 및 전기비저항의 변화를 나타낸 것이다. 포화자기유도  $B_s$ 와 비저항  $\rho$ 는 Pd 조성이 증가할수록 감소하는데, 이는 Fig. 1의 조성분석에서와 같이 Pd 함량이 증가할수록 Co와  $Al_2O_3$ 의 감소에 기인한 것이다. 자화용이 방향의 보자력  $H_c$ 는 Pd 함량이 증가함에 따라 급격히 증가하는데, 이에대한 고찰은 아직까지 확실히 설명할 수는 없으나 원자반경이 큰 Pd이 Co 격자내에 전율고용되어 Co 격자 뒤틀림에 의한 내부응력의 증가에 의한 것으로 생각된다. 또한  $H_c$ 와  $H_k$ 는 Pd 함량이 증가함에 따라 증

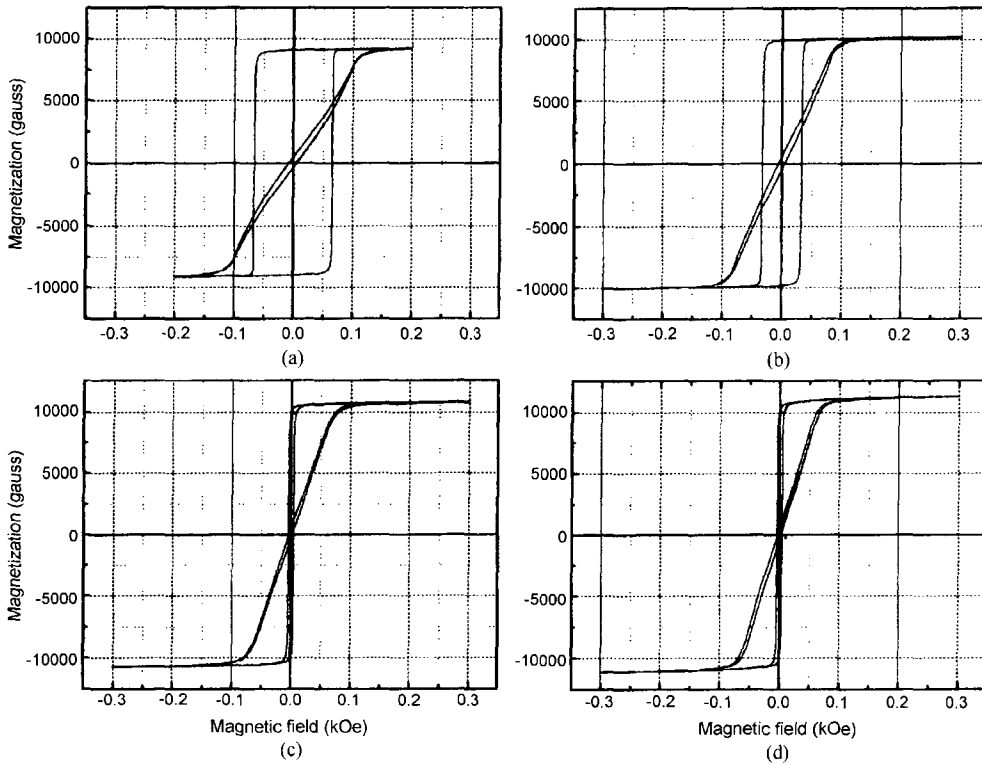
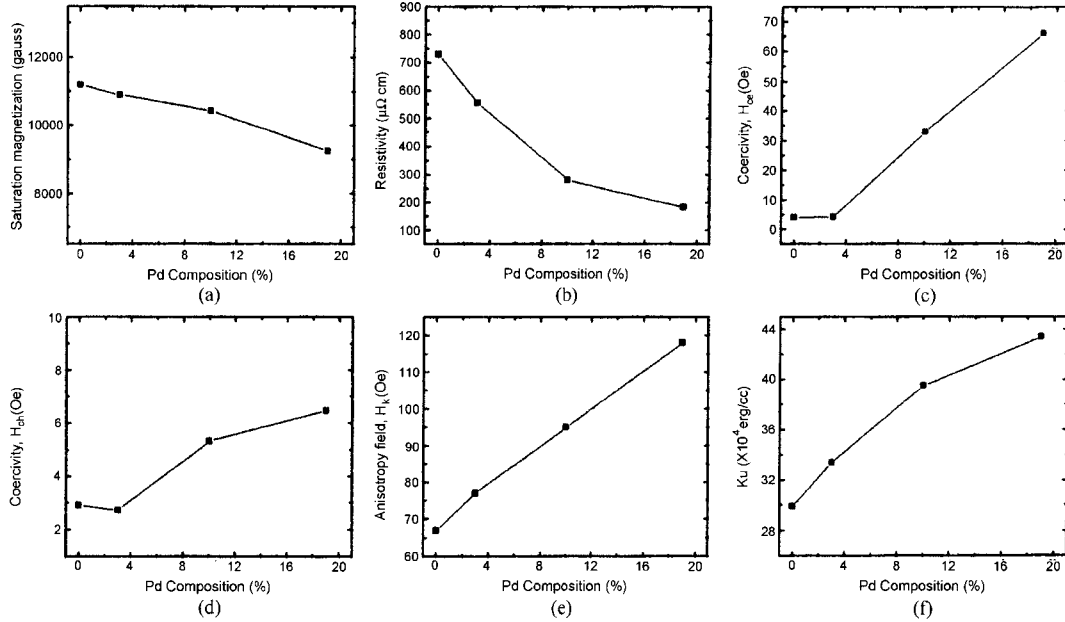
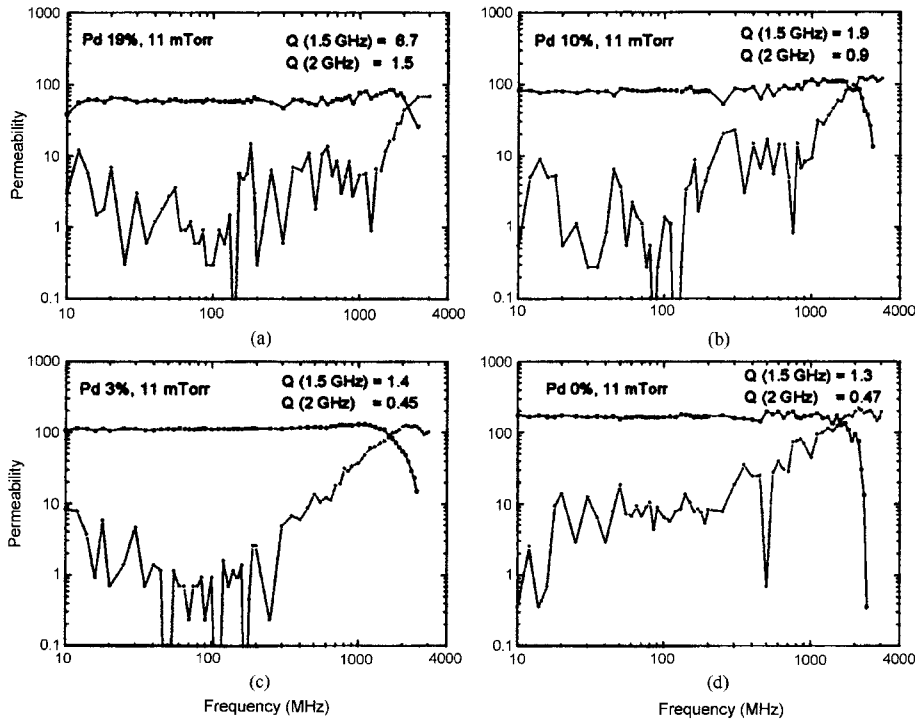


Fig. 2. Hysteresis loops of Co-Pd-Al-O films with various Pd concentrations; (a) Pd = 19%, (b) Pd = 10%, (c) Pd = 2%, (d) Pd = 0%.



**Fig. 3.** Magnetic Properties and electrical resistivities of CoPdAlO films with various Pd concentrations annealed under magnetic field; (a) Saturation magnetization, (b) Resistivity, (c) Coercivity in easy direction, (d) Coercivity in hard direction, (e) Anisotropy field, (f) Uniaxial anisotropy constant.



**Fig. 4.** Frequency dependence of the permeability of CoPdAlO films with various Pd compositions; (a) Pd = 19%, (b) Pd = 10%, (c) Pd = 3%, (d) Pd = 0%.

가하는데, 자화용이방향의  $H_c$  증가와 관련이 있을 것으로 사료된다. 각 박막의  $H_k$ 의 값으로부터 일축이방성상수( $K_u$ )을  $H_k = 2K_u/M_s$  관계를 이용하여 계산하였다. 그 결과, Co-Al-Pd-O의  $K_u$ 는 Pd 첨가량이 증가할수록  $2.99 \times 10^4$  erg/cm<sup>3</sup>에서  $4.34 \times 10^4$  erg/cm<sup>3</sup>로 증가되었다.

Fig. 4는 자장중 열처리한 Co-Al-Pd-O 박막의 Pd조성 변화에 따른  $\mu$ - $f$  특성(3 GHz까지)의 변화를 나타낸 것이다.  $\mu'$ 의 결과를 비교해 보면, Pd의 첨가한 막은  $\mu' = 4\pi M_s/H_k$ 의 관계식에 따라서  $\mu'$ 의 절대치는 점점 감소하지만, 1.5 GHz까지 평행한 주파수특성을 보여준다. 또한  $\mu''$ 의 결과를 비교해 보면, Pd를 첨가한 막은 손실이 시작되는 주파수가 점점 높아짐을 알 수 있다. 그림에는, 1.5 GHz와 2 GHz에서의 성능지수(Q)의 값을 나타내었다. Q 값은,  $Q = \mu'/\mu''$ 로 정의하였고, Q 값이 크면 손실이 작게 되어 양호한  $\mu$ - $f$  특성을 가지고 있다고 보여 준다. 1.5 GHz와 2 GHz에서의 Q값은 Pd 첨가에 의해 증가하고 있다. 또한, 공명주파수도 Pd 첨가량이 증가될수록 2.4 GHz에서 2.8 GHz로 증가되었다. 이는 Pd 첨가에 의해  $H_k$ 가 증가함에 따라서  $\mu$ - $f$  특성이 개선되었음을 알 수 있다.

상기 특성의 개선에 대하여 알아보기 위하여, Fig. 5에서는 Pd의 첨가량 변화에 따른 Co-Al-Pd-O 박막의 X선 회절패턴의 변화를 나타낸 것이다. fcc와 hcp-Co peak는

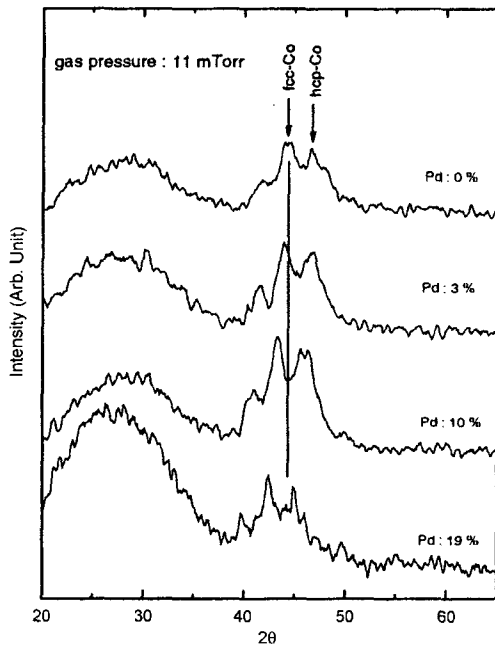


Fig. 5. X-ray diffraction patterns of CoPdAlO films with Pd compositions.

Table I. Candidate thin film materials for RF inductors

Materials	$H_{ch}$ (Oe)	$H_k$ (Oe)	Q (1 GHz)	$\mu'$
(Co <sub>0.87</sub> Si <sub>0.13</sub> ) <sub>85</sub> Pd <sub>15</sub> -O	2.1	188	5.2	52
(Co <sub>0.85</sub> Al <sub>0.15</sub> ) <sub>60</sub> O <sub>40</sub>		83	8	120
Co <sub>51</sub> Pd <sub>34</sub> Si <sub>3</sub> O <sub>12</sub>		220	5	150
(Co <sub>0.7</sub> Fe <sub>0.3</sub> )Al-O	0.9		4	180
Fe <sub>61</sub> Al <sub>13</sub> O <sub>26</sub>			1.5	200
Fe <sub>72</sub> Al <sub>11</sub> O <sub>17</sub>	1	18	≤ 1	2000
FeMgO <sup>(8)</sup>	0.27	7.5	≤ 1	2000
CoCrO <sup>(9)</sup>		80	3	150
CoZrNb		10	≤ 1	1000
Results of our work :	6.5	118	6.7(1.5 GHz)	64
CoPdAlO			1.5(2 GHz)	

막 내의 Pd농도의 증가에 따라 저각측으로 이동하는 것으로 보아 fcc와 hcp-Co의 격자상수가 크게 됨을 알 수 있다. 이는 Pd가 Co 격자 내에 치환되는 것으로 사료된다. 과립형 막의 메커니즘에 대하여 Shimada[3] 등에 의하면 이웃하는 금속입자의 교환결합이 금속내부 결정자기이방성에너지보다 클 경우에 좋은 연자기적 성질이 나타난다고 보고하였다. 또한, M. Takahashi등[7]의 보고에 의하면 Co-Pd 합금에서의 결정자기이방성에너지는 Pd 함유량이 0 at%인 경우  $7 \times 10^6$  erg/cm<sup>3</sup>, 2.5 at%인 경우  $4.8 \times 10^6$  erg/cm<sup>3</sup>, 5 at%인 경우  $3 \times 10^6$  erg/cm<sup>3</sup>로 Pd 함유량이 증가할수록 감소된다고 보고하였다. 따라서 Co격자내에 Pd이 치환되면 결정자기이방성에너지가 감소되어 좋은 연자기 성질이 나타난다고 판단된다.

지금까지 RF 인덕터에 적용하기 위하여 연구된 자성막에 대한 결과를 Table I에 나타내었다. Table I에는 크게 Fe계, Co계 및 비정질의 3종류로 구분 할 수 있다. W-CDMA에 적용하기 위해서는 1 GHz이상의 주파수 특성을 요구하고 있다. 그래서 1 GHz에서의 Q값을 비교하여 보면 Fe계와 비정질은 2 이하의 낮은 값을 가지고 있어 1 GHz이상의 인덕터에 적용하기 어렵다. 또한, 1 GHz이상의 연자기 특성이 기대되는 Co계 합금의 Q 값도 5~8으로 낮은 값을 가지고 있다. 한편, 본 연구의 Q 값의 결과는 1 GHz에서 23.3, 1.5 GHz에서 6.7, 2 GHz에서 1.5을 보여 1 GHz이상의 고주파수에서 자기특성이 향상되었음을 알 수 있다. 따라서 1 GHz이상의 주파수 특성을 가지는 인덕터에의 응용 가능성이 기대된다.

#### IV. 결 론

CoAlPdO박막의  $\mu$ - $f$  특성을 개선하기 위하여, Pd를 첨

가한 박막을 제작하여 그의 특성을 검토하고 아래와 같은 결론을 얻었다.

1. As-deposited 상태의 자화곡선은 이방성이 보이지 않지만, 정자계중 열처리에 의해 일축이방성자계가 유도되었다.

2. CoAlPdO 박막의 자기적 및 전기적 성질은 Pd의 첨가량이 증가함에 따라 포화자속밀도 9.3~11 kG, 전기비저항 750~184  $\mu\Omega\text{cm}$ ,  $H_{ce}$  4.1~65 Oe,  $H_{ch}$  2.9~6.5 Oe,  $H_k$  67~118 Oe을 나타내었다.

3. Pd를 첨가시킨 박막의  $\mu'$ 는 1.5 GHz까지 평행한 주파수특성을 보여진다. 또한,  $\mu''$ 가 시작되는 주파수가 점점 높아짐을 알 수 있다. 따라서  $H_k$ 의 증가에 의해,  $\mu-f$  특성이 개선되었다.

4. 막의 큰 유도자기이방성은 자성상의 합금화 외에 과립형 구조의 형태에 관계가 있으리라 생각되지만, 금후 상세한 검토가 필요하다.

와 고기능성 자성재료 연구센터에 의하여 지원되었으며 이에 감사드립니다.

### 참 고 문 헌

- [1] M. Hiranoto, N. Mausukawa, and H. Sakakima, *J. Magn. Soc. Japn.*, **24**, 867(2000).
- [2] M. Yamaguchi, K. Suezawa, K. I. Arai, Y. Takahashi, S. Kikuchi, Y. Shimada, W.D. Li, S.Tanabe and K.Ito: *J. Appl. Phys.*, **85**, 7919(1997).
- [3] K. Katoh, W.D.Li, and Y. Shimada, Fabrication process and soft magnetic properties of high resistivity granular films: *Appl. Phys. Lett.* (submitted).
- [4] S. Ohnuma, N. Kobayashi, T. Masumoto, S. Mitani and H. Fujimori: *J. Magn. Soc. Japan*, **23**, 240(1999).
- [5] N. Kobayashi, S. Ohnuma, H. Fujimori, and T. Masumoto, *J. Magn. Soc. Japn.*, **20**, 473(1996).
- [6] K. Suezawa and M. Yamaguchi, *J. Magn. Soc. Japn.*, **24**, 731(2000).
- [7] M. Takahashi, H. Shoji, S. Kadowaki, D. Djayaprawire, Y. Komori and H. Domon: *Appl. Phys. Lett.* (submitted).
- [8] H. J. Lee, S. Mitani, T. Shima, and H. Fujimori, *J. Magn. Soc. Japn.*, **22**, 625(1998).
- [9] T. Morikawa, M. Suzuki and Y. Taga: *J. Magn. Soc. Japan*, **23**, 244(1999).

### 감사의 글

이 연구는 한국과학재단의 해외 Post-doc. 연수지원비

## Magnetic Properties of High Electrical Resistive CoPdAlO Film for RF Device

Taek Soo Kim

*ReCAMM, Chungnam National University 220 Gung-dong Yousung-gu Taejon 305-764, Korea*

Young Woo Lee and Chong Oh Kim

*Division of Materials Engineering, Chungnam National University, 220 Gung-dong Yousung-gu Taejon 305-764, Korea*

(Received 26 February, 2001, in final form 1 June, 2001)

Presently, an inductor adapted at MMIC (Monolithic Microwave Integrated Circuit) which is used for cellular phone or PHS operates at quasi-microwave range over 800 MHz. However, a W-CDMA (Wideband Code Division Multiple Access) will use about 2 GHz range. Therefore magnetic film device should be compatible up to 2 GHz. We have deposited Co-Pd-Al-O system film using rf sputtering method which is expected up to 2 GHz, and investigated the effect of Pd content and magnetic field annealing. When Pd composition is 19%,  $H_k$  was 118 Oe, and  $\mu'$  showed flat frequency characteristics up to 1.5 GHz. The Q factor ( $=\mu'/\mu''$ ) was 23.3 at 1 GHz, 6.7 at 1.5 GHz and 1.5 at 2 GHz, respectively. Resonance frequency was 2.9 GHz. Therefore Co-Pd-Al-O thin film could be used at over 1 GHz, and also expected as an inductor material for wide band CDMA type cellular phone.