

IBAD-MgO 기판상에 플라즈마를 이용한 LaMnO₃ 저온 증착

Low temperature deposition of LaMnO₃ on IBAD-MgO template assisted by plasma

김호섭^{1,*}, 오상수¹, 하동우¹, 하홍수¹, 고락길¹, 문승현²

H. S. Kim^{1,*}, S. S. Oh¹, D. W. Ha¹, H. S. Ha¹, R. K. Ko¹, S. H. Moon²

Abstract: LMO(LaMnO₃) buffer layer of superconducting coated conductor was deposited on IBAD-MgO template in the plasma atmosphere at 650 °C which is relatively low compared with conventional deposition temperature of more than 800 °C. Deposition method of LMO was DC sputtering, and target and deposition chamber were connected to the cathode and anode respectively. When DC voltage was applied between target and chamber, plasma was formed on the surface of target. The tape substrate was located with the distance of 10 cm between target and tape substrate. When anode bias was connected to the tape substrate, electrons were attracted from plasma in target surface to the tape substrate, and only tape substrate was heated by electron bombardment without heating any other zone. The effect of electron bombardment on the surface of substrate was investigated by increasing bias voltage to the substrate. We found out that the sample of electron bombardment had the effect of surface heating and had good texturing at low controlling temperature.

Key Words: superconducting coated conductor, buffer layer, LaMnO₃, plasma assisted. DC sputtering.

1. 서 론

초전도선재 제조 기술은 급속도로 발전되어 현재 장선의 고성능 선재가 제조되어 상용화 되고 있다. 그러나 초전도선재의 제조단가를 낮추기 위한 기술 및 초전도선재 성능을 높이기 위한 기술은 지속적으로 연구 개발되고 있다[1-5]. 제조과정 중 진공증착 단계에서 공정 온도가 높으면 내열부품이 요구되므로 증착시스템 제작비용이 상승하고, 시스템의 원활한 작동이 힘들어지며, 금속기판을 사용할 경우 고온에서 기계적 강도가 급격히 떨어져 손상되기 쉬운 문제점이 발생할 수 있다. 이런 문제점을 해결하기 위하여 박막 고유의 성장조건은 기판표면에서 유지하면서 동시에 증착시스템의 온도는 상대적으로 낮추는 방법이 필요하다.

본 연구에서는 플라즈마를 이용하여 이러한 요구조건을 만족시키는 초전도선재 완충층 증착 방법을 개발하였다. 기판이 Ar 플라즈마 속에 있을 때 양이온과 전자가 같은 flux 밀도를 가지고 입사되지만 기판에 양의 전압을 가하면 플라즈마 내의 전자가 기판을 향하여 가속하게 되고 기판에만 전기장이 가해지므로 전자들이 주위 시스템 구조물을 향하지 않고 오직 기판에만 모이게 된다. 전자들은 운동량이 작으므로 기판 표면의 손상 없이 에너지 전달만 하게 됨으로써 기판 표면의 가열효과를 가지게 된다. 이는 전체 시스템의 온도에는 거의 영향이 없이 오직 기판 표면만을 가열하는 효과가 있다. 음의 전압을 가하면 양이온이 기판을 향하여 가속하게 되고 전압이 커지면 운동량이 크기 때문에 표면상의 입자를 떼어내거나 이동시킬 수 있는 작용을 하게 된다. 본 연구에서는 Reel to Reel 시스템에 의하여 이동하는 금속기판에 양의 전압을 가하고 DC sputtering 건에서 자연 발생하는 플라즈마 속의 전자들을 기판을 향하여 가속시킴으로써 이런 전자빔의 입사가 초전도선재의 완충층인 LaMnO₃ 박막 성장에 미치는 영향에 대하여 조사하였다.

2. 본 론

2.1. 실험 장치.

LMO 박막을 증착하기 위한 증착시스템은 그림 1과 같다. 구성 구조물은 테이프형 기판을 이동시키기 위한 Reel to Reel 시스템이 있고, LMO 증착을 위한 LMO 타겟이 장착된 DC sputtering 건이 있다. 그리고 기판을 가열하기 위한 할로겐 램프형 히터가 있으며, 증착률을 측정하기 위한 QCM(Quartz Crystal Microbalance)이 장착되어 있다. 펌핑은 터보펌프로 10⁻⁶ Torr 까지 진공도를 낮출 수가 있으며, Ar 가스를 흘려주면서 수 mTorr를 유지할 수 있다. 양 릴은 전기적으로 절연되어 있고 양의 전압이 가해져 있으며 전압의 크기를 가변시킬 수 있다. 증착이 끝난 시료는 Bruker사의 GADDS diffractometer 를 이용하여 LMO 결정 배향성을 측정하였다.

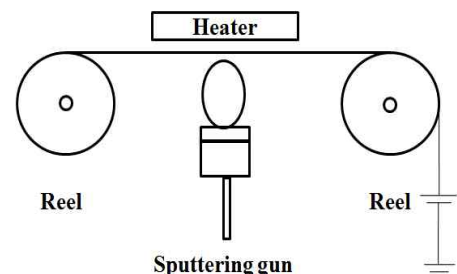


Fig. 1. Schematic diagram of LMO deposition system.

¹정 회 원 : 한국전기연구원 초전도연구센터 연구원

²정 회 원 : (주)서남 대표이사

*교신저자 : kimhosup@keri.re.kr

원고접수 : 2012년 01월 27일

심사완료 : 2012년 03월 07일

게재확정 : 2012년 03월 07일

3. 실험

3.1. 실험과정

폭 1 cm, 길이 10 cm IBAD-MgO 기판을 3개 준비하고 기판사이에 SUS dummy 테이프를 붙여서 기판 사이의 간격이 일정하게 한 다음 진공 챔버 내의 reel에 장착한다. 터보펌프를 이용하여 base pressure를 10^{-6} Torr 까지 낮춘 뒤 기판을 가열하기 위한 히터의 온도를 650°C 까지 올린다. 산소 흐름량 2.5 sccm, 아르곤 분압을 10 mTorr로 맞춘 다음 스퍼터링 건에 전압을 가하여 플라즈마를 발생시킨다. 증착률이 0.4 A/sec 될 때까지 스퍼터링 건 power를 조절한다. 모든 증착조건이 안정화되었을 때 첫 번째 기판을 증착 영역으로 빠르게 이동시킨다. 첫 번째 샘플은 기판 바이어스 전압을 가하지 않고 정지 상태에서 두께가 20 nm가 될 때까지 증착한다. 첫 번째 샘플이 끝나면 두 번째 샘플을 증착영역으로 이동시킨다. 똑 같은 증착 조건에서 바이어스 전압을 160 V, 전류를 1 A로 고정시키고 두께가 20 nm가 될 때까지 증착을 한다. 증착이 끝난 뒤 세 번째 샘플을 증착영역으로 이동시키고 바이어스 전압을 185 V, 전류를 1.5 A로 고정시키고 두께가 20 nm가 될 때까지 증착을 한다.

3.1. 실험결과

그림 2에서 볼 수 있듯이 기판에 가해 준 양의 전압을 증가시킴에 따라 LMO(111)에 대한 LMO(002)의 상대적인 intensity가 증가함을 볼 수 있다. 전압을 가해 주지 않았을 때는 LMO(111)의 peak만 존재하였다. 이 현상에 대한 원인을 전자에너지의 기판 전달 관점에서 살펴보면 다음과 같다. IBAD-MgO 기판상에 LMO 성장시 저온(700°C 이하)에서는 결정이 random한 방향성을 가지지만 기판 온도를 높여줄수록 결정배향성이 향상되고 LMO(001)성장이 우세하다고 보고되고 있다[6].

기판온도가 낮은 650°C 에는 LMO(002) peak가 전혀 나타나고 있지 않지만 전자들이 기판표면에 가속되어 전자들의 에너지가 기판표면에서 흡수될 때 기판의

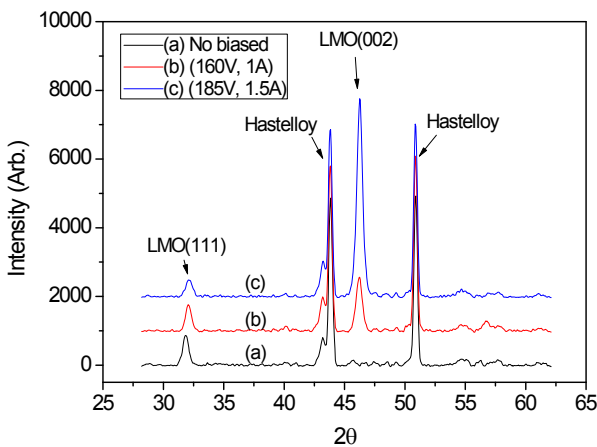


Fig. 2. XRD patterns of LMO films prepared at different substrate discharge conditions (voltage, current); (a) (0 V, 0 A), (b) (160 V, 1 A), (c) (185 V, 1.5 A).

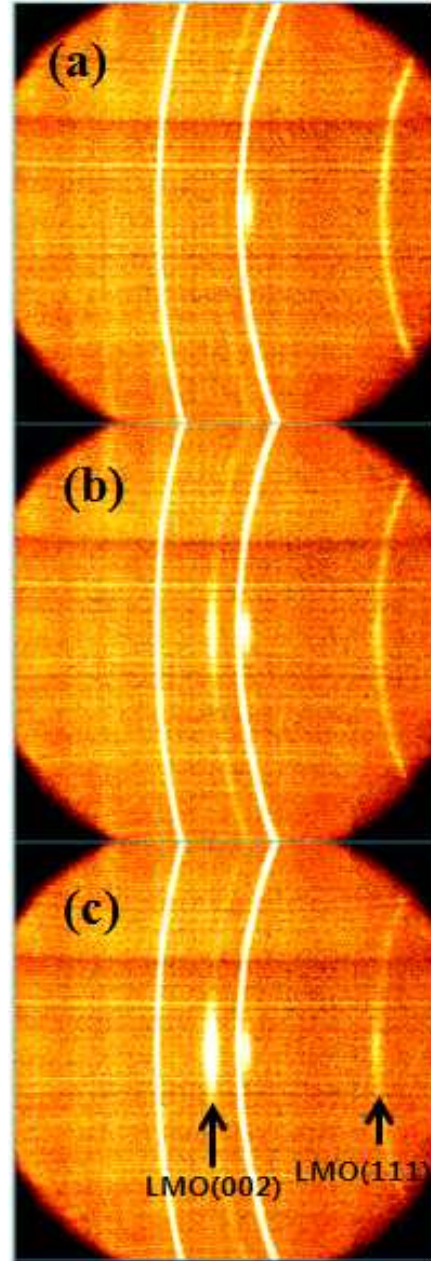


Fig. 3. 2D frames of LMO thin films prepared at different substrate discharge conditions (voltage, current); which measured by GADDS (a) (0 V, 0 A), (b) (160 V, 1 A), (c) (185 V, 1.5 A).

표면온도가 상승하게 되고 650°C 보다 높은 온도에서의 성장이 유도된다. 온도가 높을수록 LMO(002) peak이 우세하게 되므로 전자빔의 에너지가 높을수록 LMO(002) peak이 우세해 진다고 볼 수 있다.

그림 3에서도 같은 경향성을 볼 수 있다. 기판에 가속전압을 가하지 않았을 때는 그림 3(a)에서 볼 수 있듯이 LMO(002)의 peak가 전혀 나타나지 않았고 LMO(111)의 방향성이 랜덤함을 볼 수 있다. 그러나 기판에 가해진 전력이 높을수록 LMO(002)에 해당하는 peak의 intensity가 증가함을 볼 수 있다. 그리고 LMO(111)에 관하여서도 온도가 낮을 때는 랜덤한 방향성을 보이다가 전력이 높아질수록 수직 방향의 성장을 보임을 관찰할 수 있다.

4. 결 론

IBAD-MgO 기판상에 플라즈마를 이용하여 LMO 박막을 저온에서 성장시켰다. DC 스퍼터링 증착법을 이용하였으며 기판에 양의 전압을 가함으로써 타겟 표면에서 형성된 플라즈마에서 전자를 기판쪽으로 가속시켜 기판에 입사시켰다. 다른 증착조건은 동일하게 하고 가속전압을 0에서부터 증가시키면서 LMO 박막을 증착시켰다. 기판에 가해 준 전력이 증가시킴에 따라 LMO(111)에 대한 LMO(002)의 상대적인 intensity가 증가함을 볼 수 있다. 전압을 가해 주지 않았을 때는 LMO(111)의 peak만 존재하였다. 이는 전자들이 기판표면에 가속되어 전자들의 에너지가 기판표면에서 흡수될 때 기판의 표면온도가 상승하게 되고 650°C 보다 높은 온도에서의 성장이 유도된다. 온도가 높을수록 LMO(002) peak이 우세하게 되므로 전자빔의 에너지가 높을수록 LMO(002) peak이 우세해 진다고 볼 수 있다. 상기 실험 결과는 기판 제어 온도를 높이지 않고도 플라즈마를 이용하여 원하는 결정성장을 유도할 수 있는 단서를 제공한다는 점에서 아주 중요한 결과이다.

감사의 글

본 연구는 21세기프론티어 연구개발사업인 차세대초전도응용기술개발 사업단의 연구비 지원에 의해 수행 되었습니다

참 고 문 헌

- [1] S. Fleshler et al., "Scale-up of 2G wire manufacturing at American Superconductor Corporation", Physica C, vol. 469, pp. 1316-1321, 2009.
- [2] W. Zhang et al., "Progress in AMSC scale-up of second generation HTS wire", Physica C, vol. 463-465, pp. 505-509, 2007.
- [3] V. Selvamanickam et al., "Progress in second-generation HTS wire development and manufacturing", Physica C, vol. 468, pp. 1504-1509, 2008.
- [4] H. Fuji et al., "Long Gd-123 coated conductor by PLD method", Physica C, vol. 468, pp. 1510-1513, 2008.
- [5] Kimihiko Sudohr et al., "Effect of deposition conditions and solid solution on the Sm_{1+x}Ba_{2-x}Cu₃O_{6+d} thin films prepared by pulsed laser deposition", Physica C, vol. 384, pp. 178-184, 2003.
- [6] H.S. Kim et al., "Deposition of LaMnO₃ buffer layer on IBAD-MgO template by reactive DC sputtering", Physica C, vol. 469, pp. 1554-1558, 2009.

저 자 소 개



김호섭(金昊燮)

1972년 3월 4일생, 1995년 연세대 물리학과 졸업(이학학사), 1998년 한국과학기술원 물리학과 졸업(이학석사), 2003년 동 대학원 물리학과 졸업(이학박사), 현재 한국전기연구원 선임연구원



오상수(吳詳秀)

1959년 11월 1일생, 1982년 경북대 금속공학과 학사졸업, 1989년 일본 Kyoto대학 재료공학과 졸업(공학석사), 1992년 동 대학원 재료공학과 졸업(공학박사), 현재 한국전기연구원 책임연구원.



하동우(河東雨)

1962년 07월 12일생, 1985년 경북대학교 금속공학과 졸업(학사), 1987년 경북대학교 대학원 금속공학과 졸업(석사), 2001년 연세대학교 대학원 금속공학과 졸업(박사), 1987년~현재 한국전기연구원 책임연구원, 2004. 8.~2005. 7. 미국 NHMFL 방문연구원.



하홍수(河洪秀)

1969년 5월 21일생, 1995년 성균관대 공대 금속공학과 졸업, 2007년 동 대학원 신소재공학과 졸업(공학박사), 현재 한국전기연구원 선임연구원.



고락길(高樂吉)

1972년 5월 1일생, 1995년 배재대 물리학과 졸업, 1997년 동 대학원 졸업(이학석사), 현재 한국전기연구원 선임연구원.



문승현(文勝鉉)

1964년 9월 23일생, 1987년 서울대학교 물리학과 졸업, 1994년 동 대학원 졸업(이학박사), 현재 (주) 서남 대표이사.