



(19)대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(51) Int. Cl.

H01L 29/786 (2006.01)
G02F 1/1345 (2006.01)
G02F 1/1368 (2006.01)

(11) 공개번호 10-2006-0123765
(43) 공개일자 2006년12월04일

(21) 출원번호 10-2006-7017632

(22) 출원일자 2006년08월31일

심사청구일자 2006년08월31일

번역문 제출일자 2006년08월31일

(86) 국제출원번호 PCT/JP2005/003273

(87) 국제공개번호 WO 2005/088726

국제출원일자 2005년02월28일

국제공개일자 2005년09월22일

(30) 우선권주장 JP-P-2004-00071477 2004년03월12일 일본(JP)
JP-P-2004-00325938 2004년11월10일 일본(JP)

(71) 출원인 도꾸리쓰교세이호징 가가꾸 기쥬쓰 신키 기꼬
일본 사이따마켄 가와구찌시 혼쵸 4쵸메 1방 8고

(72) 발명자 호소노, 히데오
일본, 카나가와, 야마토시, 시모츠루마 2786, 4-212
히라노, 마사히로
일본, 도쿄, 세타가야구, 마즈바라 5쵸메, 5-6
오타, 히로미치
일본, 아이치, 나가야시, 텐과쿠구, 모토야고토 3쵸메, 드림코트, 룸 302
카미야, 토시오
일본, 카나가와, 카와사키시, 타카즈구, 미조노구치 2쵸메, 23-5모나크
미조노구치 III, 룸 207
노무라, 켄지
일본, 도쿄, 마치다시, 츠루마, 470-3, 힐스 마치다 니반칸, 룸203

(74) 대리인 홍성표

전체 청구항 수 : 총 21 항

(54) 아몰퍼스 산화물 및 박막 트랜지스터

(57) 요약

본 발명은 아몰퍼스 산화물 및 그것을 이용한 박막 트랜지스터에 관한 것이다. 구체적으로는 전자캐리어 농도가 $10^{18}/\text{cm}^3$ 미만인 아몰퍼스 산화물 및 그것을 이용한 박막 트랜지스터를 제공하는 것이다. 소스 전극(6), 드레인 전극(5), 게이트 전극(4), 게이트 절연막(3) 및 채널층(2)을 가지는 박막 트랜지스터에서 상기 채널층(2)으로 전자캐리어 농도가 $10^{18}/\text{cm}^3$ 미만인 아몰퍼스 산화물을 이용한다.

대표도

도 1

특허청구의 범위

청구항 1.

전자캐리어 농도가 $10^{18}/\text{cm}^3$ 미만인 것을 특징으로 하는 아몰퍼스 산화물.

청구항 2.

전자캐리어 농도가 $10^{17}/\text{cm}^3$ 이하인 것을 특징으로 하는 아몰퍼스 산화물.

청구항 3.

전자캐리어 농도가 $10^{16}/\text{cm}^3$ 이하인 것을 특징으로 하는 아몰퍼스 산화물.

청구항 4.

전자캐리어 농도가 증가함과 동시에 전자이동도가 증가하는 것을 특징으로 하는 아몰퍼스 산화물.

청구항 5.

전자이동도가 $0.1\text{cm}^2/(\text{V} \cdot \text{초})$ 초과인 것을 특징으로 하는 청구항 1 내지 4중 어느 한 항에 기재된 아몰퍼스 산화물.

청구항 6.

축퇴전도를 나타내는 청구항 1 내지 5중 어느 한 항에 기재된 아몰스 산화물.

청구항 7.

청구항 1 내지 6중 어느 한 항에 있어서, 상기 아몰퍼스 산화물이 Zn, In, 및 Sn 중 적어도 1종류의 원소를 구성성분으로 하여 $[(\text{Sn}_{1-x}\text{M4}_x)\text{O}_2]_a \cdot [(\text{In}_{1-y}\text{M3}_y)_2\text{O}_3]_b \cdot [(\text{Zn}_{1-x}\text{M2}_x\text{O})]_c$ ($0 \leq x \leq 1, 0 \leq y \leq 1, 0 \leq z \leq 1$, 한편 x, y, z는 동시에 1이 아니고, $0 \leq a \leq 1, 0 \leq b \leq 1, 0 \leq c \leq 1, a + b + c = 1$, M4는 Sn보다 원자번호가 작은 IV족 원소, M3은 In보다 원자번호가 작은 III족 원소 또는 Lu, M2는 Zn보다 원자번호가 작은 II족 원소)로 나타나는 화합물인 아몰퍼스 산화물.

청구항 8.

청구항 7에 있어서, 상기 아몰퍼스 산화물이 V족 원소 M5 또는 W중 적어도 1종류의 원소를 포함하는 아몰퍼스 산화물.

청구항 9.

청구항 7에 있어서, 상기 아몰퍼스 산화물이 결정상태에서의 조성이 $(\text{InM3})_2\text{O}_3(\text{Zn}_{1-x}\text{M2}_x\text{O})_m$ ($0 \leq x \leq 1$, m 은 0 또는 6 미만의 자연수, M3은 In보다 원자번호가 작은 III족 원소 또는 Lu, M2는 Zn보다 원자번호가 작은 II족 원소)로 표시되는 화합물 단체 또는 m 의 값이 다른 화합물의 혼합체인 아몰퍼스 산화물.

청구항 10.

청구항 9에 있어서, M3가 Ga인 아몰퍼스 산화물.

청구항 11.

청구항 9 또는 10에 있어서, M2가 Mg인 아몰퍼스 산화물.

청구항 12.

글라스 기판, 금속 기판, 플라스틱 기판 또는 플라스틱 필름 위에 설치된 청구항 1 내지 11의 어느 한 항에 기재된 아몰퍼스 산화물.

청구항 13.

청구항 1 내지 12의 어느 한 항에 기재된 아몰퍼스 산화물을 채널층으로 이용한 전계효과형 트랜지스터.

청구항 14.

Al_2O_3 , Y_2O_3 , 또는 HfO_2 의 1종 또는 그들 화합물을 적어도 2종 포함하는 혼정 화합물을 게이트 절연층으로 하는 청구항 13 기재의 전계효과형 트랜지스터.

청구항 15.

소스 전극, 드레인 전극, 게이트 전극, 게이트 절연막 및 채널층을 가지는 박막 트랜지스터로서, 상기 채널층에 전자캐리어 농도가 $10^{16}/\text{cm}^3$ 미만인 아몰퍼스 산화물이 이용되고 있는 것을 특징으로 하는 박막 트랜지스터.

청구항 16.

청구항 15에 있어서, 상기 아몰퍼스 산화물의 전자캐리어 농도가 $10^{17}/\text{cm}^3$ 이하인 것을 특징으로 하는 박막 트랜지스터.

청구항 17.

청구항 15에 있어서, 상기 아몰퍼스 산화물의 전자캐리어 농도가 $10^{16}/\text{cm}^3$ 이하인 것을 특징으로 하는 박막 트랜지스터.

청구항 18.

청구항 15 내지 17중 어느 한 항에 있어서, 상기 아몰퍼스 산화물이 In, Ga, Zn을 포함하는 산화물로서 원자수 비가 In:Ga:Zn=1:1:m($m < 6$)인 것을 특징으로 하는 박막 트랜지스터.

청구항 19.

청구항 15 내지 17중 어느 한 항에 있어서, 상기 아몰퍼스 산화물이 In, Ga, Zn 및 Mg을 포함하는 산화물로서, 원자수 비가 In: Ga: Zn_{1-x}Mg_x=1:1:m($m < 6$), $0 < x \leq 1$ 인 것을 특징으로 하는 박막 트랜지스터.

청구항 20.

청구항 15 내지 17의 어느 한 항에 있어서, 상기 아몰퍼스 산화물이 In_xGa_{1-x} 산화물($0 \leq x \leq 1$), In_xZn_{1-x} 산화물($0.2 \leq x \leq 1$), In_xSn_{1-x} 산화물($0.8 \leq x \leq 1$), 또는 In_x(Zn, Sn)_{1-x} 산화물($0.15 \leq x \leq 1$)인 것을 특징으로 하는 박막 트랜지스터.

청구항 21.

청구항 15 내지 17의 어느 한 항에 있어서, 상기 아몰퍼스 산화물은 전자캐리어 농도가 증가함과 동시에 전하이동도가 증가하는 것을 특징으로 하는 박막 트랜지스터.

명세서**기술분야**

본 발명은 아몰퍼스 산화물 및 박막 트랜지스터에 관한 것이다.

배경기술

박막 트랜지스터(Thin Film Transistor, TFT)는 게이트(gate) 단자, 소스(source) 단자 및 드레인(drain) 단자를 구비한 3 단자 소자로서, 기판상에 성막(成膜)한 반도체 박막을 전자 또는 홀(hole)이 이동하는 채널(channel) 층으로 이용하고, 게이트 단자에 전압을 인가하여 채널 층에 흐르는 전류를 제어하여 소스 단자와 드레인 단자 간의 전류를 스위칭하는 기능을 가지는 액티브 소자이다. TFT로서 현재 가장 널리 사용되고 있는 것은 다결정 실리콘 막 또는 아몰퍼스 실리콘 막을 채널 층 재료로 한 Metal-Insulator-Semiconductor Field Effect Transistor(MIS-FET) 소자이다.

또한, 최근에는 ZnO를 이용한 투명 전도성 산화물 다결정 박막을 채널층으로 이용한 TFT의 개발이 활발하게 이루어지고 있다(특허문헌 1). 상기 박막은 저온에서 성막 가능함과 동시에 가시광으로 투명하기 때문에 플라스틱판이나 필름 등의 기판상에 플렉시블(flexible)한 투명 TFT를 형성하는 것이 가능하다.

그러나, 종래의 ZnO는 실온에서 안정된 아몰퍼스상을 형성할 수 없고, 대부분의 ZnO는 다결정상을 나타내고 있기 때문에 다결정 입자 계면의 산란에 의해 전하이동도를 크게 할 수가 없다. 더욱이 ZnO는 산소결함이 일어나기 쉽고, 캐리어 전자가 다수 발생하여 전기전도도를 작게 하는 것이 어렵다. 이 때문에 트랜지스터의 온·오프(ON·OFF) 비를 크게 하기도 어렵다.

또한, 특허문헌 2에는 아몰퍼스 산화물로서 Zn_xM_yIn_zO_(x+3y/2+3z/2)(식 중에서, M은 Al 및 Ga 중 적어도 하나의 원소이고, 비율 x/y가 0.2~12의 범위이며 비율 z/y가 0.4~1.4의 범위에 있다.)로 나타나는 비정질 산화물이 기재되어 있다. 그러나 여기에서 얻어지는 비정질 산화물 막의 전자 캐리어 농도는 10¹⁸/cm³ 이상으로, 단순한 투명전극으로 이용하기에는 충

분하지만 TFT의 채널층에는 적용하기 어려운 것이었다. 왜냐하면 상기의 비정질 산화물막을 채널층으로 한 TFT에서는 온·오프 비가 충분히 얻어지지 못하고 노말리 오프형(normally off type)의 TFT에는 적합하지 않음이 판명되었기 때문이다.

특허문헌 1 : 특개 2003-298062호 공보

특허문헌 2 : 특개 2000-044236호 공보

발명의 상세한 설명

(발명의 개시)

그래서 본 발명은 전자 캐리어 농도가 낮은 아몰퍼스 산화물을 제공하고, 더욱이 그 아몰퍼스 산화물을 채널층으로 이용한 박막 트랜지스터를 제공하는 것을 목적으로 한다.

본 발명은 (1) 전자 캐리어 농도가 $10^{18}/\text{cm}^3$ 미만인 것을 특징으로 하는 아몰퍼스 산화물이다. 또한, 본 발명은 전자 캐리어 농도가 $10^{17}/\text{cm}^3$ 이하, 또는 $10^{16}/\text{cm}^3$ 이하의 아몰퍼스 산화물인 것이 바람직하다.

또한, 본 발명은 (2) 전자 캐리어 농도가 증가함과 동시에 전자이동도가 증가하는 것을 특징으로 하는 아몰퍼스 산화물이다.

또한, 본 발명은 (3) 전자이동도가 $0.1\text{cm}^2/(\text{V} \cdot \text{초})$ 가 넘는 것을 특징으로 하는 상기 (1) 또는 (2) 기재의 아몰퍼스 산화물이다.

또한, 본 발명은 (4) 축퇴전도(縮退傳導)를 나타내는 상기 (2) 또는 (3) 중의 어느 하나에 기재된 아몰퍼스 산화물이다. 여기서 축퇴전도라 함은 전기저항의 온도의존성에서의 열 활성화 에너지가 30meV 이하인 상태를 말한다.

또한, 또 다른 본 발명은 (5) Zn, In 및 Sn 중 적어도 1종류의 원소를 구성성분으로 하여, $[(\text{Sn}_{1-x}\text{M}_4)_2\text{O}_2]_a \cdot [(\text{In}_{1-y}\text{M}_3)_2\text{O}_3]_b \cdot [(\text{Zn}_{1-x}\text{M}_2)_2\text{O}]_c$ [$0 \leq x \leq 1, 0 \leq y \leq 1, 0 \leq z \leq 1$, 한편 x, y, z는 동시에 1이 아닌 $0 \leq a \leq 1, 0 \leq b \leq 1, 0 \leq c \leq 1$, $a + b + c = 1$, M4는 Sn보다 원자번호가 작은 IV족(4족)원소(Si, Ge, Zr), M3은 In보다 원자번호가 작은 III족(3족)원소(B, Al, Ga, Y) 또는 Lu, M2는 Zn보다 원자번호가 작은 II족(2족)원소(Mg, Ca)]로 나타나는 상기 (1)부터 (4) 중의 어느 하나에 기재된 아몰퍼스 산화물이다.

또한, 본 발명은 더욱 상기 (5)의 발명에 V족(5족)원소 M5(V, Nb, Ta) 또는 W 중 적어도 1종류의 원소를 포함해도 된다.

또한, 다른 본 발명은 (6) 결정상태에서의 조성이 $(\text{InM}_3)_2\text{O}_3(\text{Zn}_{1-x}\text{M}_2)_m$ [$0 \leq x \leq 1$, m은 0 또는 6 미만의 수 또는 자연수, M3은 In보다 원자번호가 작은 III족(3족)원소(B, Al, Ga, Y) 또는 Lu, M2는 Zn보다 원자번호가 작은 II족(2족)원소(Mg, Ca)]인 화합물 단체 또는 m값이 다른 화합물의 혼합체인 상기 (1)부터 (4)의 어느 하나에 기재된 아몰퍼스 산화물을 이용한 박막 트랜지스터이다. M3로서는 예를 들면, Ga이고, M2로서는 예를 들면 Mg이다.

또한, 본 발명은 글라스(glas)기판, 금속 기판, 플라스틱 기판 또는 플라스틱 필름상에 설치된 (1)부터 (6)의 어느 하나에 기재된 아몰퍼스 산화물이다. 또한 본 발명은 상기 아몰퍼스 산화물을 채널층으로 이용한 전계 효과형 트랜지스터이다. 또한, 본 발명에 관한 상기의 전계 효과형 트랜지스터는 Al_2O_3 , Y_2O_3 또는 HfO_2 의 1종, 또는 그들 화합물을 적어도 2종 함유하는 혼정 화합물을 게이트 절연층으로 하는 것을 특징으로 한다.

또 다른 본 발명은, (7) In-Ga-Zn-O로 구성되어 결정상태에서의 조성이 $\text{InGaO}_3(\text{ZnO})_m$ (m은 6 미만의 자연수)로 표시되어 전자이동도가 $1\text{cm}^2/(\text{V} \cdot \text{초})$ 를 초과함과 동시에 전자캐리어 농도가 $10^{18}/\text{cm}^3$ 미만인 것을 특징으로 하는 투명 반절연성 아몰퍼스 산화물 박막이다.

또 다른 본 발명은, (8) In-Ga-Zn-Mg-O로 구성되어 결정상태에서의 조성이 $\text{InGaO}_3(\text{Zn}_{1-x}\text{Mg}_x\text{O})_m$ (m은 6 미만의 자연수, $0 < x \leq 1$ 로 표시되어 전자이동도가 $1\text{cm}^2/(\text{V} \cdot \text{초})$ 를 초과함과 동시에 전자캐리어 농도가 $10^{18}/\text{cm}^3$ 미만인 것을 특징으로

하는 투명 반절연성 아몰퍼스 산화물 박막이다. 더욱 또한 본 발명은 전기저항을 높이기 위해 불순물 이온을 의도적으로 첨가하지 않고 산소가스를 함유하는 분위기 중에서 성장하는 것을 특징으로 하는 상술한 투명 반절연성 아몰퍼스 산화물 박막의 제조방법이다.

더욱이 또 다른 본 발명에 관한 박막 트랜지스터는 소스 전극, 드레인 전극, 게이트 전극, 게이트 절연막 및 채널층을 구비하여, 상기의 채널층에 전자캐리어 농도가 $10^{18}/\text{cm}^3$ 미만인 아몰퍼스 산화물이 이용되고 있는 것을 특징으로 한다. 상기 아몰퍼스 산화물의 전자캐리어 농도가 $10^{17}/\text{cm}^3$ 이하 또는 $10^{16}/\text{cm}^3$ 이하인 것이 바람직하다. 여기서 상기 아몰퍼스 산화물은 In, Ga, Zn을 함유하는 산화물로 원자수 비가 In:Ga:Zn = 1:1:m($m < 6$)이다. 또는 상기 아몰퍼스 산화물은 In, Ga, Zn 및 Mg를 함유하는 산화물로, 원자수비가 In:Ga:Zn_{1-x}Mg_x = 1:1:m($m < 6$), $0 < x \leq 1$ 이다.

또한, 상기 아몰퍼스 산화물이 In_xGa_{1-x}산화물($0 \leq x \leq 1$), In_xZn_{1-x}산화물($0.2 \leq x \leq 1$), In_xSn_{1-x}산화물($0.8 \leq x \leq 1$), 또는 In_x(Zn, Sn)_{1-x}산화물($0.15 \leq x \leq 1$)에서 선택되는 아몰퍼스 산화물이다.

또한, 박막 트랜지스터에 관한 본 발명에는 상기 아몰퍼스 산화물로서 전자캐리어 농도가 증가함과 동시에, 전자이동도가 증가하는 재료를 이용할 수 있다.

본 발명에 의하면 전자캐리어 농도가 낮은 아몰퍼스 산화물이 제공가능함과 동시에 그것을 채널층으로 이용한 박막 트랜지스터 제작이 가능하게 된다.

(발명의 실시를 위한 최선의 형태)

본 발명에 관한 아몰퍼스 산화물은 전자캐리어 농도가 $10^{18}/\text{cm}^3$ 미만인 것을 특징으로 한다. 또한, 본 발명에 관한 박막 트랜지스터(TFT)는, 그 채널층에 전자 캐리어 농도가 $10^{18}/\text{cm}^3$ 미만인 아몰퍼스 산화물을 이용하는 것을 특징으로 한다.

TFT는 예를 들면 도 5에 나타낸 바와 같이 기관(1) 상에 채널층(2)을 설치하여 그 채널층(2) 위에 게이트 절연막(3), 게이트 전극(4), 소스 전극(6), 드레인 전극(5)을 설치하는 것에 의해 구성된다. 본 발명에서는 이 채널층으로 전자캐리어 농도가 $10^{18}/\text{cm}^3$ 미만인 아몰퍼스 산화물을 이용한다.

본 발명에 적용 가능한 TFT구성은, 도 5에 나타낸 바와 같이 반도체 채널층 위에 게이트 절연막과 게이트 단자(전극)를 순서대로 형성하는 스테거형(탑(top) 게이트형)구조에 국한되지 않고 예를 들면, 게이트 단자 위에 게이트 절연막과 반도체 채널층을 순서대로 구비하는 역스태거형(inverse staggered type, 바텀(bottom) 게이트형) 구조라도 된다. 상술한 전자캐리어 농도는 실온에서 측정하는 경우의 값이다. 실온이라 함은, 예를 들면 25°C로 구체적으로는 0°C부터 40°C정도의 범위에서 적당히 선택되는 어느 온도이다.

또한, 본 발명에 관한 아몰퍼스 산화물의 전자 캐리어 농도는, 0°C부터 40°C의 범위 전체에서 $10^{18}/\text{cm}^3$ 미만을 충족할 필요는 없다. 예를 들면, 25°C에서 캐리어 전자밀도 $10^{18}/\text{cm}^3$ 미만이 실현되면 된다. 또한, 전자캐리어 농도를 더욱 낮추어 $10^{17}/\text{cm}^3$ 이하, 보다 바람직하게는 $10^{16}/\text{cm}^3$ 이하로 하면 노말리 오프(Normally off) TFT를 적당한 비율로 얻을 수 있다. 전자 캐리어 농도의 측정은 홀(hole) 효과 측정에 의해 구할 수 있다.

또한, 본 발명에 있어서 아몰퍼스 산화물이라 함은 X선 회절 스펙트럼(spectrum)에서, 헤일로(halo) 패턴이 관측되고 특정의 회절선을 나타내지 않는 산화물을 말한다. 본 발명의 아몰퍼스 산화물에서의 전자캐리어 농도의 하한값은 TFT 채널층으로 적용가능하면 특별히 한정되는 것은 아니다. 하한값은 예를 들면 $10^{12}/\text{cm}^3$ 이다.

따라서, 본 발명에서는 후술하는 각 실시예와 같이 아몰퍼스 산화물의 재료, 조성비, 제조조건 등을 제어하고 예를 들면 전자캐리어 농도를 $10^{12}/\text{cm}^3$ 이상 $10^{18}/\text{cm}^3$ 미만으로 한다. 보다 바람직하게는 $10^{13}/\text{cm}^3$ 이상 $10^{17}/\text{cm}^3$ 이하, 더욱이는 $10^{15}/\text{cm}^3$ 이상 $10^{16}/\text{cm}^3$ 이하의 범위로 하는 것이 바람직하다.

또한, 전자이동도로서는 실온에서 측정하는 경우에 $0.1\text{cm}^2/(\text{V} \cdot \text{초})$ 이상, 바람직하게는 $1\text{cm}^2/(\text{V} \cdot \text{초})$, 보다 더 바람직하게는 $5\text{cm}^2/(\text{V} \cdot \text{초})$ 이상이 되도록 하는 것이 바람직하다. 또한, 상기 아몰퍼스 산화물은, 전자캐리어 농도가 증가함과 동시에 전자이동도가 증가한다. 또한, 그 전도성이 축퇴전도를 나타내는 경향이 있다. 축퇴전도라 함은 전기저항의 온도 의존성에서의 열 활성화 에너지가 30meV 이하인 상태를 말한다.

(아몰퍼스 산화물의 재료)

본 발명에 관한 아몰퍼스 산화물로서는 Zn, In 및 Sn 중 적어도 1종류의 원소를 구성성분으로 하여 $[(\text{Sn}_{1-x}\text{M4}_x)\text{O}_2]_a \cdot [(\text{In}_{1-y}\text{M3}_y)_2\text{O}_3]_b \cdot [(\text{Zn}_{1-x}\text{M2}_x)\text{O}]_c$ [$0 \leq x \leq 1, 0 \leq y \leq 1, 0 \leq z \leq 1$, 한편 x, y, z 는 동시에 1이 아닌 $0 \leq a \leq 1, 0 \leq b \leq 1, 0 \leq c \leq 1$, 한편 $a + b + c = 1$, M4는 Sn보다 원자번호가 작은 4족원소(Si, Ge, Zr), M3은 In보다 원자번호가 작은 3족원소(B, Al, Ga, Y) 또는 Lu, M2는 Zn보다 원자번호가 작은 2족원소(Mg, Ca)]로 나타나는 재료이다. 이 아몰퍼스 산화물에 5족원소 M5(V, Nb, Ta) 또는 W중 적어도 1종류의 원소를 첨가할 수도 있다. 또한, 본 명세서에는 주기율표의 II족, III족, IV족, V족 원소를 각각 2족, 3족, 4족, 5족 원소로 기재하고 있는 경우가 있지만 동일한 의미이다.

상기의 아몰퍼스막에 Zn보다 원자번호가 작은 2족원소 M2(M2는 Mg, Ca), In보다 원자번호가 작은 3족원소 M3(M3는 B, Al, Ga, Y) 및 Lu, Sn보다 원자번호가 작은 4족원소 M4(M4는 Si, Ge, Zr), 5족원소 M5(M5는 V, Nb, Ta) 또는 W중, 적어도 1종류의 복합산화물을 구성하는 원소를 첨가하는 것에 의해, 보다 전자캐리어 농도를 감소시킬 수 있다.

각각 Zn, In, Sn 보다 원자번호가 작은 M2, M3, M4원소는 Zn, In, Sn보다 이온성이 강하여 그로 인해 산소결합의 발생이 적어 전자캐리어 농도를 저감할 수 있다. 또한 Lu는 원자번호는 Ga보다 크지만 이온반경이 작고 이온성이 강하여 M3와 동일한 기능을 달성한다. M5는 플러스 5가(價)로 이온화하기 때문에 산소와의 결합이 강하여 산소결합을 일으키기 어렵다. W는 6가(價)로 이온화하기 때문에 산소와의 결합이 강하여 산소결합을 일으키기 어렵다.

또한, 본 발명에서 적용가능한 아몰퍼스 산화물로는 결정상태에서의 조성이 $(\text{InM3})_2\text{O}_3(\text{Zn}_{1-x}\text{M2}_x\text{O})_m$ [$0 \leq x \leq 1, m$ 은 0 또는 6 미만의 수 또는 자연수, M3은 In보다 원자번호가 작은 3족원소(B, Al, Ga, Y) 또는 Lu, M2는 Zn보다 원자번호가 작은 2족원소(Mg, Ca)]로 표시되는 화합물 단체 또는 m 값이 다른 화합물의 혼합체이다. 여기서 M3는 예를 들면 Ga이고, M2는 예를 들면 Mg이다.

이와 같이 본 발명에서 적용가능한 아몰퍼스 산화물로는 $\text{SnO}_2, \text{In}_2\text{O}_3$ 및 ZnO를 정점으로 하는 3각형의 내부에 위치하는 1원계, 2원계, 또는 3원계 조성의 화합물이다. 상기 3종류의 화합물 중 In_2O_3 는 아몰퍼스형 성능이 커서 기상법의 성막 중의 분위기에서 수분을 0.1Pa 정도 첨가하는 등의 수단에 의해 성막한 상태로 완전 비정질상을 형성할 수 있다.

한편, ZnO 및 SnO_2 는, 단독으로 아몰퍼스상을 형성할 수 없는 경우가 있으나 In_2O_3 를 호스트(host) 산화물로 하는 것에 의해 비정질상을 형성할 수 있다. 구체적으로는, 상기 3종의 화합물 중 2개를 포함하는 2원계 조성(상기 3각형 부근에 위치하는 조성) 중, In-Zn-O계에서는 In이 약 20원자% 이상 함유되는 조성, Sn-In-O계의 경우에는 In이 약 80원자% 이상 함유되는 조성으로 아몰퍼스막을 제작할 수 있다.

In-Zn-O계 아몰퍼스막을 기상법으로 얻기 위해서는 예를 들면, 분위기 중에 수증기를 0.1Pa 정도, 또는 In-Sn-O계 아몰퍼스막을 얻기 위해서는 분위기 중에 질소가스를 0.1Pa 정도 도입하면 된다. 상기 화합물 중 3개를 포함하는 3원계 조성인 Sn-In-Zn계에서는, In이 약 15원자% 이상인 조성범위로 기상법에 의해 아몰퍼스막을 얻을 수가 있다. 또한, 여기서 원자%는 산소이온을 제외한 금속이온만에 대한 원자%를 나타내고 있다. 즉, 예를 들면, 「In-Zn-O계에서의 In이 약 20원자% 이상」이라는 것은 $\text{In}_x\text{Zn}_{1-x}$ ($x > 0.2$)이다.

또한, Sn, In, Zn을 함유하는 아몰퍼스 산화물막의 조성에 있어서 하기와 같이 각각의 원소를 첨가할 수도 있다. 구체적으로는 Zn보다 원자번호가 작은 2족원소 M2(M2는 Mg, Ca), In보다 원자번호가 작은 3족원소 M3(M3는 B, Al, Ga, Y) 및 Lu 및 Sn보다 원자번호가 작은 4족원소 M4(M4는 Si, Ge, Zr)중, 적어도 1종류의 복합산화물을 구성하는 원소를 첨가할 수 있다. 더욱이, 본 발명의 아몰퍼스 산화물막은, 상기 조성에 5족원소 M5(M5는 V, Nb, Ta) 또는 W중, 적어도 1종류의 복합산화물을 구성하는 원소를 첨가할 수 있다.

상기 원소를 첨가하는 것에 의해 실온에서의 아몰퍼스막을 보다 안정화시킬 수 있고 더욱이 아몰퍼스막이 얻어지는 조성 범위를 넓힐 수 있다. 특히, 공유결합성이 강한 B, Si, Ge의 첨가는 아몰퍼스상 안정화에 유효하고, 이온반경의 차가 큰 이

온으로 구성되는 복합산화물은 아몰퍼스상이 안정화된다. 예를 들면, In-Zn-O계에서는, In이 약 20원자%를 초과하는 조성범위가 아니면 실온에서 안정된 아몰퍼스막은 얻기 어렵지만 Mg를 In과 당량(當量)(equivalent) 첨가하는 것에 의해 In이 약 15원자%를 초과하는 조성범위에서 안정된 아몰퍼스막을 얻을 수 있다.

이어서, 본 발명에 관한 박막 트랜지스터의 채널층에 적용가능한 아몰퍼스 산화물 재료의 예에 대하여 설명한다. 채널층에 이용되는 아몰퍼스 산화물로서는 예를 들면, In, Ga, Zn을 포함함과 동시에 원자수 비에서 In:Ga:Zn=1:1:m 을 만족시키는 산화물이다. 여기에서 m은 6 미만의 수이다. 또한, m값은, 자연수이어도 좋지만, 반드시 자연수이어야 할 필요는 없다. 역시 본 명세서의 다른 부분에서의 m도 동일하다. 또한, 원자수 비는 몰(mol)비로 생각해도 된다.

결정상태에서의 조성이 $\text{InGaO}_3(\text{ZnO})_m$ (m은 6 미만의 수)로 표시되는 투명 아몰퍼스 산화물 박막은 m의 값이 6 미만인 경우는 800°C 이상의 고온까지 아몰퍼스 상태가 안정하게 유지되지만, m의 값이 커짐에 따라 즉, InGaO_3 에 대한 ZnO의 비가 증대되어 ZnO 조성에 가까워짐에 따라 결정화하기 쉽게 된다. 따라서, 아몰퍼스 TFT의 채널층으로서 m의 값이 6 미만인 것이 바람직하다. 스퍼터링(Sputtering)법이나 펄스레이저 증착법에 의해 성막을 실시할 때의 타겟 재료(예를 들면 다결정체)의 조성비를, 상기 $m < 6$ 을 만족시키도록 하면 원하는 아몰퍼스 산화물을 얻을 수 있다.

또한, 상기 아몰퍼스 산화물로는 상기 InGaZn의 구성비에서 Zn을 $\text{Zn}_{1-x}\text{Mg}_x$ 로 치환할 수도 있다. Mg의 치환량은 $0 < x \leq 1$ 의 범위에서 가능하다. 또한, Mg로 치환하면 산화물막의 전자이동도는 Mg무첨가막에 비해 저하하지만 그 정도는 작아, 한편으로는 더욱 전자캐리어 농도를 치환하지 않는 경우에 비해 낮출 수 있으므로 TFT의 채널층으로서는 보다 더 바람직하다. Mg의 치환량은 바람직하게는 20% 초과, 85% 미만(x 로는 $0.2 < x < 0.85$), 보다 바람직하게는 $0.5 < x < 0.85$ 이다.

더욱이 또한 상기 아몰퍼스 산화물로는 In산화물, $\text{In}_x\text{Zn}_{1-x}$ 산화물($0.2 \leq x \leq 1$), $\text{In}_x\text{Sn}_{1-x}$ 산화물($0.8 \leq x \leq 1$), 또는 $\text{In}_x(\text{Zn}, \text{Sn})_{1-x}$ 산화물($0.15 \leq x \leq 1$)에서 적당히 선택할 수도 있다. 또한 $\text{In}_x(\text{Zn}, \text{Sn})_{1-x}$ 산화물에서 Zn과 Sn의 조성비는 적당히 선택할 수 있다. 즉, $\text{In}_x(\text{Zn}, \text{Sn})_{1-x}$ 산화물은 $\text{In}_x(\text{Zn}_y\text{Sn}_{1-y})_{1-x}$ 산화물로 기재할 수 있고, y의 범위는 1부터 0이다. 또한, Zn과 Sn을 포함하지 않는 In산화물의 경우에는 In의 일부를 Ga로 치환할 수도 있다. 즉, $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}$ 산화물($0 \leq x \leq 1$)의 경우이다.

(아몰퍼스 산화물의 제조방법)

본 발명에서 이용하는 아몰퍼스 산화물은, 이하의 각 실시예에 나타내는 조건하에서 기상 성막법을 이용하여 형성할 수 있다. 예를 들면, InGaZn 아몰퍼스 산화물을 얻는 데는 $\text{InGaO}_3(\text{ZnO})_m$ 조성을 이루는 다결정 소결체를 타겟으로 하여 스퍼터링(SP법), 펄스레이저 증착법(PLD법) 및 전자 빔(beam) 증착법 등의 기상법에 의해 성막을 실시한다. 또한, 양산성의 관점에서는 스퍼터링법이 가장 적합하다.

또한, In_2O_3 , In-Zn-O계 아몰퍼스 산화물막 등에서 성막 시의 분위기에 산소 라디칼을 가해도 되고, 이 산소 라디칼의 첨가는 산소 라디칼 발생장치를 이용하면 된다. 또한, 성막 후에 전자캐리어 농도를 증가시킬 필요가 있는 경우에는 그 막을 환원분위기 중에서 열처리하는 것에 의해 전자캐리어 농도를 증가시킬 수 있다. 이리하여 얻어진 전자캐리어 농도가 다른 아몰퍼스 산화물막에 대하여 전자이동도의 전자캐리어 농도의존성을 조사하면, 전자이동도는 전자캐리어 농도가 증가함과 동시에 증가하고 있다.

(기판)

본 발명에 관한 박막 트랜지스터를 형성할 때의 기판으로는, 글라스 기판, 플라스틱 기판, 플라스틱 필름 등을 이용할 수 있다. 또한, 후술의 실시예에서 설명하는 바와 같이 본 발명에 관한 아몰퍼스 산화물은 실온에서 성막할 수 있으므로 PET 필름을 비롯한 플렉시블 소재 위에 박막 트랜지스터를 설치할 수 있다. 또한, 상술한 아몰퍼스 산화물을 적당히 선택하여 파장 400nm이상의 가시광이나 적외광에 대해 투명한 재료를 이용하여 TFT를 제작할 수도 있다.

(게이트 절연막)

본 발명에 관한 박막 트랜지스터에서의 게이트 절연막으로는 Al_2O_3 , Y_2O_3 , HfO_2 또는 그들 화합물을 적어도 2개 이상 포함하는 혼정화합물을 게이트 절연막으로 하는 것이 바람직하다. 게이트 절연막과 채널층 박막과의 계면에 결합이 존재하면 전자이동도의 저하 및 트랜지스터 특성에 히스테리시스(hysteresis)가 생긴다. 또한, 게이트 절연막의 종류에 따라 리크(leak) 전류가 크게 다르다. 이 때문에 채널층에 적합한 게이트 절연막을 선정할 필요가 있다.

Al_2O_3 막을 이용하면 리크전류를 저감할 수 있다. 또한, Y_2O_3 막을 이용하면 히스테리시스를 작게 할 수 있다. 더욱이, 고유전율(高透電率)의 HfO_2 막을 이용하면 전계효과 이동도를 크게 할 수 있다. 또한, 이들 화합물의 혼정으로 된 막을 이용하여 리크전류, 히스테리시스가 작고 전계효과 이동도가 큰 TFT를 형성할 수 있다. 또한, 게이트 절연막 형성 프로세스 및 채널층 형성 프로세스는 실온에서 실시가능하므로 TFT구조로서, 스테거 구조 및 역스테거 구조 모두 다 형성할 수 있다.

(트랜지스터)

전자 캐리어 농도가 $10^{18}/\text{cm}^3$ 미만인 아몰퍼스 산화물을 채널층으로 이용하여 소스 단자, 드레인 단자 및 게이트 절연막을 통해 게이트 단자를 배치한 전계효과형 트랜지스터를 구성하면, 소스·드레인 단자 간에 5V 정도의 전압을 인가했을 때, 게이트 전압을 인가하지 않을 때의 소스·드레인 단자 간의 전류를 약 10^{-7} 암페어로 할 수 있다. 전자캐리어 농도의 이론적 하한계(下限界)는 가전자대의 전자가 열적으로 여기(勵起)된다 라고 가정하면, $10^{15}/\text{cm}^3$ 이하지만 실제적인 가능성으로는 $10^{12}/\text{cm}^3$ 정도이다.

또한, Al_2O_3 , Y_2O_3 또는 HfO_2 의 1종, 또는 그들 화합물을 적어도 2종 이상 포함하는 혼정화합물을 게이트 절연층으로 이용하면 소스·게이트 단자 간 및 드레인·게이트 단자 간의 리크전류를 약 10^{-7} 암페어로 할 수 있고, 노말리 오프·트랜지스터를 실현할 수 있다.

산화물 결정의 전자이동도는 금속이온의 s 궤도의 겹침이 커질수록 크게 되어 원자번호가 큰 Zn, In, Sn 의 산화물 결정은 0.1부터 $200\text{cm}^2/(\text{V}\cdot\text{초})$ 의 큰 전자이동도를 가진다. 더욱이, 산화물에서는 산소와 금속이온이 이온결합하고 있기 때문에 화학결합의 방향성이 없고 구성이 랜덤(random)하여 결합의 방향이 불균일한 아몰퍼스 상태라도, 전자이동도는 결정상태의 전자이동도에 비교해서 같은 정도의 크기를 가지는 것이 가능하게 된다. 한편, Zn, In, Sn을 원자번호가 작은 원소로 치환하는 것에 의해 전자이동도는 작아진다. 따라서, 상기의 아몰퍼스 산화물을 이용하는 것에 의해 전자이동도를 약 $0.01\text{cm}^2/(\text{V}\cdot\text{초})$ 부터 $20\text{cm}^2/(\text{V}\cdot\text{초})$ 의 범위로 제어할 수 있다.

또한, 통상의 화합물에서는 캐리어 농도가 증가함에 따라 캐리어 간의 산란 등에 의해 전자이동도는 감소하지만, 그에 비해 본 발명의 아몰퍼스 산화물에서는 전자캐리어 농도의 증가와 동시에 전자이동도가 증가하지만 그 물리기구는 명확하지 않다.

게이트 단자에 전압을 인가하면 상기 아몰퍼스 화합물 채널층에 전자를 주입할 수 있으므로 소스·드레인 단자 간에 전류가 흘러 양 단자 사이가 온(on) 상태로 된다. 본 발명에 의한 아몰퍼스 산화막은 전자캐리어 농도가 증가하면 전자이동도가 커지므로 트랜지스터가 온 상태에서의 전류를 보다 크게 할 수 있다. 즉, 포화전류 및 온·오프 비를 보다 크게 할 수 있다. 전자이동도가 큰 아몰퍼스 산화물막을 TFT의 채널층으로 이용하면 포화전류를 크게 할 수 있고, 또한 TFT의 스위칭 속도를 크게 할 수 있어 고속 작동이 가능해진다.

예를 들면, 전자이동도가 $0.01\text{cm}^2/(\text{V}\cdot\text{초})$ 정도이면, 액정표시소자를 구동하는 TFT의 채널층으로서 이용할 수 있다. 또한, 전자이동도가 $0.1\text{cm}^2/(\text{V}\cdot\text{초})$ 정도인 아몰퍼스 산화물막을 이용하면 아몰퍼스 실리콘막을 이용한 TFT와 동등 이상의 성능을 가져, 동화상용(動畵像用) 표시소자를 구동하는 TFT를 제작할 수가 있다.

더욱이, 전류로 구동하는 유기발광 다이오드를 작동시키는 경우 등 큰 전류를 필요로 하는 TFT를 실현하기 위해서는 전자이동도는 $1\text{cm}^2/(\text{V}\cdot\text{초})$ 초과하는 것이 바람직하다. 또한, 본 발명에 의한 축퇴전도를 나타내는 아몰퍼스 산화물을 채널층으로 이용한 경우, 전자캐리어 농도가 많은 상태에서의 전류, 즉 트랜지스터의 포화전류의 온도의존성이 작아져 온도특성이 우수한 TFT를 실현할 수 있다.

실시예

(실시예 1 : PLD법에 의한 아몰퍼스 In-Ga-Zn-O 박막의 제작)

도 7에 나타내는 바와 같이 PLD 성막장치를 이용하여 성막을 실시했다. 도 7에서 701은 RP(로터리 펌프(rotary pump)), 702는 TMP(터보(turbo)분자 펌프), 703은 준비실, 704는 RHEED용 전자총, 705는 기판을 회전, 상하 이동하기 위한 기판유지수단, 706은 레이저 입사창, 707은 기판, 708은 타겟, 709는 라디칼 원(源), 710은 가스 도입구, 711은 타겟을 회전, 상하 이동하기 위한 타겟 유지수단, 712는 바이패스 라인(bypass line), 713은 메인라인(main line), 714는 TMP(터보 분자 펌프), 715는 RP(로터리 펌프), 716은 티탄게터펌프(titan getter pump), 717은 셔터(shutter)이다. 또한 도면 중 718은 IG(이온진공계), 719는 PG(피라니(pirani) 진공계), 720은 BG(바라트론(baratron) 진공계), 721은 성장실(chamber)이다.

KrF 엑시머(excimer) 레이저를 이용한 펄스레이저 증착법에 의해 SiO₂ 글라스 기판(코닝사 제조 1737) 위에 In-Ga-Zn-O 계 아몰퍼스 산화물 반도체 박막을 퇴적시켰다. 퇴적전의 처리로서, 기판의 초음파에 의한 탈지세정을, 아세톤, 에탄올, 초순수(超純水)를 이용하여 각 5분간 실시한 후, 공기중 100℃에서 건조시켰다.

상기 다결정 타겟으로는 InGaO₃(ZnO)₄ 소결체 타겟(사이즈 20mmΦ5mm)을 이용했다. 이것은 출발원료로서 In₂O₃:Ga₂O₃:ZnO(각 4N시약)를 습식혼합한 후(용매 : 에탄올), 가소(假燒)(1000℃ : 2h), 건식분쇄, 본 소결(1550℃ : 2h)을 거쳐 얻어지는 것이다. 이렇게 하여 제작한 타겟의 전기전도도는 90(S/cm)이었다.

성장실의 도달진공을 2×10⁻⁶(Pa)로 하고, 성장중의 산소분압을 6.5(Pa)로 제어하여 성막을 실시했다. 챔버(721) 내 산소분압은 6.5Pa, 기판온도는 25℃이다. 또한, 타겟(708)과 피성막기판(707) 사이의 거리는 30(mm)이고, 입사창(716)으로 입사되는 KrF 엑시머 레이저의 출력(power)은 1.5-3(mJ/cm²/pulse)의 범위이다. 또한, 펄스 폭은 20(nsec), 반복 주파수는 10(Hz), 그리고 조사지점(spot) 지름은 1×1(mm)로 했다. 이리하여 성막 비율(rate) 7(nm/min)로 성막을 실시했다.

얻어진 박막에 대하여, 박막이 간신히 입사 X선 회절(박막법, 입사각 0.5도)을 실시한 결과, 명료한 회절 피크(peak)는 확인할 수 없었던 점으로 보아 제작한 In-Ga-Zn-O계 박막은 아몰퍼스라고 말할 수 있다. 더욱이 X선 반사율 측정을 실시하여 패턴을 해석한 결과, 박막의 평균이승(二乗) 거칠기 (Rrms)는 약 0.5nm이고, 막 두께는 약 120nm인 것이 밝혀졌다. 형광 X선(XRF) 분석의 결과, 박막의 금속 조성비는 In:Ga:Zn=0.98:1.02:4이었다. 전기전도도는 약 10⁻²S/cm 미만이었다. 전자 캐리어 농도는 약 10¹⁶/cm³ 이하, 전자이동도는 약 5cm²/(V·초)로 측정되었다.

광(光)흡수 스펙트럼의 해석에서, 제작한 아몰퍼스 박막의 금지대(禁制帶)에너지 폭은 약 3eV로 얻어졌다. 이상으로부터, 제작한 In-Ga-Zn-O계 박막은 결정이 InGaO₃(ZnO)₄의 조성에 가까운 아몰퍼스상을 나타내고 있고, 산소결손이 적고 전기전도도가 작은 투명한 평탄 박막인 것이 밝혀졌다.

구체적으로 도 1을 이용하여 설명한다. 도 1은 In-Ga-Zn-O로 구성되어 결정상태를 가정한 때의 조성이 InGaO₃(ZnO)_m (m은 6 미만의 수)로 표시되는 투명 아몰퍼스 산화물 박막을 본 실시예와 같은 조건에서 제작하는 경우에, 산소분압을 변화시킨 경우 성막된 산화물의 전자캐리어 농도의 변화를 나타낸 것이다.

본 실시예와 동일한 조건하에서 산소분압을 4.5 Pa 초과의 높은 분위기 중에서 성막하는 것에 의해 도 1에 나타낸 바와 같이 전자캐리어 농도를 10¹⁸/cm³ 미만으로 저하시킬 수 있다. 이 경우, 기판의 온도는 의도적으로 가온하지 않은 상태로 거의 실온으로 유지되어 있다. 플렉시블한 플라스틱 필름을 기판으로 사용하기 위해서는 기판온도는 100℃ 미만으로 유지하는 것이 바람직하다.

산소분압을 더욱 크게 하면, 전자캐리어 농도를 더욱 저하시킬 수 있다.

예를 들면, 도 1에 나타낸 바처럼 기판온도 25℃, 산소분압 5Pa로 성막한 InGaO₃(ZnO)₄ 박막에서는 전자캐리어 수를 10¹⁶/cm³ 로 저하시킬 수 있다.

얻어진 박막은, 도 2에 나타낸 바처럼, 전자이동도가 1cm²/(V·초)를 초과했다. 그러나 본 실시예의 펄스레이저 증착법에서는 산소분압을 6.5Pa이상으로 하면 퇴적한 막의 표면이 요철(凹凸)로 되어 TFT의 채널층으로서 이용하는 것이 어려워진

다. 따라서 산소분압 4.5Pa 초과, 바람직하게는 5Pa 초과, 6.5Pa 미만의 분위기에서 펄스레이저 증착법으로 제작한 In-Ga-Zn-O로 구성되어 결정상태에서의 조성 $\text{InGaO}_3(\text{ZnO})_m$ (m 은 6미만의 수)로 나타나는 투명 아몰퍼스 산화물 박막을 이용하면 노말리 오프 트랜지스터를 구성할 수 있다.

또한, 그 박막의 전자이동도는 $1\text{cm}^2/\text{V}\cdot\text{초}$ 초과하여 얻어져 온·오프 비를 10^3 초과로 크게 할 수 있었다. 이상 설명한 바와 같이 본 실시예에 나타난 조건하에서 PLD법에 의해 InGaZn 산화물의 성막을 실시하는 경우는, 산소분압을 4.5Pa 이상 6.5Pa 미만인 되도록 제어하는 것이 바람직하다. 또한, 전자캐리어 농도를 $10^{18}/\text{cm}^3$ 미만을 실현하기 위해서는 산소분압의 조건, 성막 장치의 구성이나 성막할 재료나 조성 등에 의존한다.

이어서, 상기 장치에서의 산소분압 6.5Pa의 조건에서 아몰퍼스 산화물을 제작하고, 도 5에 나타나는 탑 게이트형 MISFET 소자를 제작했다. 구체적으로는 먼저 글라스 기판(1) 위에 상기의 아몰퍼스 In-Ga-Zn-O 박막의 제작법에 의해 채널층(2)으로 이용하는 두께 120nm의 반절연성 아몰퍼스 $\text{InGaO}_3(\text{ZnO})_4$ 막을 형성했다.

더욱이 그 위에 챔버 내 산소분압을 1Pa 미만으로 하여 펄스레이저 퇴적법에 의해 전기전도도가 큰 $\text{InGaO}_3(\text{ZnO})_4$ 및 금막을 각각 30nm 적층하고, 포토 리소그래피(photolithography)법과 리프트 오프(lift off)법에 의해 드레인 단자(5) 및 소스 단자(6)를 형성했다.

마지막으로 게이트 절연막(3)으로 이용한 Y_2O_3 막을 전자빔 증착법에 의해 성막하고(두께:90nm, 비유전율:약15, 리크전류 밀도:0.5MV/cm 인가시에 $10^{-3}\text{A}/\text{cm}^2$), 그 위에 금을 성막하고, 포토리소그래피법과 리프트오프법에 의해 게이트 단자(4)를 형성했다.

(MISFET소자의 특성평가)

도 6에, 실온하에서 측정한 MISFET소자의 전류-전압 특성을 나타낸다. 드레인 전압 V_{DS} 의 증가에 수반하여 드레인 전류 I_{DS} 가 증가한 것으로부터 채널이 n형 반도체인 것이 밝혀졌다. 이것은 아몰퍼스 In-Ga-Zn-O계 반도체가 n형이라고 하는 사실과 모순되지 않는다. I_{DS} 는 $V_{\text{DS}}=6\text{V}$ 정도로 포화(pinch off)하는 전형적인 반도체 트랜지스터의 거동을 나타냈다. 이 특성을 조사해본 바, $V_{\text{DS}}=4\text{V}$ 인가시의 게이트 전압 V_{GS} 의 최소치는 약 -0.5V 였다. 또한, $V_{\text{G}}=10\text{V}$ 시에는 $I_{\text{DS}}=1.0\times 10^{-5}\text{A}$ 의 전류가 흘렀다. 이것은 게이트 바이어스(bias)에 의해 절연체의 In-Ga-Zn-O계 아몰퍼스 반도체 박막 내에 캐리어를 유기가능한 것에 대응한다. 트랜지스터의 온·오프 비는 10^3 이상이었다. 또한, 출력특성으로부터 전계효과 이동도를 산출한 바, 포화영역에서 $7\text{cm}^2(\text{Vs})^{-1}$ 의 전계효과 이동도가 얻어졌다.

제작한 소자에 가시광을 조사하여 동일한 형태로 측정을 하였지만 트랜지스터 특성의 변화는 확인할 수 없었다. 본 실시예에 의하면 전자캐리어 농도가 작음에 따라 전기저항이 높음과 동시에 전자이동도가 큰 채널층을 가지는 박막 트랜지스터를 실현할 수 있다. 또한, 상기한 아몰퍼스 산화물은 전자캐리어 농도의 증가와 동시에 전자이동도가 증가하고 더욱이 축퇴전도(縮退傳導)를 나타내는 우수한 특성을 구비하고 있다.

본 실시예에서는 글라스 기판 위에 박막 트랜지스터를 제작하였지만, 성막 자체가 실온에서 행해지므로 플라스틱판이나 필름 등의 기판이 사용가능하다. 또한, 본 실시예에서 얻어진 아몰퍼스 산화물은 가시광의 광흡수가 거의 없고, 투명한 플렉시블 TFT를 실현할 수 있다.

(실시예 2 : PLD법에 의한 아몰퍼스 $\text{InGaO}_3(\text{ZnO})$ 및 $\text{InGaO}_3(\text{ZnO})_4$ 산화막의 성막)

KrF 엑시머 레이저를 이용한 PLD법에 의해 $\text{InGaO}_3(\text{ZnO})$ 및 $\text{InGaO}_3(\text{ZnO})_4$ 조성을 가지는 다결정 소결체를 각각 타겟으로 하여 글라스 기판(코닝사 제조 1737) 위에 In-Zn-Ga-O계 아몰퍼스 산화물막을 퇴적시켰다. PLD 성막장치는 실시예 1에서 나타낸 것을 이용하고, 성막조건은 상기와 동일하게 했다.

기판온도는 25°C 로 성막을 실시했다.

얻어진 막에 관하여 막 면에 밀접하게 입사X선 회절(박막법, 입사각 0.5도)을 실시한 바, 명료한 회절 피크는 검출되지 않고, 2종류의 타겟으로 제작한 In-Zn-Ga-O계 막은 모두 아몰퍼스막인 것이 나타났다.

더욱이 글라스 기판 위의 In-Zn-Ga-O계 아몰퍼스 산화물막의 X선 반사율 측정을 하여 패턴해석을 실시한 결과, 박막의 평균 이승(二乘) 거칠기(Rrms)는 약 0.5nm이고, 막 두께는 약 120nm인 것이 밝혀졌다. 형광 X선(XRF) 분석의 결과, InGaO₃(ZnO) 조성을 가지는 다결정 소결체를 타겟으로 하여 얻어진 막의 금속원자 조성비는 In:Ga:Zn=1.1:1.1:0.9였다. 또한, InGaO₃(ZnO)₄ 조성을 가지는 다결정 소결체를 타겟으로 하여 얻어진 막의 금속원자 조성비는 In:Ga:Zn=0.98:1.02:4였다.

성막시의 분위기 산소분압을 변화시켜 InGaO₃(ZnO)₄ 조성을 가지는 다결정 소결체를 타겟으로 하여 얻어진 아몰퍼스 산화막의 전자캐리어 농도를 측정했다. 그 결과를 도 1에 나타낸다. 산소분압이 4.5Pa 초과의 분위기 중에서 성막하는 것에 의해 전자캐리어 농도를 10¹⁸/cm³ 미만으로 저하시킬 수 있었다. 이 경우 기판의 온도는 의도적으로 가온하지 않은 상태에서 거의 실온으로 유지되고 있다. 또한 산소분압이 6.5Pa 미만 시에는 얻어진 아몰퍼스 산화물막의 표면은 평탄하다.

산소분압이 5Pa 일 때, InGaO₃(ZnO)₄ 조성을 가지는 다결정 소결체를 타겟으로 하여 얻어진 아몰퍼스 산화막의 전자 캐리어 농도는 10¹⁶/cm³, 전기전도도는 10⁻²S/cm였다. 또한, 전자이동도는 약 5cm²/V·초로 추측되었다. 광흡수 스펙트럼의 해석으로부터, 제작한 아몰퍼스 산화물막의 금지대 에너지폭은 약 3eV로 얻어졌다. 산소분압을 5Pa에서 더욱 크게 하면 전자 캐리어 농도를 더욱 저하시킬 수 있었다.

도 1에 나타낸 바처럼, 기판온도 25℃, 산소분압 6Pa로 성막한 In-Zn-Ga-O계 아몰퍼스 산화물막에서는 전자캐리어 농도를 8×10¹⁵/cm³(전기전도도 : 약 8×10⁻³S/cm)로 저하시킬 수 있었다. 얻어진 막은 전자이동도가 1cm²/(V·초)이상으로 추측되었다. 그러나 PLD법에서는 산소분압을 6.5Pa 이상으로 하면 최적한 막의 표면이 요철(凹凸)로 되어 TFT의 채널층으로 이용하는 것이 곤란해졌다.

InGaO₃(ZnO)₄ 조성을 가지는 다결정 소결체를 타겟으로 하고, 다른 산소분압으로 성막한 In-Zn-Ga-O계 아몰퍼스 산화물막에 관하여 전자 캐리어 농도와 전자이동도의 관계를 조사했다. 그 결과를 도 2에 나타낸다. 전자캐리어 농도가 10¹⁶/cm³에서 10²⁰/cm³으로 증가하면 전자이동도는 약 3cm²/(V·초)에서 약 11cm²/(V·초)로 증가함이 나타났다. 또한, InGaO₃(ZnO) 조성을 가지는 다결정 소결체를 타겟으로 하여 얻어진 아몰퍼스 산화막에 관해서도 동일한 경향이 나타났다.

글라스 기판 대신에 두께 200μm의 폴리에틸렌·테레프탈레이트(PET) 필름을 이용한 경우에도 얻어진 In-Zn-Ga-O계 아몰퍼스 산화물막은 동일한 특성을 나타냈다.

(실시예 3 : SP법에 의한 In-Zn-Ga-O계 아몰퍼스 산화막의 성막)

분위기 가스로서 아르곤 가스를 이용한 고주파 SP법에 의해 성막하는 경우에 대하여 설명한다. SP법은 도 8에 나타나는 장치틀을 이용하여 실시했다. 도 8에서 807은 피성막기판, 808은 타겟, 805는 냉각기구 부착 기판 유지수단, 814는 터보분자펌프, 815는 로터리 펌프, 817은 셔터, 818은 이온진공계, 819는 피라니 진공계, 821은 성장실(챔버), 830은 게이트 밸브이다. 피성막기판(807)으로는, SiO₂ 글라스 기판(코닝사 제조 1737)을 준비했다. 성막 전 처리로서, 이 기판의 초음파 탈지세정을 아세톤, 에탄올, 초순수에 의해 각 5분씩 실시한 후, 공기중 100℃에서 건조시켰다.

타겟 재료로는 InGaO₃(ZnO)₄ 조성을 가지는 다결정 소결체(사이즈 20mmΦ5mm)를 이용했다. 이 소결체는 출발원료로서 In₂O₃:Ga₂O₃:ZnO(각 4N시약)를 습식혼합(용매 : 에탄올)하고, 가소(假燒)(1000℃ : 2h), 건식분쇄, 본 소결(1550℃ : 2h)을 거쳐 제작했다. 이 타겟(808)의 전기전도도는 90(S/cm)로, 반 절연체 상태였다.

성장실(821) 내의 도달 진공은 1×10⁻⁴(Pa)이고, 성장중의 산소가스와 아르곤가스의 전체 압력은 4~0.1×10⁻¹(Pa)의 범위에서 일정한 값으로 하고 아르곤가스와 산소와의 분압비를 바꾸어 산소분압을 10⁻³~2×10⁻¹(Pa)의 범위에서 변화시켰다. 또한, 기판온도는 실온으로 하고 타겟(808)과 피성막기판(807) 사이의 거리는 30(mm)였다. 투입전력은 RF180W이고, 성막비율은 10(nm/min)으로 실시했다.

얻어진 막에 관해서, 막 면에 밀접하게 입사X선 회절(박막법, 입사각 $\text{lang}=\text{EN}-\text{US}>0.5\text{도}$)을 실시한 바, 명료한 회절 피크는 검출되지 않고, 제작한 In-Zn-Ga-O계 막은 모두 아몰퍼스막인 것이 나타났다. 더욱이 X선 반사율 측정을 하여 패턴 해석을 실시한 결과, 박막의 평균 이승(二乘) 거칠기 (Rrms)는 약 0.5nm이고, 막 두께는 약 120nm임을 알 수 있었다. 형광 X선(XRF) 분석의 결과, 박막의 금속조성비는In:Ga:Zn=0.98:1.02:4였다.

성막시의 분위기 산소분압을 변화시켜 얻어진 아몰퍼스 산화물막의 전기전도도를 측정했다. 그 결과를 도 3에 나타낸다. 도 3에 나타낸 바와 같이 산소분압을 $3 \times 10^{-2}\text{Pa}$ 초과와 높은 분위기 중에서 성막하는 것에 의해 전기전도도를 10S/cm 미만으로 저하시킬 수 있었다.

산소분압을 크게 하는 것에 의해 전자캐리어 수를 저하시킬 수가 있었다. 예를 들면, 도 3에 나타낸 바처럼, 기판온도 25℃, 산소분압 10^{-1}Pa 로 성막한 $\text{InGaO}_3(\text{ZnO})_4$ 박막에서는 더욱 전기전도도를 약 10^{-10}S/cm 로 저하시킬 수 있었다. 또한, 산소분압 10^{-1}Pa 초과에서 성막한 $\text{InGaO}_3(\text{ZnO})_4$ 박막은 전기저항이 너무 높아 전기전도도는 측정할 수 없었다. 이 경우 전자이동도는 측정할 수 없었지만, 전자캐리어 농도가 큰 막에서의 값으로부터 외삽(外挿, extrapolation)하여 전자이동도는 약 $1\text{cm}^2/\text{V} \cdot \text{초}$ 로 추정되었다.

즉, 산소분압 $3 \times 10^{-2}\text{Pa}$ 초과, 바람직하게는 $5 \times 10^{-1}\text{Pa}$ 초과의 아르곤가스 분위기에서 스퍼터 증착법으로 제작한 In-Ga-Zn-O로 구성되고 결정상태에서의 조성 $\text{InGaO}_3(\text{ZnO})_m$ (m은 6 미만의 자연수)로 표시되는 투명 아몰퍼스 산화물 박막을 이용하여 노말리 오프함과 동시에 온 · 오프 비가 10^3 초과의 트랜지스터를 구성할 수 있었다.

본 실시예에서 나타낸 장치, 재료를 이용하는 경우는, 스퍼터에 의한 성막 시의 산소분압으로는 예를 들면, $3 \times 10^{-2}\text{Pa}$ 이상, $5 \times 10^{-1}\text{Pa}$ 이하의 범위이다. 또한, 펄스레이저 증착법 및 스퍼터법으로 제작한 박막에서는 도 2에 나타낸 바와 같이 전도전자수의 증가와 동시에 전자이동도가 증가한다.

상기와 같이, 산소분압을 제어하는 것에 의해 산소결함을 저감할 수 있고, 그 결과, 전자캐리어 농도를 감소시킬 수 있다. 또한, 아몰퍼스 상태에서는 다결정 상태와는 달리, 본질적으로 입자계면이 존재하지 않기 때문에 고(高)전자이동도의 아몰퍼스 박막을 얻을 수 있다. 또한, 글라스 기판 대신에 두께 200 μm 의 폴리에틸렌 · 테레프탈레이트(PET) 필름을 이용한 경우에도, 얻어진 $\text{InGaO}_3(\text{ZnO})_4$ 아몰퍼스 산화물막은 동일한 특성을 나타냈다.

(실시예 4 : PLD법에 의한 In-Zn-Ga-Mg-O계 아몰퍼스 산화물막의 성막)

다음으로, PLD법에 의해 글라스 기판 위에 $\text{InGaO}_3(\text{Zn}_{1-x}\text{Mg}_x\text{O})_4$ ($0 < x < 1$)막을 성막하는 경우에 대하여 설명한다. 성막 장치로는 도 7에 기재된 성막장치를 이용하여 실시했다. 피성막기판으로는 SiO_2 글라스 기판(코닝사 제조 1737)을 준비했다. 그 기판에 전 처리로서 초음파 탈지세정을 아세톤, 에탄올, 초순수에 의해 각 5분씩 실시한 후 공기중 100℃에서 건조시켰다.

타겟으로는 $\text{InGa}(\text{Zn}_{1-x}\text{Mg}_x\text{O})_4$ ($x=1-0$) 소결체(사이즈 20mm Φ 5mm)를 이용했다. 타겟은 출발원료 In_2O_3 : Ga_2O_3 : ZnO : MgO (각 4N시약)를 습식혼합(용매 : 에탄올), 가소(假燒)(1000℃ : 2h), 건식분쇄, 본 소결(1550℃ : 2h)을 거쳐 제작했다.

성장실 도달 진공은 2×10^{-6} (Pa)이고, 성장중의 산소분압은 0.8(Pa)로 했다. 기판온도는 실온(25℃)으로 하고 타겟과 피성막기판 사이의 거리는 30(mm)였다. 또한, KrF 엑시머 레이저의 출력(power)은, 1.5(mJ/cm²/pulse), 펄스 폭은 20(nsec), 반복주파수는 10(Hz), 조사지점(spot) 지름은 1 \times 1(mm각)로 했다. 성막비율(rate)은 7(nm/min)였다.

이와 같이 하여 얻어진 막에 관해서, 막 면에 밀접하게 입사X선 회절(박막법, 입사각 0.5도)을 실시한 바, 명료한 회절 피크는 검출되지 않고, 제작한 In-Zn-Ga-Mg-O계 막은 아몰퍼스막인 것이 나타났다. 얻어진 막 표면은 평탄했다.

다른 x값의 타겟을 이용하여 산소분압 0.8Pa의 분위기 중에서 성막한 In-Zn-Ga-Mg-O계 아몰퍼스 산화물막의 전기전도도, 전자캐리어 농도 및 전자이동도의 x값 의존성을 조사했다. 또한 타겟으로 다결정 $\text{InGaO}_3(\text{Zn}_{1-x}\text{Mg}_x\text{O})_m$ (m은 6 미만의 자연수, $0 < x \leq 1$)을 이용하면 1Pa 미만의 산소분압 하에서도 고저항 아몰퍼스 $\text{InGaO}_3(\text{Zn}_{1-x}\text{Mg}_x\text{O})_m$ 막을 얻을 수 있었다.

그 결과를 도 4에 나타낸다. x값이 0.4 초과할 때, 산소분압 0.8Pa의 분위기 중에서 PLD법에 의해 성막한 아몰퍼스 산화물막에서는 전자캐리어 농도를 $10^{18}/\text{cm}^3$ 미만으로 할 수 있음이 나타났다. 또한, x값이 0.4 초과인 아몰퍼스 산화물막에서 전자이동도는 $1\text{cm}^2/\text{V} \cdot \text{초}$ 이상이였다. 도 4에 나타낸 바와 같이 Zn을 80원자%의 Mg로 치환한 타겟을 사용한 경우 산소분압 0.8Pa의 분위기에서 펄스레이저 퇴적법으로 얻어진 막의 전자캐리어 농도를 $10^{16}/\text{cm}^3$ 미만으로 할 수 있다.

이렇게 한 막의 전자이동도는 Mg 무첨가 막에 비하여 저하하지만 그 정도는 적고 실온에서의 전자이동도는 약 $5\text{cm}^2/(\text{V} \cdot \text{초})$ 로, 아몰퍼스 실리콘에 비해 1 자릿수 정도 큰 값을 나타낸다. 동일한 조건에서 성막한 경우, Mg함유량의 증가에 대해 전기전도도와 전자이동도는 동시에 저하하므로 Mg의 함유량은 바람직하게는 20원자%초과, 85원자% 미만(x 로는 $0.2 < x < 0.85$), 보다 더 바람직하게는 $0.5 < x < 0.85$ 이다.

또한, 글라스 기판 대신에 두께 $200\mu\text{m}$ 의 폴리에틸렌·테레프탈레이트(PET) 필름을 이용한 경우에도, 얻어진 $\text{InGaO}_3(\text{Zn}_{1-x}\text{Mg}_x\text{O})_4$ ($0 < x \leq 1$) 아몰퍼스 산화물막은 동일한 특성을 나타냈다.

(실시예 5 : PLD법에 의한 In_2O_3 아몰퍼스 산화물막의 성막)

다음으로, In산화물막을 성막하는 경우에 대하여 설명한다. 성막장치는 도 7에 기재된 장치를 이용했다. 피성막기판으로는 SiO_2 글라스 기판(코닝사 제조 1737)을 준비했다. 그 기판의 전 처리로서 초음파 탈지세정을 아세톤, 에탄올, 초순수로 각 5분씩 실시한 후, 공기중 100°C 에서 건조시켰다.

타겟으로는 In_2O_3 소결체(사이즈 $20\text{mm}\Phi 5\text{mm}$)를 이용했다. 이것은 출발원료 In_2O_3 (4N시약)를 가소(假燒)($1000^\circ\text{C} : 2\text{h}$), 건식분쇄, 본 소결($1550^\circ\text{C} : 2\text{h}$)을 거쳐 준비했다.

성장실 도달 진공은 $2 \times 10^{-6}(\text{Pa})$ 이고, 성장중의 산소분압은 5(Pa)로 하고, 수증기분압 0.1(Pa)로 하고, 더욱이 산소 라디칼 발생장치에 200W를 인가하여 산소 라디칼을 발생시켰다. 기판온도는 실온으로 했다. 타겟과 피성막기판 사이의 거리는 40(mm), KrF 엑시머 레이저의 출력(power)은 $0.5(\text{mJ}/\text{cm}^2/\text{pulse})$, 펄스 폭은 20(nsec), 반복주파수는 10(Hz), 조사지점(spot) 지름은 $1 \times 1(\text{mm}^2)$ 이었다. 성막 비율(rate)은 $3(\text{nm}/\text{min})$ 이었다.

얻어진 막에 관해서, 막 면에 밀접하게 입사X선 회절(박막법, 입사각 0.5도)을 실시한 바, 명료한 회절 피크는 검출되지 않고, 제작한 In-O계 막은 아몰퍼스막인 것이 나타났다. 막 두께는 80nm 이었다. 얻어진 In-O계 아몰퍼스 산화물막의 전자캐리어 농도는 $5 \times 10^{17}/\text{cm}^3$ 이고, 전자이동도는 약 $7\text{cm}^2/\text{V} \cdot \text{초}$ 였다.

(실시예 6 : PLD법에 의한 In-Sn-O계 산화물막의 성막)

PLD법에 의해 두께 $200\mu\text{m}$ 의 In-Sn-O계 산화물막을 성막하는 경우에 대하여 설명한다. 피성막기판으로는 SiO_2 글라스 기판(코닝사 제조 1737)을 준비했다. 기판 전 처리로서 초음파 탈지세정을 아세톤, 에탄올, 초순수를 이용하여 각 5분씩 실시했다. 그 후, 공기중 100°C 에서 건조시켰다.

타겟은 $\text{In}_2\text{O}_3\text{-SnO}_2$ 소결체(사이즈 $20\text{mm}\Phi 5\text{mm}$)를 준비했다. 이것은 출발원료로서 $\text{In}_2\text{O}_3\text{-SnO}_2$ (4N시약)를 습식혼합(용매 : 에탄올), 가소(假燒)($1000^\circ\text{C} : 2\text{h}$), 건식분쇄, 본 소결($1550^\circ\text{C} : 2\text{h}$)을 거쳐 얻어졌다. 타겟의 조성은 $(\text{In}_{0.9}\text{Sn}_{0.1})_2\text{O}_{3.1}$ 다결정체였다.

성장실 도달 진공은 2×10^{-6} (Pa), 성장중의 산소분압은 5(Pa), 질소분압은 0.1(Pa)로 하고, 더욱이 산소 라디칼 발생장치에 200W를 인가하여 산소 라디칼을 발생시켰다. 기판온도는 실온에서 성막했다. 타겟과 피성막기판 사이의 거리는 30(mm)로 하고, KrF 엑시머 레이저의 출력(power)은 1.5(mJ/cm²/pulse), 펄스 폭은 20(nsec), 반복주파수는 10(Hz), 조사지점(spot) 지름은 1×1(mm각)이었다.

성막비율은 6(nm/min)이었다. 얻어진 막에 관해서, 막 표면에 밀접하게 입사X선 회절(박막법, 입사각 0.5도)을 실시한 바, 명료한 회절 피크는 검출되지 않고, 제작한 In-Sn-O계 막은 아몰퍼스막인 것이 나타났다. 얻어진 In-Sn-O 아몰퍼스 산화물막의 전자캐리어 농도는 8×10^{17} /cm³이고, 전자이동도는 약 5cm²/(V·초)였다. 막 두께는 100nm 이었다.

(실시예 7 : PLD법에 의한 In-Ga-O계 아몰퍼스 산화물막의 성막)

다음으로, InGa 산화물을 성막하는 경우에 대하여 설명한다. 피성막기판으로 SiO₂ 글라스 기판(코닝사 제조 1737)을 준비했다. 기판의 전 처리로서 초음파 탈지세정을 아세톤, 에탄올, 초순수를 이용하여 각 5분씩 실시한 후, 공기중 100℃에서 건조시켰다.

타겟으로 (In₂O₃)_{1-x}-(Ga₂O₃)_x(x=0-1) 소결체(사이즈 20mmΦ5mmt)를 준비했다. 또한, 예를 들면 x=0.1의 경우에 타겟은 (In_{0.9}Ga_{0.1})₂O₃ 다결정 소결체라고 하는 것으로 된다. 이것은 출발원료:In₂O₃-Ga₂O₃(4N시약)를, 습식혼합(용매 : 에탄올), 가소(假燒)(1000℃ : 2h), 건식분쇄, 본 소결(1550℃ : 2h)을 거쳐 얻어졌다.

성장실 도달 진공은 2×10^{-6} (Pa)이고, 성장중의 산소분압은 1(Pa)로 했다. 기판온도는 실온에서 실시하고, 타겟과 피성막기판 사이의 거리는 30(mm), KrF 엑시머 레이저의 출력은 1.5(mJ/cm²/pulse), 펄스 폭은 20(nsec), 반복주파수는 10(Hz), 조사지점(spot) 지름은 1×1(mm각)이었다. 성막비율은 6(nm/min)이었다.

얻어진 막에 관하여, 막 표면에 밀접하게 입사X선 회절(박막법, 입사각 0.5도)을 실시한 바, 명료한 회절 피크는 검출되지 않고, 제작한 In-Ga-O계 막은 아몰퍼스막인 것이 나타났다. 막 두께는 120nm 이었다. 얻어진 In-Ga-O계 아몰퍼스 산화물막의 전자캐리어 농도는 8×10^{16} /cm³이고, 전자이동도는 약 1cm²/V·초였다.

(실시예 8 : In-Zn-Ga-O계 아몰퍼스 산화물막을 이용한 TFT소자의 제작(글라스 기판))

도 5에 나타낸 탑 게이트형 TFT소자를 제작했다.

먼저, 글라스 기판(1) 위에, InGaO₃(ZnO)₄ 조성을 이루는 다결정 소결체를 타겟으로 하여 산소분압 5Pa의 조건에서 실시예 2의 In-Ga-Zn-O계 아몰퍼스 산화물 박막의 제작법에 의해 채널층(2)로 이용하는 두께 120nm의 In-Ga-Zn-O계 아몰퍼스막을 형성했다.

더욱이 그 위에 챔버 내 산소분압을 1Pa미만으로 하여 PLD법에 따라 전기전도도가 큰 In-Ga-Zn-O계 아몰퍼스막 및 금막을 각각 30nm 적층하고, 포토리소그라피법과 리프트오프법에 의해 드레인 단자(5) 및 소스 단자(6)를 형성했다.

마지막으로 게이트 절연막(3)으로 이용한 Y₂O₃막을 전자빔 증착법에 의해 성막하고(두께:90nm, 비유전율:약 15, 리크 전류밀도:0.5MV/cm 인가시에 10⁻³A/cm²), 그 위에 금을 성막하고, 포토리소그라피법과 리프트오프법에 의해 게이트 단자(4)를 형성했다. 채널 길이는 50μm이고, 채널 폭은 200μm였다.

(TFT 소자의 특성평가)

도 6에, 실온 하에서 측정한 TFT 소자의 전류-전압 특성을 나타낸다. 드레인 전압 V_{DS}의 증가에 수반하여 드레인 전류 I_{DS}가 증가한 것으로부터 채널이 n형 전도인 것이 밝혀졌다. 이것은 아몰퍼스 In-Ga-Zn-O계 아몰퍼스 산화물막이 n형 전도체라고 하는 사실과 모순되지 않는다. I_{DS}는 V_{DS}=6V 정도로 포화(pinch off)하는 전형적인 반도체 트랜지스터의 거동을 나타냈다. 이득 특성을 조사해본 바, V_{DS}=4V 인가시의 게이트 전압 V_{GS}의 최소치는 약 -0.5V였다. 또한, V_G=10V

시에는 $I_{DS}=1.0 \times 10^{-5}A$ 의 전류가 흘렀다. 이것은 게이트 바이어스에 의해 절연체인 In-Ga-Zn-O계 아몰퍼스 산화물막 내에 캐리어를 유기가능한 것에 대응한다. 트랜지스터 온·오프 비는 10^3 초과였다. 또한, 출력특성으로부터 전계효과 이동도를 산출했더니 포화영역에서 약 $7cm^2(Vs)^{-1}$ 의 전계효과 이동도를 얻을 수 있었다.

제작한 소자에 가시광을 조사(照射)하여 동일하게 측정하였지만 트랜지스터 특성의 변화는 찾아볼 수 없었다. 또한, 아몰퍼스 산화물의 전자캐리어 농도를 $10^{18}/cm^3$ 미만으로 하는 것으로 TFT의 채널층으로의 적용할 수 있다. 이 전자캐리어 농도로는 $10^{17}/cm^3$ 이하가 바람직하고, $10^{16}/cm^3$ 이하로 하면 더욱 바람직했다.

(실시예 9 : In-Zn-Ga-O계 아몰퍼스 산화물막을 이용한 TFT소자의 제작)

도 5에 나타낸 탑 게이트형 TFT 소자를 제작했다. 구체적으로는 폴리에틸렌·테레프탈레이트(PET) 필름(1) 위에, 실시예 2에 나타낸 성막법에 따라 InGaO₃(ZnO) 조성을 가지는 다결정 소결체를 타겟으로 하여 산소분압 5Pa의 분위기에서 채널층(2)으로 이용하는 두께 120nm의 In-Zn-Ga-O계 아몰퍼스 산화물막을 형성했다.

더욱이 그 위에 챔버 내 산소분압을 1Pa미만으로 하고 PLD법에 의해 전기전도도가 큰 In-Zn-Ga-O계 아몰퍼스 산화물막 및 금막을 각각 30nm 적층하고, 포토리소그라피법과 리프트오프법에 의해 드레인 단자(5) 및 소스 단자(6)을 형성했다.

마지막으로 게이트 절연막(3)을 전자빔 증착법에 의해 성막하고, 그 위에 금을 성막하여 포토리소그라피법과 리프트오프법에 의해 게이트 단자(4)를 형성했다. 채널 길이는 50 μ m이고, 채널 폭은 200 μ m였다. 게이트 절연막으로 Y₂O₃(두께 : 140nm), Al₂O₃(두께 : 130nm) 및 HfO₂(두께 : 140nm)를 이용한 3종류의 상기 구조를 가지는 TFT를 제작했다.

(TFT소자의 특성평가)

PET 필름 위에 형성한 TFT의 실온하에서 측정한 전류-전압 특성은 도 6과 동일하였다. 즉, 드레인 전압 V_{DS} 의 증가에 수반하여 드레인 전류 I_{DS} 가 증가하는 것으로부터 채널이 n형 전도체인 것이 밝혀졌다. 이것은 아몰퍼스 In-Ga-Zn-O계 아몰퍼스 산화물막이 n형 전도체라고 하는 사실과 모순되지 않는다. I_{DS} 는 $V_{DS}=6V$ 정도로 포화(pinch off)하는 전형적인 트랜지스터의 거동을 나타냈다. 또한, $V_g=0$ 일 때에는 $I_{ds} = 10^{-8}A$, $V_g=10V$ 때에는 $I_{DS}=2.0 \times 10^{-5}A$ 의 전류가 흘렀다. 이것은 게이트 바이어스에 의해 절연체의 In-Ga-Zn-O계 아몰퍼스 산화물막 내에 전자캐리어를 유기할 수 있는 것에 대응한다. 트랜지스터 온·오프 비는 10^3 을 초과했다. 또한, 출력특성으로부터 전계효과 이동도를 산출했더니 포화영역에서 약 $7cm^2(Vs)^{-1}$ 의 전계효과 이동도를 얻어졌다.

PET필름 위에 제작한 소자를 곡률반경(曲率半徑) 30mm으로 굴곡시켜 동일하게 트랜지스터 특성을 측정했지만 트랜지스터 특성에 큰 폭의 변화는 확인되지 않았다. 또한 가시광을 조사하여 동일한 측정을 실시했지만 트랜지스터 특성의 변화는 찾아볼 수 없었다.

게이트 절연막으로서 Al₂O₃막을 이용한 TFT에서도, 도 6에 나타낸 것과 유사한 트랜지스터 특성을 나타냈지만 $V_g=0$ 일 때에는 $I_{ds} = 10^{-8}A$, $V_g=10V$ 시에는 $I_{DS}=5.0 \times 10^{-6}A$ 의 전류가 흘렀다. 트랜지스터 온·오프 비는 10^2 을 초과했다. 또한, 출력특성으로부터 전계효과 이동도를 산출했더니 포화영역에서 약 $2cm^2(Vs)^{-1}$ 의 전계효과 이동도가 얻어졌다.

게이트 절연막으로서 HfO₂막을 이용한 TFT에서도, 도 6에 나타낸 것과 유사한 트랜지스터 특성을 나타냈지만 $V_g=0$ 일 때에는 $I_{ds} = 10^{-8}A$, $V_g=10V$ 시에는 $I_{DS}=1.0 \times 10^{-6}A$ 의 전류가 흘렀다. 트랜지스터 온·오프 비는 10^2 을 초과했다. 또한, 출력특성으로부터 전계효과 이동도를 산출했더니 포화영역에서 약 $10cm^2(Vs)^{-1}$ 의 전계효과 이동도가 얻어졌다.

(실시예 10 : PLD법에 의한 In₂O₃ 아몰퍼스 산화물막을 이용한 TFT소자의 제작)

도 5에 나타난 탑 게이트형 TFT 소자를 제작했다. 먼저, 폴리에틸렌·테레프탈레이트(PET) 필름(1) 위에, 실시예 5에 나타난 성막법에 따라 채널층(2)으로 이용하는 두께 80nm의 In_2O_3 아몰퍼스 산화물막을 형성했다.

더욱이 그 위에 챔버 내 산소분압을 1Pa미만으로 하고 그 위에 산소 라디칼 발생장치로의 인가전압을 제로(Zero)로 하여 PLD법에 의해 전기전도도가 큰 In_2O_3 아몰퍼스 산화물막 및 금막을 각각 30nm 적층하고, 포토리소그라피법과 리프트오프법에 의해 드레인 단자(5) 및 소스 단자(6)을 형성했다.

마지막으로 게이트 절연막(3)으로 이용하는 Y_2O_3 막을 전자 빔 증착법에 의해 성막하고 그 위에 금을 성막하여 포토리소그라피법과 리프트오프법에 의해 게이트 단자(4)를 형성했다.

(TFT소자의 특성평가)

PET 필름 위에 형성한 TFT의 실온하에서 측정된 전류-전압 특성을 측정했다.

드레인 전압 V_{DS} 의 증가에 수반하여 드레인 전류 I_{DS} 가 증가하는 것으로부터 채널이 n형 반도체인 것이 밝혀졌다.

이것은 In-O계 아몰퍼스 산화물막이 n형 전도체라고 하는 사실과 모순되지 않는다. I_{DS} 는 $V_{DS}=5V$ 정도로 포화(pinchoff)하는 전형적인 트랜지스터의 거동을 나타냈다. 또한, $V_{gs}=0V$ 일 때에는 $2 \times 10^{-8}A$, $V_g=10V$ 시에는 $I_{ds}=2.0 \times 10^{-6}A$ 의 전류가 흘렀다. 이것은 게이트 바이어스에 의해 절연체의 In-O계 아몰퍼스 산화물막 내에 전자캐리어를 유기할 수 있는 것에 대응한다. 트랜지스터 온·오프 비는 약 10^2 이었다. 또한, 출력특성으로부터 전계효과 이동도를 산출했더니 포화영역에서 약 $10\text{cm}^2(\text{Vs})^{-1}$ 의 전계효과 이동도가 얻어졌다.

클라스 기관 위에 제작한 TFT 소자도 동일한 특성을 나타냈다. PET 필름상에 제작한 소자를 곡률반경 30mm으로 굴곡시켜 동일하게 트랜지스터 특성을 측정했지만 트랜지스터 특성의 변화는 찾아볼 수 없었다.

(실시예 11 : PLD법에 의한 In-Sn-O계 아몰퍼스 산화물막을 이용한 TFT소자의 제작)

도 5에 나타난 탑 게이트형 TFT 소자를 제작했다. 먼저, 폴리에틸렌·테레프탈레이트(PET) 필름(1) 위에, 실시예 6에 나타난 성막법에 따라 채널층(2)으로 이용하는 두께 100nm의 In-Sn-O계 아몰퍼스 산화물막을 형성했다.

더욱이 그 위에 챔버 내 산소분압을 1Pa미만으로 하고, 게다가 산소 라디칼 발생장치로의 인가전압을 제로(0)로 하여 PLD법에 의해 전기전도도가 큰 In-Sn-O계 아몰퍼스 산화물막 및 금막을 각각 30nm 적층하고, 포토리소그라피법과 리프트오프법에 의해 드레인 단자(5) 및 소스 단자(6)을 형성했다.

마지막으로 게이트 절연막(3)으로 이용하는 Y_2O_3 막을 전자 빔 증착법에 의해 성막하고, 그 위에 금을 성막하여 포토리소그라피법과 리프트오프법에 의해 게이트 단자(4)를 형성했다.

(TFT 소자의 특성 평가)

PET 필름 위에 형성한 TFT를 실온하에서 측정된 전류-전압 특성을 측정했다.

드레인 전압 V_{DS} 의 증가에 수반하여 드레인 전류 I_{DS} 가 증가하는 것으로부터 채널이 n형 반도체인 것이 밝혀졌다. 이것은 In-Sn-O계 아몰퍼스 산화물막이 n형 전도체라는 사실과 모순되지 않는다. I_{DS} 는 $V_{DS}=6V$ 정도로 포화(pinchoff)하는 전형적인 트랜지스터의 거동을 나타냈다. 또한, $V_{gs}=0V$ 일 때에는 $5 \times 10^{-8}A$, $V_G=10V$ 시에는 $I_{DS}=5.0 \times 10^{-5}A$ 의 전류가 흘렀다. 이것은 게이트 바이어스에 의해 절연체의 In-Sn-O계 아몰퍼스 산화물막 내에 전자캐리어를 유기할 수 있는 것에 대응한다. 트랜지스터 온·오프 비는 약 10^3 이었다. 또한, 출력특성으로부터 전계효과 이동도를 산출했더니 포화영역에서 약 $5\text{cm}^2(\text{Vs})^{-1}$ 의 전계효과 이동도가 얻어졌다.

글라스 기판 위에 제작한 TFT 소자도 동일한 특성을 나타냈다. PET 필름 위에 제작한 소자를 곡률반경 30mm으로 굴곡시켜 동일하게 트랜지스터 특성을 측정했지만 트랜지스터 특성의 변화는 찾아볼 수 없었다.

(실시에 12 : PLD법에 의한 In-Ga-O계 아몰퍼스 산화물막을 이용한 TFT소자의 제작)

도 5에 나타낸 탑 게이트형 TFT 소자를 제작했다. 먼저, 폴리에틸렌·테레프탈레이트(PET) 필름(1) 위에, 실시예 7에 나타낸 성막법에 의해 채널층(2)으로서 이용하는 두께 120nm의 In-Ga-O계 아몰퍼스 산화물막을 형성했다.

더욱이 그 위에 챔버 내 산소분압을 1Pa미만으로 하고, 게다가 산소 라디칼 발생장치로의 인가전압을 제로(Zero)로 하여 PLD법에 의해 전기전도도가 큰 In-Ga-O계 아몰퍼스 산화물막 및 금막을 각각 30nm 적층하고, 포토리소그라피법과 리프트오프법에 의해 드레인 단자(5) 및 소스 단자(6)을 형성했다.

마지막으로 게이트 절연막(3)으로서 이용하는 Y_2O_3 막을 전자 빔 증착법에 의해 성막하고, 그 위에 금을 성막하여 포토리소그라피법과 리프트오프법에 의해 게이트 단자(4)를 형성했다.

(TFT 소자의 특성 평가)

PET 필름상에 형성한 TFT를 실온하에서 측정한 전류-전압 특성을 측정했다.

드레인 전압 V_{DS} 의 증가에 수반하여 드레인 전류 I_{DS} 가 증가하는 것으로부터 채널이 n형 반도체인 것이 밝혀졌다. 이것은 In-Ga-O계 아몰퍼스 산화물막이 n형 전도체라는 사실과 모순되지 않는다. I_{DS} 는 $V_{DS}=6V$ 정도로 포화(pinch off)하는 전형적인 트랜지스터의 거동을 나타냈다. 또한, $V_g=0V$ 일 때에는 $1 \times 10^{-8}A$, $V_g=10V$ 시에는 $I_{DS}=1.0 \times 10^{-6}A$ 의 전류가 흘렀다. 이것은 게이트 바이어스에 의해 절연체의 In-Ga-O계 아몰퍼스 산화물막 내에 전자캐리어를 유기할 수 있는 것에 대응한다. 트랜지스터 온·오프 비는 약 10^2 이었다. 또한, 출력특성으로부터 전계효과 이동도를 산출했더니 포화영역에서 약 $0.8cm^2(Vs)^{-1}$ 의 전계효과 이동도가 얻어졌다.

글라스 기판 위에 제작한 TFT 소자도 동일한 특성을 나타냈다. PET 필름상에 제작한 소자를 곡률반경 30mm으로 굴곡시켜 동일하게 트랜지스터 특성을 측정했지만 트랜지스터 특성에 큰 폭의 변화는 찾아볼 수 없었다.

또한, 상술한 실시예에서 나타낸 바와 같이, 아몰퍼스 산화물의 전자캐리어 농도를 $10^{18}/cm^3$ 미만으로 하는 것으로 TFT의 채널층으로서의 적용이 가능하다. 이 전자캐리어 농도로는 $10^{17}/cm^3$ 이하가 보다 바람직하고, $10^{16}/cm^3$ 이하로 하면 더욱 바람직하다.

산업상 이용 가능성

본 발명에 관한 아몰퍼스 산화물은 박막 트랜지스터 등의 반도체 장치(device)에 이용할 수 있다. 그리고, 이 박막 트랜지스터는 예를 들면, LCD나 유기EL 디스플레이의 스위칭 소자로서 응용할 수 있고, 플렉시블·디스플레이를 비롯하여 시스루(see-through)형의 디스플레이, IC카드나 ID태그(tag) 등에 폭넓게 응용할 수 있다.

도면의 간단한 설명

도 1은 펄스레이저 증착법으로 성막한 In-Ga-Zn-O계 아몰퍼스 산화물의 전자캐리어 농도와 성막중의 산소분압의 관계를 나타내는 그래프이다.

도 2는 펄스레이저 증착법으로 성막한 In-Ga-Zn-O계 아몰퍼스 산화물막의 전자캐리어 농도와 전하이동도의 관계를 나타내는 그래프이다.

도 3은 고주파 스퍼터법으로 성막한 In-Ga-Zn-O계 아몰퍼스 산화물막의 전기전도도와 성막중의 산소분압의 관계를 나타내는 그래프이다.

도 4는 펄스레이저 증착법에 의해 성막한 $\text{InGaO}_3(\text{Zn}_{1-x}\text{Mg}_x\text{O})_4$ 의 x의 값에 대한 전기전도도, 전자캐리어 농도, 전자이동도의 변화를 나타내는 그래프이다.

도 5는 탑 게이트형 TFT 소자 구조를 나타내는 모식도이다.

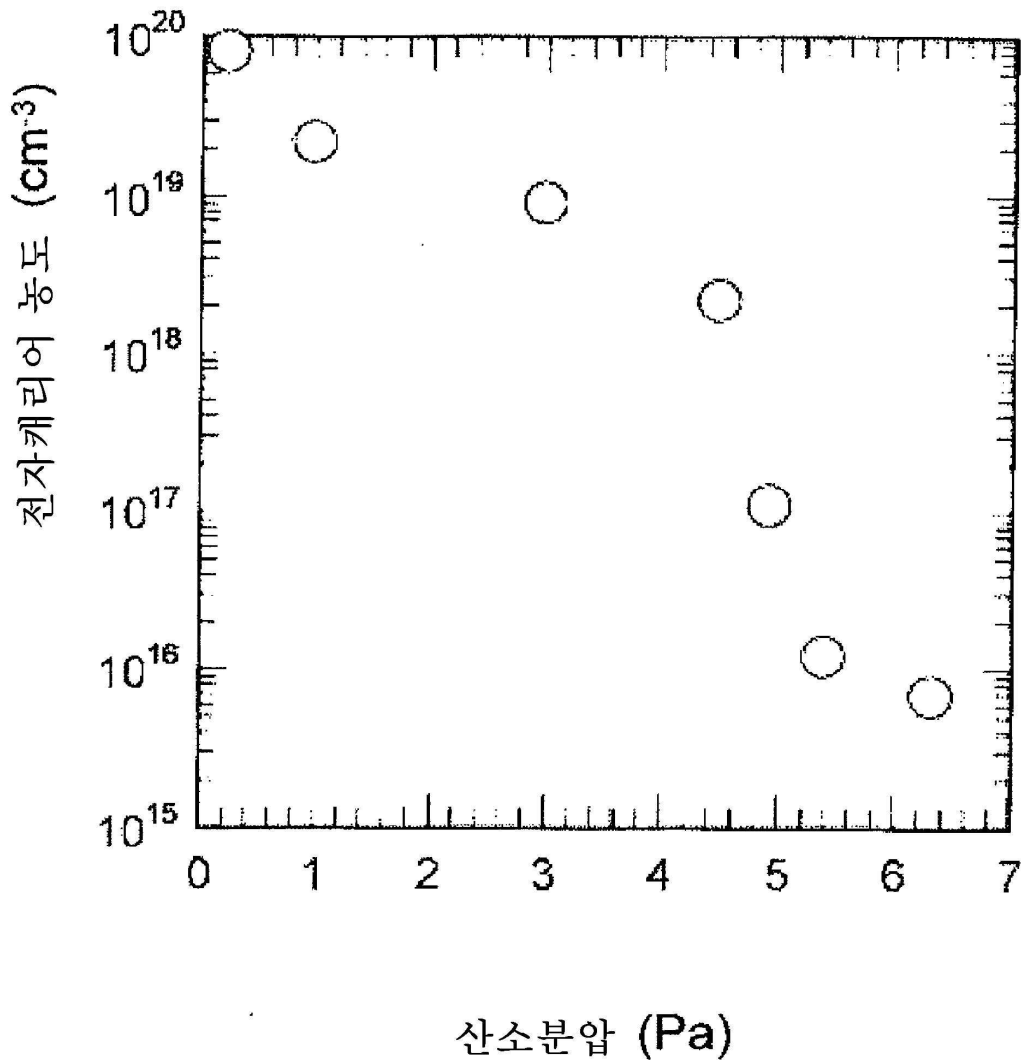
도 6은 탑 게이트형 TFT소자의 전류-전압 특성을 나타내는 그래프이다.

도 7은 펄스레이저 증착장치를 나타내는 모식도이다.

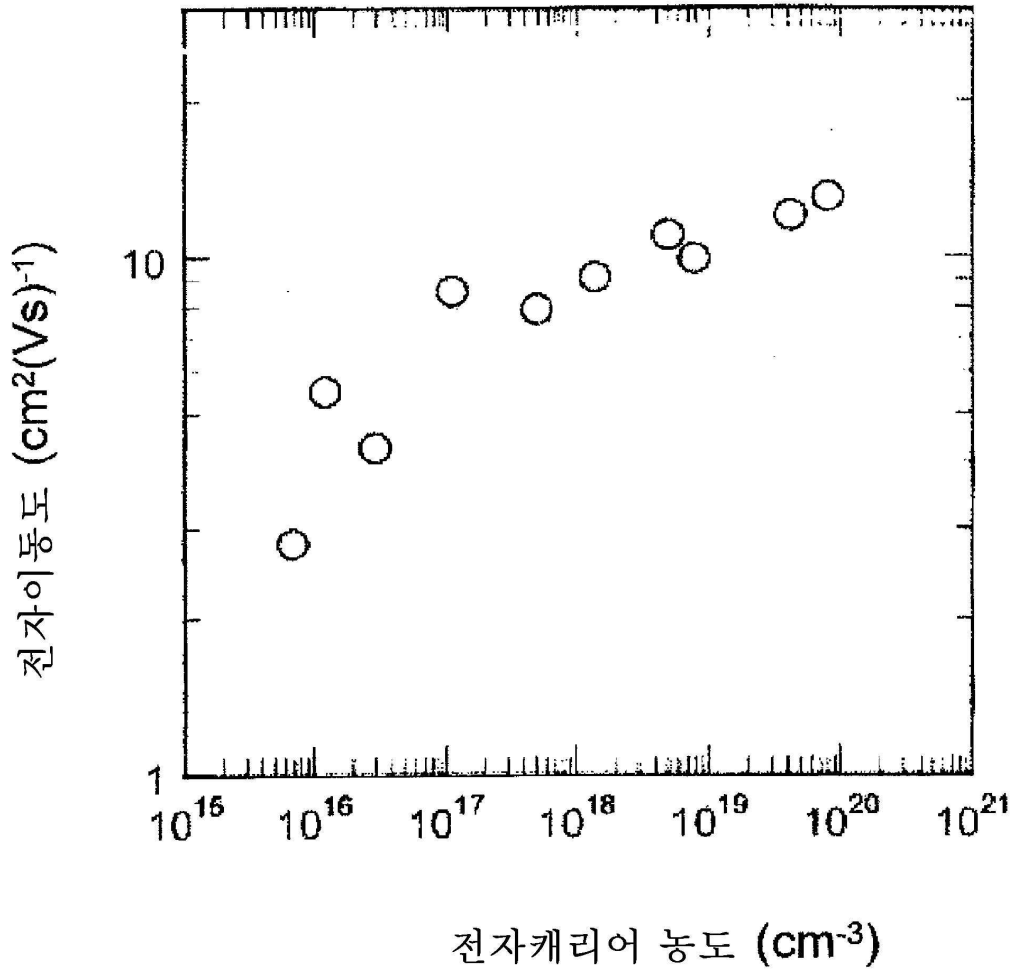
도 8은 스퍼터 제막(製膜)장치를 나타내는 모식도이다.

도면

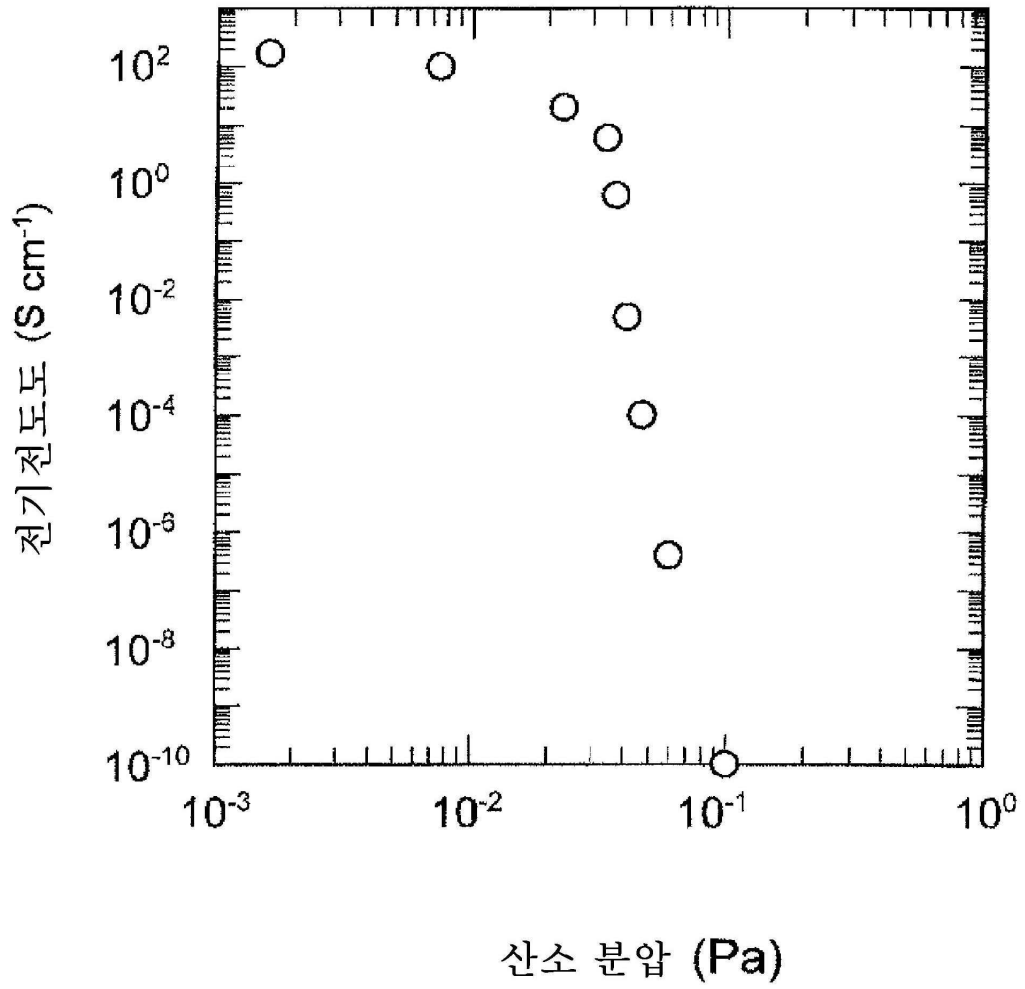
도면1



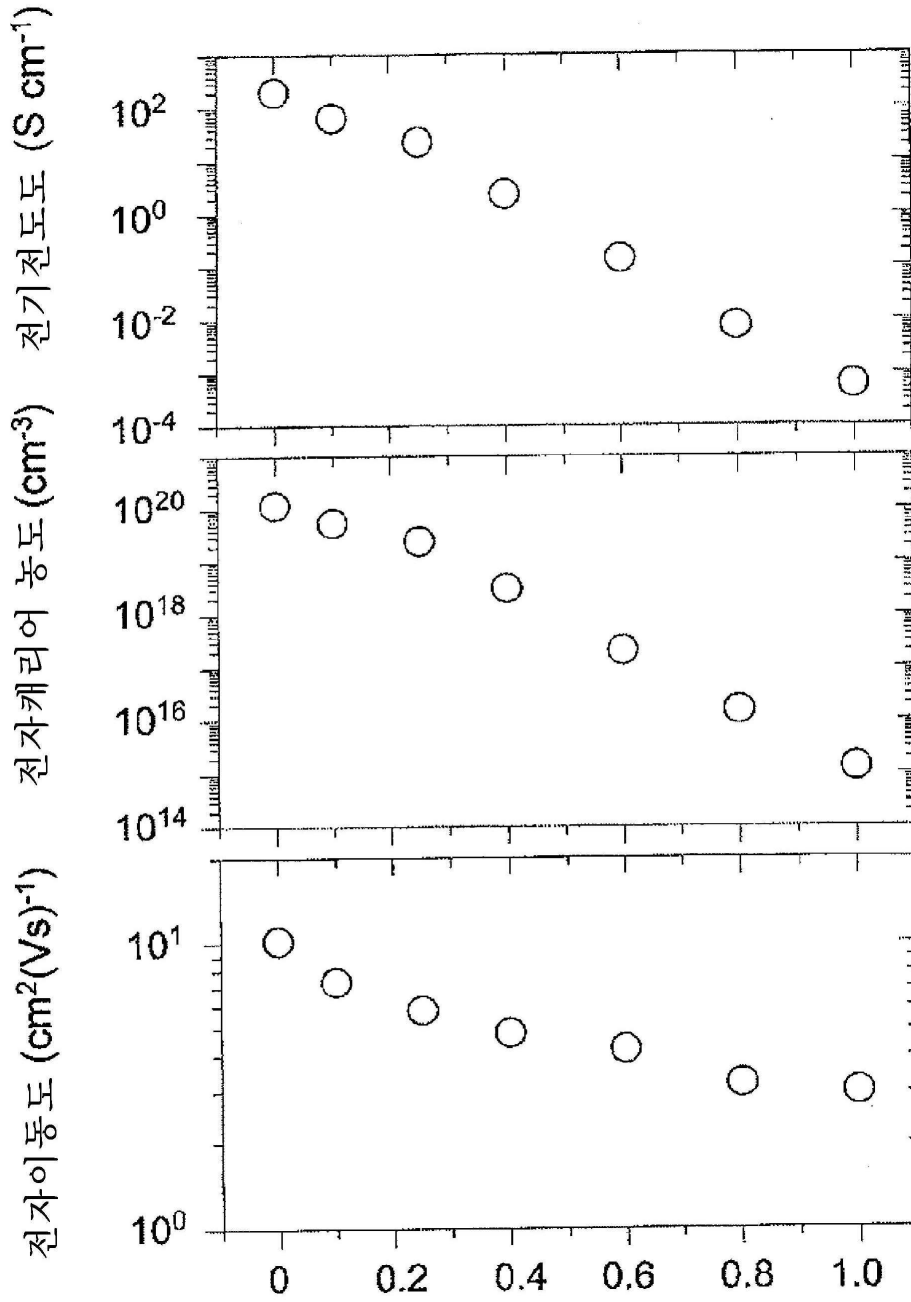
도면2



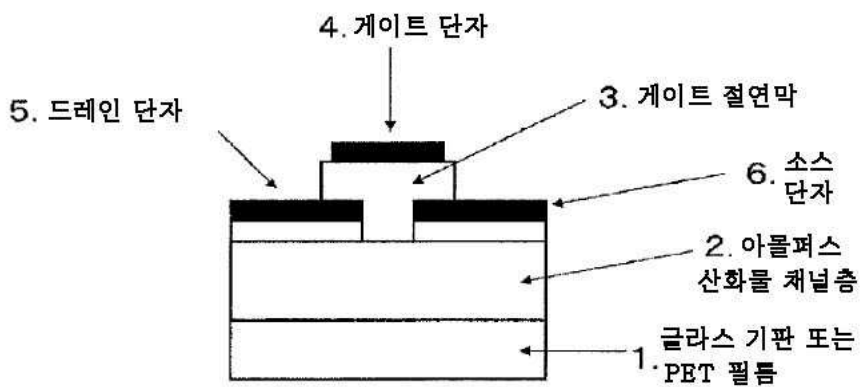
도면3



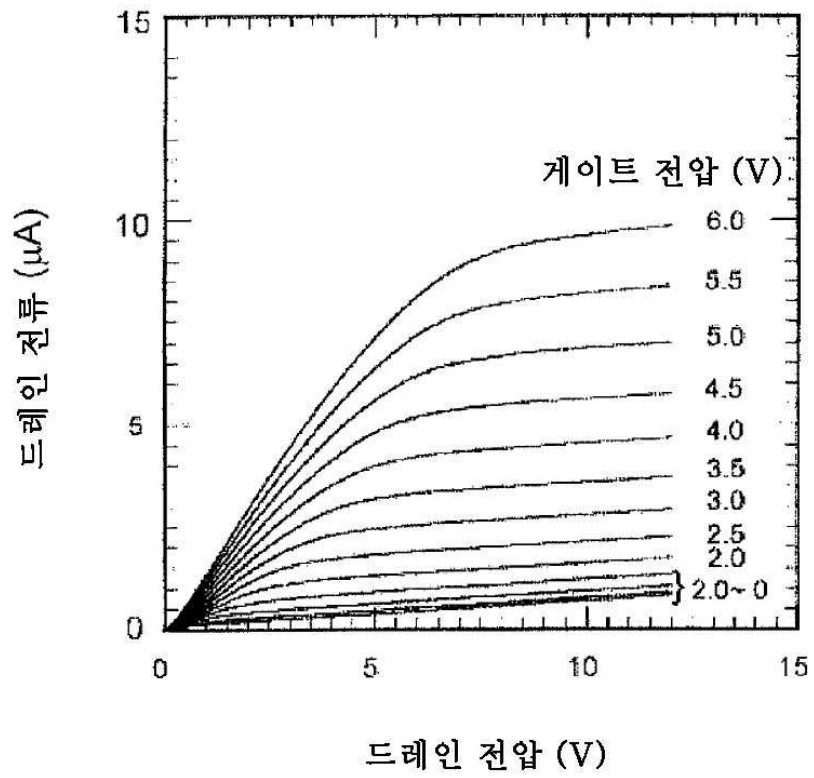
도면4



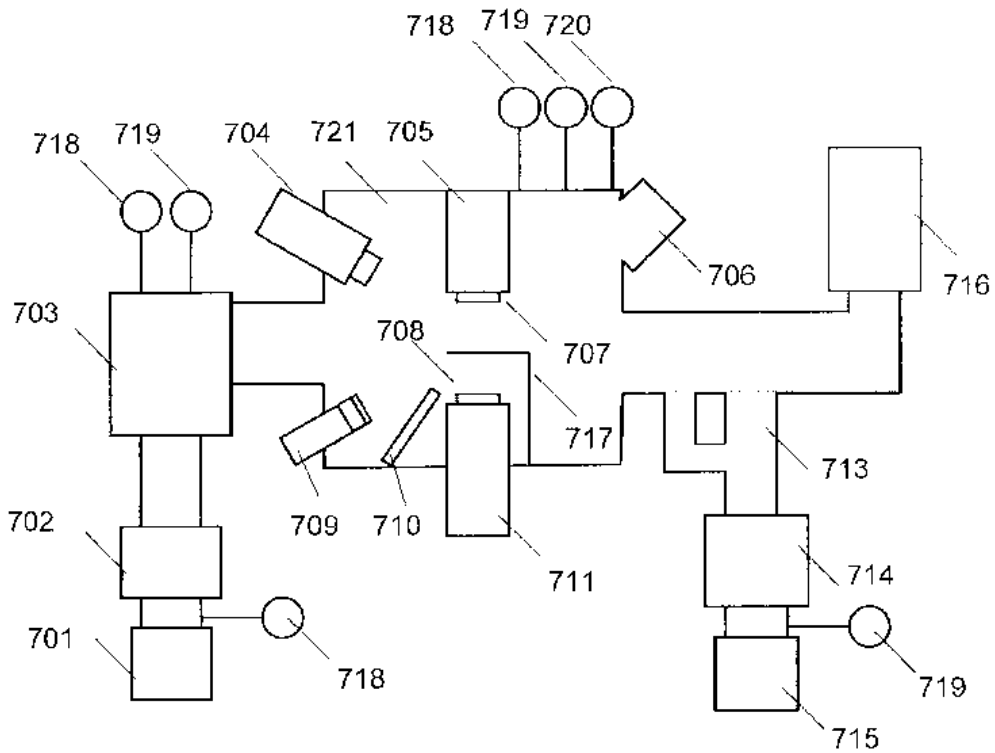
도면5



도면6



도면7



도면8

