

(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 등록특허공보(B1)

(51) . Int. Cl.⁶
 G03F 7/09
 G03F 7/11

(45) 공고일자 2005년06월02일
 (11) 등록번호 10-0458685
 (24) 등록일자 2004년11월17일

(21) 출원번호	10-1998-0706908	(65) 공개번호	10-1999-0087480
(22) 출원일자	1998년09월03일	(43) 공개일자	1999년12월27일
번역문 제출일자	1998년09월03일		
(86) 국제출원번호	PCT/US1997/003754	(87) 국제공개번호	WO 1997/33200
국제출원일자	1997년03월06일	국제공개일자	1997년09월12일

(81) 지정국

국내특허 : 아일랜드, 중국, 일본, 대한민국,

EP 유럽특허 : 오스트리아, 벨기에, 스위스, 독일, 덴마크, 스페인, 프랑스, 영국, 그리스, 이탈리아, 룩셈부르크, 모나코, 네덜란드, 포르투칼, 스웨덴,

(30) 우선권주장 60/013,007 1996년03월07일 미국(US)

(73) 특허권자 클라리언트 인터내셔널 리미티드
스위스 체하-4132 무텐츠 1 로타우스슈트라쎄 61

(72) 발명자 노아우드 로버트 에이
미국 뉴저지주 07016 크랜포드 센텐니얼 애버뉴 127

담벨 랄프 알
미국 뉴저지주 08822 플래밍تون 캠바이 레인 8

(74) 대리인 나영환
이상섭

심사관 : 김현숙

(54) 굴절율을 최적화함으로써 개선된 성능을 갖는 광흡수성 반사방지층

요약

본 발명은 반도체 산업에서 이용되는 포토레지스트 재료에 대한 스윙 곡선 진폭을 감소시키는 광흡수성 정상부 반사방지층에 관한 것이다. 코팅은 물을 기재로 할 수 있으나 반드시 그런 것은 아니다. 물을 기재로 한 코팅의 장점은 소프트 베이크된 포토레지스트에 혼합하는 일없이 도포될 수 있기 때문에 이용하기에 편리하며, 상기 코팅이 현상 단계에서 제거되므로 공정의 복잡성은 최소한으로 증가된다. 기존의 비흡수성 반사방지 코팅과 관련한 단점은 최적의 스윙 곡선 감소가 매우 낮은 굴절율에서만 달성된다는 것이다. 염료 코팅의 장점은 a) 염료가 신중하게 선택되었다면 정상부 코팅체의 굴절율이 이상 분산 효과를 이용함으로써 추가적으로 낮아질 수 있으며, b) 정상부 코트의 높은 굴절율에서 최적의 스윙 곡선 감소를 달성할 수 있다는 것이다. 이러한 2가지 효과의 결합으로서 본 발명은 스윙 곡선의 감소를 이론상의 최소 값에 근접시키고, 기존의 반사방지 정상부 코트에 비하여 실질적으로 개선시켰음을 증명하였다.

대표도

도 1

명세서

기술분야

실용적인 반도체 장치를 제조함에 있어 직면하는 문제점 중의 하나는 포토레지스트의 이미징 조사량(imaging dose)이 포토레지스트 두께에 의존한다는 점이다. 고 분해능 장치용으로서 가장 일반적으로 적용되는 약 $4\text{ }\mu\text{m}$ (마이크로미터) 이하의 레지스트 막이 이용될 경우에, 박막 간섭 효과가 레지스트 감도(resist sensitivity)의 주기적인 현상, 즉 '스윙 곡선(swing curve)'를 발생시킨다. 레지스트 감도는 막 두께의 작은 변화에도 급격하게 변화할 수 있다. 이것은 지세(地勢; topography)를 갖는 기판 상에서 이미지화 될 수 있는 레지스트 모양의 정확도를 제한하는 동시에 포커스(focus)의 외경상 깊이를 감소시킨다. g-라인에서 i-라인으로 이동함에 따라 결국 DUV 방사는 결국 기판 반사를 더욱 증가시켜 상기 문제를 가중시킨다.

배경기술

상기 문제점에 대한 종래의 해결책은 착색된 포토레지스트 재료를 이용하는 것이었다. 착색된 레지스트는 포토레지스트에 비표백 흡수(non-bleachable absorption)을 제공한다(즉, 착색된 레지스트는 Dill B 파라메타를 증가시킴). 이것은 레지스트가 염료없이 매우 투명하게 되는 완전 노광에 가까운 경우에도 레지스트 내에서 빛의 감쇠를 증가시킴으로써 스윙 곡선을 감소시킨다. 스윙 곡선과 정재파(standing wave)는 모두 염료의 첨가에 의해 감소된다.

그러나, 착색된 레지스트의 사용에는 상당한 가격이 소모된다. 매우 경미한 염료의 첨가를 제외하고 염료가 첨가된 레지스트는 애각(碍角)과 최종 분해능을 감소시킬 뿐만 아니라 노광 조사량을 크게 증가시킨다. 광학적 이유 및 화학적 이유 모두가 이러한 열화에 기여한다. 예컨대, 화학적 영향[염료의 첨가에 의하여 레지스트의 현상(development) 파라메타를 변화에 기인한 것임]은 염료의 화학 구조를 신중하게 선택함으로써 최소화될 수 있으나, 광학적 영향(보다 큰 Dill B 파라메타, 즉 비표백 흡수를 증가시킴)은 염료 첨가의 개념상 고유한 것으로서 피할 수 없다. 그럼에도 불구하고, 과거에서부터 착색된 레지스트가 사용의 용이성으로 인하여 반사와 스윙 곡선의 문제점에 대한 가장 일반적인 해결책이 되어 왔다.

지난 수년간 유기성 반사방지 코팅이 시장에 도입되어, 과거에 관용도(latitude)가 전혀 없거나 작았던 공정을 사용자가 안전하게 수행할 수 있게 하는 중요한 기술임이 수차례에 걸쳐 입증되었다. 공정의 복잡성의 증가를 최소화하는 수용성 반사방지 정상부 코팅체의 사용의 용이함으로 인하여 처리창(process window)을 증가시키고자 하는 사용자의 필연적인 선택 사항이 되었다.

도 1에 도시된 바와 같이, 빛이 박막을 통해 기판에 도달할 때에는 박막과 기판 사이의 경계뿐만 아니라 박막과 공기 사이의 경계에서 수많은 일련의 반사가 발생한다. 입사 및 출사 파장은 박막을 간섭시키며, 만일 그들의 위상 차가 π 의 짹수배일 경우 보강 간섭을 일으키고, 그들의 위상 차가 π 의 홀수배일 경우 소멸 간섭을 일으킨다. 물리학자들은 이러한 박막 스팩을 페브리-페롯 에탈론(Fabry-Perot etalon)이라 칭하고 있으며 이 이론은 잘 정립되어 있다. 이러한 고찰로부터, 레지스트의 스윙 곡선 비를 레지스트-공기 계면에서의 반사율 R_t 및 레지스트-기판 계면에서의 반사율 R_b 에 관련시키는 근사식은 다음과 같이 유도된다. [예컨대, T.Brunner, Proc. SPIE 1466, 297(1991)참조]

$$S = 4\sqrt{R_t R_b} \cdot e^{-a_r \cdot d}$$

여기서, d는 레지스트의 두께이다.

본질적으로, 정상부 반사방지층의 배후에 있는 아이디어는 도 1에서 최초 반사 진폭과 그 후 모든 연속적인 반사 진폭의 합이 180도의 위상차가 나도록 상기 층을 통과하는 빛의 위상을 변화시키는 것에 있다. 입사파 및 출사파의 진폭은 소멸 간섭하여 스윙 곡선이 사라진다. 방정식의 적절한 조작은 이러한 위상 변화에 대한 2가지의 필요 조건을 부여한다.

1. 최초 반사 진폭과 그 후 모든 연속적인 반사 진폭의 합은 반사방지층의 막 두께 t가 $t=\lambda/(4n_t)$ 의 홀수배인 경우에 서로 반대 위상을 갖는다. 여기서, n_t 는 정상부 층의 굴절율의 실수부이다.

2. 최초 반사 진폭과 그 후 모든 연속적인 반사 진폭의 합은 $n_t=\sqrt{n}$, 일 경우에 강도가 동일하게 된다. 여기서 n_t 은 포토레지스트의 굴절율이다.

전술한 수학식 1은 스윙 곡선 비에 대한 간단한 제1 근사를 제공함을 알 수 있다. 보다 정확한 처리를 채용하면, 상기한 조건들이 정확하게 부합된다 할지라도 DNP 포토레지스트상에 노광에 대한 스윙 곡선 비가 제로일 수 없다는 것을 알 수 있다. 텍사스 소재의 오스틴의 핀란드 테크놀로지(Finle Technology)사에 의해 판매되는 프로리스/2(Prolith/2) 리소그래피 시뮬레이터를 이용하여, 상기 조건에 완벽하게 일치할 경우에라도 스윙 곡선이 원래 값의 약 5%로 감소될 수 있다는 것을 알수있다(제3 실시예 참조). 만일 이러한 시뮬레이션 테이터가 직선 모양으로 삽입된다면, 예측된 나머지 스윙 비는 1%이하임을 알 수 있다. 실제로, 최적의 상황은 다소 나빠질 수 있는데, 이는 포토레지스트가 노출되는 동안 흡수율과 굴절율이 변화되어 변화되지 않은 굴절율을 갖는 정상부층을 초기 조건과 최종 조건에 동시에 일치시킬 수 없기 때문이다. 이러한 현상은 프로리스(등록 상표) 시뮬레이터에 고려되지 않고 있다.

정상부 반사방지층을 제조하기 위한 화학 물질을 찾을 경우, 제1 조건, $t=\lambda/(4n_t)$ 은 상당히 쉽게 만족될 수 있으나 제2 조건, $n_t=\sqrt{n}$, 달성은 상당히 큰 장애에 직면하게 된다. i-라인에서의 포토레지스트의 굴절율은 통상적으로 1.72 내지 1.75이며, 이것은 $n_t=1.31$ 내지 1.32의 굴절율을 갖는 반사방지 코팅을 필요로 한다. 보다 쉬운 측정을 위해, 상기 문헌은 633nm의 통상적인 계측학적 파장에서의 굴절율을 대부분 참조하며, 두 물질의 분산 반응은 동일하다는 다소 불확실한 가정을 하고 있다. 이 경우에 있어서, 굴절율 $n_t=1.64$ 및 $n_t=1.28$ 이 된다. 불행하게도, 1.28 내지 1.31 범위의 굴절율을 갖는 유기 물질을 구하는 것은 어렵다. 기지의 예는 스팬캐스트(spincast)용 용매로서의 클로로플루오로카본

(chlorofluorocarbon)과 같이 독성이 강하거나 환경적으로 받아들일 수 없는 용매를 필요로하는 대량의 불소가 함유된 테플론(teflon)계 중합체를 포함한다. 더욱이, 이러한 층의 초기 예는 현상 단계에 앞서 제2 용매 처리 단계에서 제거되어야 한다.

TAR 개념은 물을 기재로 한 현상제에 용해되는 반사방지 코팅(developer-soluble antireflective coating)의 출현으로 실용적으로 중요성을 얻었다. IBM 사의 연구원들에 의해 최초로 개발되었으며, 유럽 특허 제522,990호에 개시된 이러한 코팅은 상당히 단순화된 애플리케이션 모드를 갖는다. 코팅은 2가지의 방식으로 물로부터 포토레지스트에 직접 스핀될 수 있다.

1. '코트-베이크-코트(coat-bake-coat) 공정', 이 공정에서 레지스트가 먼저 코팅 및 프리베이크(prebake)되며, 그 다음 상부 코팅이 건식 레지스트의 정상부에 스핀된다. 즉, 제2의 베이크 단계없이 비점착성(non-tacky)이 된다.

2. '코트-코트-베이크(coat-coat-bake) 공정', 이 공정에서 정상부 코팅은 습식 레지스트 막의 정상부에서 스핀되며, 모두 함께 베이크된다.

대부분의 레지스트 재료에 대하여 단일 스핀 코터(single spin coater)를 사용하는 것도 가능하다. 왜냐하면, 통상적으로 예지 비드(edge bead)의 제거는 모든 정상부 코트 잔여물의 코터 보울(coater bowl)을 세척하도록 설정될 수 있기 때문이다. 퍼들(puddle) 또는 스프레이(spray) 현상에 있어서, 노출 후에 정상부 코트를 제거하기 위한 별도의 단계는 필요 없다. 즉, 현상제로 완전히 용해되며 현상 공정의 최초 수초 동안에 제거될 수 있다. 민감한 공정 또는 침지 현상을 위해 쇼트 물 린스(short water rinse)에 의해 정상부 코트를 제거할 수 있다.

정상부 코팅체의 수용성을 보장하기 위하여, 굴절율에 대한 몇 가지 타협이 이루어져야 한다. 결국, 물을 기재로 한 정상부 코팅체는 1.28의 최적의 굴절율을 달성하지 못한다. 즉, 뉴저지주 서머빌 소재의 AZ 포토레지스트 프로덕츠(AZ Photoresist Products)사로부터 입수 가능한 시판 재료인 AZ 아쿠아타(Aquatar)(등록 상표) 코팅은 1.41의 굴절율을 갖는다. 굴절율의 넓은 범위에 걸쳐 스윙 곡선비는 굴절율 간의 차의 절대치의 근사적인 선형 함수가 되기 때문에, 스윙 곡선을 100%가 아닌 66%로 감소시킨다. 그러나, 매우 미세한 형상의 크기 및 기타 요청이 있는 응용에 대해서는 곡선을 실용적으로 달성된 66% 이하로 더 감소시키는 것이 바람직하다. 본 발명은 흡수성 정상부 반사방지층을 사용하여 물을 기제로 한 반사방지 코팅이 갖는 목적을 달성할 수 있다는 것을 제시하며, 그러한 시스템을 디자인하고 구현하는 실질적인 방법을 제시한다.

발명의 상세한 설명

이하에서 굴절율을 복소수 $N=n-ik$ 로서 기재할 것이며, 여기서 n 은 N 의 실수부이며, 통상 굴절율이라고 칭해진다. k 는 N 의 허수부이며 광장의 함수 $a(\lambda)$ 인 흡수 계수와 $k=a(\lambda)/(4\pi)$ 의 관계를 갖는다. 여기서, k 부호는 "광학적"(혹은 물리학 대비) 관계에 따른다.

2개의 효과, 즉 이상 분산과 비반사 계수 강도의 일치를 결합하여 흡수성 정상부 반사방지층의 사용은 특히 실용적이고 유리하게 한다.

고 흡수 영역에서 굴절율의 실수부는 이상 분산을 나타낸다. 이상 분산의 개략도는 도 2에 도시되어 있다. 도시한 바와 같이, 최대 흡수치 이하의 광장 영역에서는 굴절율의 감소를 도시하지만, 그 감소의 크기는 흡수 강도와 관련되어 있다.

굴절율 $k_b=a(\lambda)/(4\pi)$ 의 실수부와 허수부 사이의 관계는 유전 상수 $\epsilon = \epsilon' - i \epsilon'' = \tilde{n}^2 = n^2 - k^2 - 2i n k$ 를 통해 크라머스-크로니그(Kramers-Kronig) 관계로 불리는 특수 힐버트 변환(Hilbert transform)에 의해 주어진다.

$$\epsilon'(\omega) - 1 = \frac{2}{\pi} P \int_0^{\infty} d\omega' \frac{\epsilon''(\omega') \omega'}{\omega'^2 - \omega^2}$$

$$\epsilon''(\omega) = -\frac{2w}{\pi} P \int_0^{\infty} d\omega' \frac{\epsilon'(\omega') - 1}{\omega'^2 - \omega^2}$$

여기서, $\omega=c/(2\pi\lambda)$ 이며, P 는 적분의 주부(principal part)가 취해짐을 나타낸다.

그러나, 수학식 2의 실제 적용은 원칙적으로 전체 전자기적 스펙트럼에 걸친 흡수 스펙트럼을 알아야하기 때문에 매우 번거로울 수 있다. 실제로는, 상당히 대칭적인 흡수 대역에 있어 최대 흡수치에서 이상 분산의 기여도는 대략 제로이고, 국부적인 최대치가 장파장측상의 흡수 대역의 $1/2$ 높이 값 직전에 발생하고, 국부적인 최소치는 단파장 측상의 $1/2$ 높이 값 직후에 발생한다고 알려져 있다. 이러한 위치는 도 2의 λ_{max} , λ_+ 및 λ_- 로서 표시되어 있다.

적절한 염료를 신중히 선택함으로써, 굴절율의 실수부가 목표 광장, 예컨대 리소그래피적으로 중요한 365nm 및 435nm의 수은 i-라인 또는 g-라인 대역 또는 248nm 및 193nm의 KrF 및 ArF 엑시머 레이저 광장에서 강하게 억제되도록 흡수 대역의 $1/2$ 폭과 최대 흡수치를 선택할 수 있다. 원칙적으로, 굴절율의 실수부의 임의 값은 이상 분산을 이용하여 거의 달성될 수 있다. 즉, 강한 흡수성 물질(예, 약 250cm^{-1} 의 카드뮴 슬파이드에 대하여)에 대하여 1 이하의 값으로 낮추거나 40 이상의 값으로 올릴 수 있다.

실제로, 관심 영역(450nm-180nm)의 유기 염료에 대하여 흡수 값 $a=20\mu\text{m}^{-1}$ 이상, 또는 k 값 0.6 내지 0.7 이상을 달성하기는 곤란하다. 물질이 막형이어야 한다는 부가 조건이 추가된다면, 중합체적으로 결합되는지 또는 염료를 필름 형성 물질에 혼합한 형태이든 시간에 물질의 질량 중 최대치인 약 60% 내지 70%의 통상적으로 활성 염료로 이루어진다. 이것은 실질적인 목적에 있어서 통상적인 a 값은 $12\mu\text{m}^{-1}$ 내지 $14\mu\text{m}^{-1}$ 의 최대치로 제한된다는 것을 의미한다.

예컨대, 발명자에 의해 알려진 UV 근방에서 가장 강한 흡수성을 가진 막을 형성하는 유기 물질이며, 뉴저지 서머빌 소재의 AZ 포토레지스트 프로덕츠사로부터 이용할 수 있는 시판되는 반사방지 바닥층, AZ BARLi(등록 상표) 코팅은 365nm에서 $a=11.5\mu\text{m}^{-1}$ 의 흡수성을 가지며, 이것은 0.334의 k 값에 대응한다. 분광 엘립소메트리(spectroscopic ellipsometry)에 의한 상기 물질의 분산 곡선 측정을 통해 굴절율 $n(\lambda_+)-n(\lambda_-)$ 의 실수부의 총 변화가 약 0.32라는 것을 알 수 있다.

AZ BARLi(등록 상표) 코팅은 용매를 기재로 하고 물에 녹지 않지만, 이것은 약 $\Delta n=0.16$ 의 굴절율 감소가 유기성 막 형물질로서 달성될 수 있다는 것을 입증하고 있다. 1.45 및 그 이하의 굴절율을 갖는 다수의 유기 물질의 이용하여 막에 흡수를 제공하고 이상 분산을 이용함으로써 최대 스윙 곡선의 감소에 대하여 최적 범위로 굴절율의 실수부를 낮추는 것이 가능해진다. 이러한 방법은 이하에 설명하겠지만, 정상부 코팅체를 흡수함에 있어 최적 굴절율의 범위는 비흡수성 물질에 대한 것 보다 흡수성 물질이 더 높다는 사실에 의해 뒷받침된다.

흡수성 정상부 반사방지층에 있어서, 제1 반사와 정상부층으로부터 굴절되는 모든 광선의 합의 절대치의 일치는 흡수성 매체 내의 광선의 감쇠에 의해 부분적으로 제공된다. 일부 빛은 흡수되어 소실되며, 상기 강도 일치 조건을 만족시키기 위해서 상기 합은 전보다 작아야 한다. 흡수성 정상부 층의 최적의 굴절율은 비흡수성 층의 굴절율보다 커야만 하며, 정상부 층의 흡수성이 클수록 정상부 층의 굴절율의 보상을 위하여 커져야만 한다. 이러한 현상은 "비반사성 강도의 일치화"로서 전술한 바와 같이 언급된다.

일본 특허 출원(소니사에 1995년 6월 16일자로 허여된 일본 특허청 공개 공보 제7-153682호; 이하 "소니 출원"이라 칭한다)은 DUV 리소그래피 용융[180nm 내지 300nm]에 착색된 반사방지 코팅을 이용하는 리소그래피 공정을 개시하고 있다. 소니 출원은 반사방지체/레지스트 막 스택의 반사율 모델에 기초한 염료층에서의 빛 감쇠 효과를 설명하고 있다. 그러나, 정상부 반사방지층의 최적의 굴절율 또는 그 근방의 굴절율에 도달하기 위하여 이상 분산을 이용하는 것은 개시하지 않고 있다.

광흡수성 정상부 반사방지층에 대한 최적 조건이 무엇인지 설명하겠다. 흡수성 매체에 있어서, 비흡수성 정상부층에 대해 쟝션 1.2에 주어진 것과 같은 최적 조건이 유도될 수 있는 공식은 다소 복잡해 질 수 있다. 그러므로, 최대의 스윙 곡선 감소에 대한 최적의 막 성질(두께, 흡수, 굴절율)을 계산하기 위해 프로리스/2와 같은 수치적 시뮬레이터를 이용하는 것이 편리하다.

제4 실시예로부터 알 수 있는 바와 같이, 최적의 굴절율은 정성적 변수에 기초로 하여 전술한 바와 같이 실제로 정상부 반사방지층의 흡수와 함께 증가한다. 테이블 3과 도 8은 굴절율의 실수부 및 허수부 사이의 관계와 정상부층의 두께에 대한 정량적 분석을 제공한다.

광흡수성 반사방지 정상부 층의 실용적 구현

레지스트와 정상부 반사방지체의 광학적 성질 사이의 개선된 일치를 달성하기 위하여 이상 분산을 사용하고 있는 착색된 정상부층의 이용은 어떤 특정한 캐스팅 용매(casting solvent)에 한정되지 않는다. 물은 이용의 편리함과 환경 친화성 때문에 캐스팅 용매로서 바람직하나, 용매를 기재로 한 반사방지 정상부 코팅체를 이용할 수도 있다. 그 다음에, 이러한 물질에 대한 용매는 포토레지스트와 혼합하지 않도록 선택되거나 또는 층을 광학적으로 중성이 되게 하는, 바람직하게 $\lambda/(2n)$ 두께의 투명한 장벽 층에 의해 혼합의 문제를 억제할 수 있는 방법으로 선택될 수 있다. 통상적으로, 그러한 용매로 주조된 반사방지 정상부 층은 현상 전에 용매 린스 단계에서 제거될 수 있다. 이 점과 관련한 공정의 복잡성을 줄이기 위해, 정상부층이 용매로부터 스펀 주조되지만 현상액에서 용해될 수 있도록 정상부층을 설계하는 것을 고려할 수 있다.

광학적 목적을 위하여, 정상부 반사방지체 막은 복소 굴절율과 두께(막이 균일하다는 것을 가정)에 의해 완전히 특징지어진다. 따라서, 반사방지층에 흡수를 도입하는 화학적 매체는 중요하지 않다. 즉, 염료가 그 자체로 막을 형성하는 중합체 물질로서 도입되든지 흡수가 중합체 막 형성제에 첨가된 단량체 염료에 의해 야기되든지 간에, 광학적 상수가 동일하면 스윙 곡선 감소 작용이 동일해진다. 제1 실시예는 폴리아크릴 산 막 형성제의 수용액, 저 굴절율의 퍼플루오리네이트 계면 활성제 및 수용성 염료(FD&C Yellow#5)로 이루어진 정상부 반사방지층을 설명한다. 상기 성분의 상대비는 $a=4\mu\text{m}^{-1}$ 를 갖는 막을 형성하도록 선택되었다. 분광 엘립소메트리(도 3)에 의해 얻어지는 막의 분산 곡선은 i-라인 노광에 대하여 이상 분산 효과를 이용함으로써 막의 굴절율이 최적의 값에 거의 일치되고 있음을 나타내고 있다. 366nm에서 $n=1.339$ 의 값은 제3 실시예에서 흡수성 정상부 반사방지체에 대한 최적의 굴절율로서 얻어진 최적의 값보다 사실상 낮다. 최적의 일치는 용액에 첨가된 염료의 양을 낮춤으로써 달성될 수 있다.

제1 실시예는 이상 분산의 효과가 최적의 광학 상수를 달성하는 데 이용될 수 있다는 것을 나타내고 있으며, 제3 실시예는 착색된 정상부 반사방지체의 유리한 효과를 나타내고 있다. 사용된 방법은 투명한 정상부 반사방지체의 잘 알려진 경우에 대하여 제2 실시예에서 테스트 및 확인된다. 마지막으로, 제4 실시예는 설정된 착색된 반사방지체에 대한 최적의 조건을 $\{n, k, t\}$ 값으로 정의한다.

본 발명의 요약

본 발명은 반도체 산업에서 이용되는 포토레지스트 재료에 대한 스윙 곡선의 진폭을 줄이는 광흡수성 정상부 반사방지층 및 그 이용 방법에 관한 것이다. 이 광흡수성 정상부 반사방지층은 도 2에 도시한 바와 같은 분산 곡선의 모양을 갖는다는

점에 특징이 있으며, 이것은 리소그래피적으로 유용한 파장 범위 내의 일점에서 음의 기울기를 갖는 것을 뜻한다. 이 코팅은 물을 기재로 할 수 있으나, 반드시 그렇지만은 않다. 물을 기재로 한 코팅은 소프트베이크된 포토레지스트에 혼합하는 일없이 도포될 수 있으며, 현상 단계에서 제거되기 때문에 공정의 복잡성이 최소한으로 증가된다는 점에서 이점이 있다.

기존의 비흡수성 반사방지 코팅과 관련한 문제점은 최적의 스윙 곡선 감소가 정상부 코팅체의 매우 낮은 굴절율에서만 달성된다는 것이다. 본 발명은 이상 분산을 이용하여 반사방지층의 굴절율을 정상부 반사방지층으로서 개선된 성능을 보이는 범위로 변경하는(동상적으로, 낮추는) 방법으로서 염료 코팅을 제시한다. 이 염료 코팅의 이점은 a) 염료가 신중하게 선택될 경우 정상부 코팅체의 굴절율은 이상 분산 효과의 이용으로 낮아질 수 있고, b) 정상부 코팅체의 보다 높은 굴절율에서 최적의 스윙 곡선 감소의 달성이 가능하다는 데 있다. 이러한 2가지 효과의 결합에 의해, 본 발명은 스윙 곡선을 이론상의 최소값에 근사하도록 감소시킬 수 있는데, 이것은 기존의 반사방지 정상부 코팅체에 비해 상당히 개선된 점이다.

다음의 실시예들은 본 발명을 이용하기 위한 상세한 설명을 제공한다. 하지만, 이러한 실시예는 본 발명의 범위를 한정하거나 제한하려는 의도가 아니며, 본 발명을 이행하기 위해 반드시 이용해야만 하는 조건, 파라메타 또는 값들로서 이해되어서는 안된다.

도면의 간단한 설명

도 1은 정상부 반사방지 코팅의 동작 원리의 개략도로서, 입사선은 일정 각도로 도시함.

도 2는 굴절율의 실수부에서의 이상 분산 효과를 나타낸 개략도.

도 3은 제5 실시예의 정상부 반사방지층 합성물에 대한 분산 곡선.

도 4는 스윙 곡선 비의 그래프.

도 5는 스윙 비의 등고 그래프.

도 6은 비흡수성 반사방지층에 대한 스윙 곡선 비의 그래프.($a=4\mu\text{m}^{-1}$)

도 7은 정상부 반사방지층의 두께 및 $a=4\mu\text{m}^{-1}$ 굴절의 함수로서 스윙 비의 등고 그래프.

도 8은 n과 k 사이의 단일 그래프 관계.

도 9는 제5 실시예의 PVA/염료 A 고체막에 대한 분산 곡선.

실시예

제1 실시예 : 정상부 반사방지층의 굴절율을 낮추기 위해 이상 분산을 이용하는 방법

시판되는 반사방지 AZ 아쿠아타(Aquatar)(등록 상표) 코팅은 노란색의 염료의 시판되는 용액과 1.5 대 2.5의 중량비로 혼합되었다. 이용된 염료는 타르트라진(tartrazine)으로도 알려진 에프 디 앤드 시 엘로우 넘버 5(FD&C Yellow No.5)의 주 활성 성분인 맥코르미 푸드 엘로우(McCormick Food Yellow)이다. 이 맥코르미 푸드 엘로우(McCormick Food Yellow)는 에틸렌 글리콜(ethylene glycol) 등의 비염료 성분뿐만 아니라 소량의 알루라 레드 푸드(Allura Red food) 염료를 포함한다. 그 결과로 생긴 혼합물은 약 300nm 코팅을 갖도록 실리콘 웨이퍼 상에서 스핀되었다, 밤새도록 보관한 후에, 두께뿐만 아니라 굴절율의 실수부 및 헤수부가 SOPRA ES4G 분광 엘립소메트리의 분광 엘립소메트리에 의해 측정되었다. 두께는 카우치 모델(Cauchy model)을 분산 곡선의 긴 파장 부분에 적용함으로써 먼저 측정되었으며, 여기서 k는 UV 스펙트럼 측정에서 제로가 된다는 것을 알 수 있었다. 그 다음에, 알려진 두께를 토대로 n과 k에 대한 분산 곡선이 700nm 내지 220nm의 전 스펙트럼의 범위에 대하여 측정되었다(도 3 참조). n에 대한 분산 곡선은 도 2에서 도시된 오목부를 나타내며, 그 최소값은 366nm의 파장에서 $n=1.339$ 의 값으로 나타난다는 것이 확인되었다. k 분산 곡선에서의 최대값은 412nm에서 $k=0.136$ 의 값으로 나타났다. 이러한 파장에서 AZ 아쿠아타(Aquatar)(등록 상표) 코팅의 굴절율은 모드 결합 실험에 의해 약 1.42로 측정되었다. 결국, 굴절율은 염료의 추가에 의해 0.08의 값만큼 떨어졌다.

제2 실시예 : 비흡수성 정상부 반사방지체($a=0 \mu\text{m}^{-1}$)에 대한 스윙 곡선 비의 프로리스/2 계산(비교 실시예)

인-라인 노광에서 착색되지 않은 반사방지체에 대한 스윙 곡선의 감소는 프로리스/2(PROLITH/2) 리소그래피 시뮬레이터 프로그램에 의해 계산되었다. 365nm에서 레지스트의 굴절율이 1.7161로 설정된 변화가 뉴저지주 서머빌 소재의 AZ 포토레지스트 프로덕츠사로부터 입수 가능한 AZ7500 프로그램에 포함된 파라메타 세트에 이용되었다. 반사방지체는 그 A 및 B 파라메타를 '0'으로 설정함으로써 비흡수성이 되었다. 스윙 곡선(오픈 포인트 조사량 vs 레지스트 두께)은 프로그램이 포함된 다중 실행 특성(program's nested multiple run feature)을 이용하여 0.040 μm 내지 0.080 μm 의 반사방지체 막 두께에 대하여 계산되었다. 이 데이터는 ASC II 파일로 저장되고, 마이크로소프트 엑셀 스프레드 시트(Microsoft Excel spread sheet)로 옮겨진다. 프로그램 SOLVER 기능을 통한 비선형 최소 이승 피트(non-linear least squares fit)를 이용하여, 아래의 스윙 곡선식을 얻을 수 있다.

$$E = a \cdot \cos\left(\frac{4\pi}{\lambda} n, t + c\right) + d \cdot t + e$$

여기서, a, c, d 및 e 는 일치 파라메타(fit parameter)이며, t 는 레지스트 막 두께이다. 초기 조건으로서 적절한 위상 파라메타 c 를 선택하여 스윙 진폭이 항상 포지티브가 되어야 한다는 점을 제외하고 파라메타의 일치는 무제한으로 수행되었다. 그 다음에, 얻어진 "a" 파라메타는 정상부 반사방지체 없이 레지스트의 스윙 곡선의 "a" 파라메타에 의해 나누어진다. 이 분석 결과는 테이블 1에 나열하였다.

[표 1]

테이블 1: 정상부 반사방지체의 막 두께와 비흡수성 정상부 층에 대한 굴절율의 함수인 (정상부 반사방지체 층이 없는 레지스트에 대한) 상대 스윙 곡선비, 모든 수치는 %이며, 계산의 상세한 설명은 본문 참조.

t [μm]	굴절율										
	1.26	1.28	1.3	1.31	1.32	1.34	1.36	1.38	1.4	1.41	1.42
0.04	61.65	59.78	57.95	57.79	56.83	55.99	55.15	55.63	55	55.2	55.48
0.045	53.16	50.6	49.17	48.16	47.39	46.61	46	45.87	46.49	46.91	47.66
0.05	43.99	41.69	39.24	38.32	37.71	36.41	36.61	36.76	38.09	38.25	39.57
0.055	34.73	32.02	29.01	28.08	27.31	26.87	27.01	28.21	30.14	31.49	33.46
0.06	26.06	22.27	18.63	18.11	16.88	16.88	18.59	21.26	24.54	26.4	29.08
0.065	17.99	13.23	8.6	7.65	7.04	9.08	13.32	18.81	23.9	26.65	29.13
0.07	13.51	7.86	2.73	3.52	5.66	10.99	16.61	21.99	28.05	30.29	32.96
0.075	15.68	12.89	13.45	14.46	16.16	20.34	25.18	29.85	35.19	38.01	40.6
0.08	22.73	22.22	23.95	25.41	26.84	30.35	34.93	39.3	43.97	46.26	48.84

스윙 곡선 비의 최소값은 $0.07\mu\text{m}$ 의 막 두께, 1.30 내지 1.31의 굴절율에서 얻어지므로 배경 기술 부분에서 설명한 반사방지체 모델에 양호하게 일치함을 알 수 있다. 반사방지체 막 두께에 대한 스윙 곡선 그래프(도 4 참조)의 2개 분기를 선형 외삽하면 $0.0687\mu\text{m}$ 의 막 두께에서 0.6%의 교점이 생긴다. $a=0$ 일 때, TAR 두께와 굴절율의 함수로서 스윙비의 등고 그래프가 도 5에 도시되어 있다.

AZ 아쿠아타(등록 상표) 코팅의 굴절율(365nm에서 $n=1.42$)에서의 비교에 의해, 대략 $0.063\mu\text{m}$ (마이크로미터)의 최적의 막 두께에 대하여 29%의 스윙 곡선 비를 관측할 수 있다.

제3 실시예 : 흡수율 $a=4\mu\text{m}^{-1}$ 를 갖는 착색된 정상부 반사방지체에 대한 스윙 곡선 비의 프로리스/2 계산

정상부 반사방지층의 B 파라메타가 $4\mu\text{m}^{-1}$ 의 값으로 설정되어 정상부 층이 흡수성을 띤다는 차이점을 제외하고 제2 실시예의 계산이 반복되었다. 이러한 B 파라메타는 0.116의 값 k 에 대응한다. 결과는 아래 테이블 2에 개시하였다.

최소값은 높은 굴절율로 이동하여, 현재 $n=1.36$ 근방에서 발견됨을 테이블 2를 통해 알 수 있다. 동시에, 최적의 정상부의 두께는 $0.050\mu\text{m}$ 내지 $0.55\mu\text{m}$ 로 감소되었다. 반사방지체 막 두께에 대한 스윙 곡선의 2개의 분기를 선형 외삽(예, 도 6)하면 $0.0520\mu\text{m}$ 의 막 두께에서 0.7%의 교점이 생긴다. $a=4\mu\text{m}^{-1}$ 일 때 TAR 두께 및 굴절율의 함수인 스윙 곡선비의 등고 그래프가 도 7에 도시되어 있다.

[표 2]

테이블 2: $K=0.116$ 을 갖는 정상부 층에 대한 굴절율과 정상부 반사방지체의 막 두께의 함수인 (정상부 반사방지체 층이 없는 레지스트에 대한) 상관 스윙 곡선비. 모든 수치는 %이며, 계산의 상세한 설명은 본문 참조.

d [μm]	굴절율									
	1.26	1.28	1.30	1.32	1.34	1.36	1.38	1.40	1.42	
0.04	43.89	40.90	37.92	35.26	33.14	31.51	30.71	30.73	31.82	
0.045	34.31	30.31	26.31	22.74	20.29	19.00	18.91	20.21	22.73	
0.05	29.67	24.26	18.84	13.10	8.25	5.87	8.23	12.58	17.91	
0.055	25.78	20.28	14.77	9.82	6.85	8.31	12.42	18.03	23.65	
0.06	30.66	26.72	22.78	20.20	19.44	21.09	24.27	28.19	32.99	
0.065	36.86	34.48	32.11	31.41	32.47	34.36	37.04	40.67	45.23	
0.07	47.92	46.33	44.73	44.69	45.53	47.41	50.08	53.15	56.98	
0.075	57.73	56.98	56.22	56.39	58.00	59.73	61.26	65.50	68.99	
0.08	69.62	69.34	69.06	69.74	71.10	73.04	75.50	77.76	80.99	

이러한 결과는 최적의 착색된 정상부 반사방지체에 의한 스윙 곡선의 감소가 최적의 착색되지 않은 정상부방지체와 거의 동등하다는 것을 나타낸다. 최적의 착색된 반사방지체는 최적의 동작 점이 높은 굴절율에 위치된다는 추가의 이점을 제공한다. 그러나, 정상부 층의 흡수에 의한 광 소실의 결과로 착색되지 않은 정상부 반사방지체에 비해 필수 조사량이 증가되는 단점이 있다. 만일, 정상부 반사방지체가 없는 AZ 7500(등록 상표)의 $0.8\mu\text{m}$ 에서 제1 스윙 곡선의 최초 최대치에 요구

되는 도즈 투 클리어(dose to clear)를 100%라 하면, 착색되지 않은 정상부층이 있는 경우 도즈 투 클리어는 약 70%로 계산되며, $a=4\mu\text{m}^{-1}$ 인 착색된 반사방지체의 경우 97%로 계산되는데, 여기서 후자의 2개는 제2 및 제3 실시예에서 결정된 정상부 반사방지체의 최적의 광학적 성질에 대한 것이다.

제4 실시예 : 최적의 스윙 곡선 감소에 대한 n, k 및 t사이의 관계

제2 및 제3 실시예에서 설명된 지침을 이용하여, 정상부층의 굴절율 성분 n_T 와 k_T 뿐만 아니라 정상부 반사방지체 막 두께 t의 다양한 값에 대한 일련의 계산을 수행하여 그들 사이의 관계를 결정할 수 있다. 7 포인트의 샘플을 이용하여, n_T 및 t 뿐만 아니라 k_T 및 t가 이하 식,

$$t = -0.3034 n_T + 0.4647, \quad r^2 = 0.9993$$

$$t = 0.0666 \exp(-1.973 k_T), \quad r^2 = 0.9984$$

의 관계에 있다면, 거의 제로의 스윙 곡선 비가 얻어질 수 있음을 알 수 있다. 상기 수학식 4가 결합되면,

$$n_T = 1.5316 - 0.2195 \exp(-2 k_T)$$

의 관계식이 산출된다. 여기서, 지수 1.973은 2로 대체되었다. 도 8은 노모그래프(nomograph)에서 k_T 대 N_T 의 일치가 탁월한 특성을 나타낸다(데이터는 테이블 3을 참조).

[표 3]

테이블 3 : 정상부층의 다양한 흡수율에 대한 최적의 굴절율 및 막 두께. 결과는 365nm 노광 파장에서 프로리스/2 계산을 이용한 것임.

$a [\mu\text{m}^{-1}]$	k	n	$t [\mu\text{m}]$ (k 로부터)	$t [\mu\text{m}]$ (n 으로부터)	t 평균 ² [μm]
0	0.000	1.320	0.067	0.064	0.065
2	0.058	1.352	0.059	0.054	0.057
4	0.116	1.372	0.053	0.048	0.051
6	0.174	1.389	0.047	0.043	0.045
8	0.232	1.405	0.042	0.038	0.040
10	0.290	1.419	0.037	0.034	0.036
12	0.349	1.431	0.033	0.030	0.032

1. 시뮬레이션 파라메타는 제3 실시예를 참조한다.
2. 더 많은 자릿수가 계산에 이용되므로 실제 평균 값은 표현된 평균과 다를 수 있다.

제5 실시예 : 이론적 예측에 대한 실제적인 검증

사우스 카롤리나, 스파르탄버그 소재의 밀리肯 케미컬(MilliKen Chemical)사로부터 입수 가능한 염료 용액(DYE A, 90 부분 w/w)은 폴리비닐 알코올 바인더, MW ca.8-9,000의 10 부분 w/w를 이용하여 365nm에서 $k=0.05595$ 및 $n=1.4905$ 의 광학 상수를 가지며 520Å의 두께를 제공하기 위한 수용액으로 준비되는데, 상기 과학 상수는 제이. 에이. 울람 인코오포레이티드사(J.A Woollam, Inc.)의 각각 분광 엘립소메터를 이용한 분광 엘립소메트리에 의해 결정된 $a=1.926\mu\text{m}^{-1}$ 의 흡수율에 대응한다. 최소치의 위치가 365nm 노광 파장과 거의 완전히 일치하지만(예, 도 9), 염료의 흡수율이 제4 실시예에 의해 나타낸 최적의 범위에 도달하기엔 충분하지 않다. 따라서, 이러한 공식화가 스윙 곡선을 완전히 억제할 것으로 기대되지 않는다.

전술한 바와 같은 두께와 광학 상수를 갖는 막에 대하여, 프로리스(등록 상표) 리소그래피 시뮬레이터는 뉴저지주 서머빌 소재의 AZ 포토레지스트 프로덕츠사의 시판 제품인 AZ 7800 레지스트(등록 상표)의 도즈 투 클리어 스윙비의 반사방지 막이 없을 때에 측정된 약 46%의 값으로 감소될 것이 예측된다. 니콘(Nikon) i-라인 스텝퍼(stepper)(2.38% TMAH 용액)에서 얻어진 실험적인 도즈 투 클리어 스윙 곡선은 스윙 진폭의 55% 감소를 나타내었다($\pm 18\text{mJ/cm}^2$ 내지 $\pm 10\text{mJ/cm}^2$). 이러한 차이는 매우 높은 염료의 농도에 의해 발생할 수 있는 반사방지 막의 낮은 코팅 균일성에 의해 기인한 것이다.

(57) 청구의 범위

청구항 1.

흡수성 막을 포함하는 포토레지스트의 정상부 반사방지 코팅에 있어서,

조사 파장으로부터의 광흡수에 의해 야기된 이상 분산이 상기 정상부 반사방지 코팅의 굴절율의 실수부 및 허수부를 공기에 대한 막 스택의 반사율이 최소로되는 조건에 근접시키는 것을 특징으로 하는 정상부 반사방지 코팅.

청구항 2.

제1항에 있어서, 흡수의 강도와 위치는 상기 조사 파장에서 상기 반사방지 코팅에 대한 굴절율의 실수부가 감소되도록 선택되는 것을 특징으로 하는 정상부 반사방지 코팅.

청구항 3.

제1항에 있어서, 상기 이상 분산 및 상기 굴절율의 실수부를 야기시키는 흡수는 $n_T = a - b \exp(-c k_T)$ 과 관련이 있으며, 여기서 n_T 는 상기 굴절율의 실수부이고, k_T 는 상기 굴절율의 허수부이며, $a = 1.53 \pm 0.153$, $b = 0.21 \pm 0.021$ 및 $c = 2 \pm 0.1$ 인 것을 특징으로 하는 정상부 반사방지 코팅.

청구항 4.

제1항에 있어서, 상기 조사 파장은 150nm 내지 550nm의 범위 내에 있는 것을 특징으로 하는 정상부 반사방지 코팅.

청구항 5.

제1항에 있어서, 물로부터 주조 가능한 것을 특징으로 하는 정상부 반사방지 코팅.

청구항 6.

제1항에 있어서, 물에 용해되는 것을 특징으로 하는 정상부 반사방지 코팅.

청구항 7.

제1항에 있어서, 알칼리성 수용액에 용해되는 것을 특징으로 하는 정상부 반사방지 코팅.

청구항 8.

제1항에 있어서, 단량체 염료 및 중합체 또는 중합체의 혼합물을 포함하는 것을 특징으로 하는 정상부 반사방지 코팅.

청구항 9.

제1항에 있어서, 단량체 염료 및 흡수성 중합체를 포함하는 것을 특징으로 하는 정상부 반사방지 코팅.

청구항 10.

제1항에 있어서, 흡수성 중합체를 포함하는 것을 특징으로 하는 정상부 반사방지 코팅.

청구항 11.

제8항 내지 제10항 중 어느 한 항에 있어서, 비흡수성 첨가제를 더 포함하는 것을 특징으로 하는 정상부 반사방지 코팅.

청구항 12.

이미지 형성 방법에 있어서,

- a) 기판 위에 포토레지스트 막을 형성하는 단계와;
- b) 상기 포토레지스트 막의 정상부에 흡수성 막을 포함하는 반사방지 코팅을 형성하는 단계 - 여기서, 조사 파장으로부터의 광흡수에 의해 야기된 이상 분산은 상기 정상부 반사방지 코팅의 굴절율의 실수부 및 허수부를 공기에 대한 막 스택의 반사율이 최소로 되는 조건에 근접시킴 - 와;
- c) 상기 흡수성 막으로 코팅된 상기 포토레지스트 막을 이미지대로 노광시키는 단계와;
- d) 이미지를 형성하도록 현상하는 단계와;
- e) 상기 현상 단계 전 또는 후에 상기 기판을 선택적으로 베이킹하는 단계를 포함하는 것을 특징으로 하는 이미지 형성 방법.

청구항 13.

제12항에 있어서, 흡수의 강도와 위치는 상기 조사 파장에서 상기 반사방지 코팅의 굴절율의 실수부가 감소되도록 선택되는 것을 특징으로 하는 이미지 형성 방법.

청구항 14.

제12항에 있어서, 상기 이상 분산 및 상기 굴절율의 실수부를 야기하는 상기 반사 방지 코팅의 흡수는 $n_T = a - b \exp(-c k_T)$ 과 관련이 있으며, n_T 는 상기 굴절율의 실수부이고, k_T 는 상기 굴절율의 허수부이며, $a=1.53 \pm 0.153$, $b=0.21 \pm 0.021$ 및 $c=2 \pm 0.1$ 인 것을 특징으로 하는 이미지 형성 방법.

청구항 15.

제12항에 있어서, 상기 조사 파장은 150nm 내지 550nm의 범위 내에 있는 것을 특징으로 하는 이미지 형성 방법.

청구항 16.

제12항에 있어서, 상기 반사방지 코팅은 물로부터 주조 가능한 것을 특징으로 하는 이미지 형성 방법.

청구항 17.

제12항에 있어서, 상기 반사방지 코팅은 물에 용해되는 것을 특징으로 하는 이미지 형성 방법.

청구항 18.

제12항에 있어서, 상기 반사방지 코팅은 알칼리성 수용액에 용해되는 것을 특징으로 하는 이미지 형성 방법.

청구항 19.

제12항에 있어서, 상기 반사방지 코팅은 단량체 염료 및 중합체 또는 중합체의 혼합물을 포함하는 것을 특징으로 하는 이미지 형성 방법.

청구항 20.

제12항에 있어서, 상기 반사방지 코팅은 단량체 염료 및 흡수성 중합체를 포함하는 것을 특징으로 하는 이미지 형성 방법.

청구항 21.

제12항에 있어서, 상기 반사방지 코팅은 흡수성 중합체를 포함하는 것을 특징으로 하는 이미지 형성 방법.

청구항 22.

제19항 내지 제21항 중 어느 한 항에 있어서, 상기 반사방지 코팅은 비흡수성 첨가제를 더 포함하는 것을 특징으로 하는 이미지 형성 방법.

청구항 23.

제12항에 있어서, 상기 반사방지 코팅은 현상 단계에서 제거되는 것을 특징으로 하는 이미지 형성 방법.

청구항 24.

제12항에 있어서, 상기 정상부 반사방지 코팅은 노출 후 베이크 처리에 앞서 물 린스에 의해 제거되는 것을 특징으로 하는 이미지 형성 방법.

청구항 25.

제12항에 있어서, 상기 정상부 반사방지 코팅은 하나 이상의 장벽 층에 의해 상기 포토레지스트로부터 이격되는 것을 특징으로 하는 이미지 형성 방법.

청구항 26.

제25항에 있어서, 상기 장벽 층은 투명하며 상기 포토레지스트와 일치하는 굴절율을 갖는 것을 특징으로 하는 이미지 형성 방법.

청구항 27.

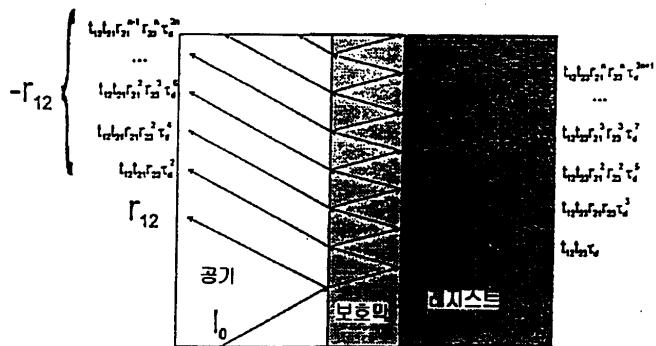
제25항에 있어서, 상기 장벽 층은 광학적으로 중성이 되는 두께를 가지는 것을 특징으로 하는 이미지 형성 방법.

청구항 28.

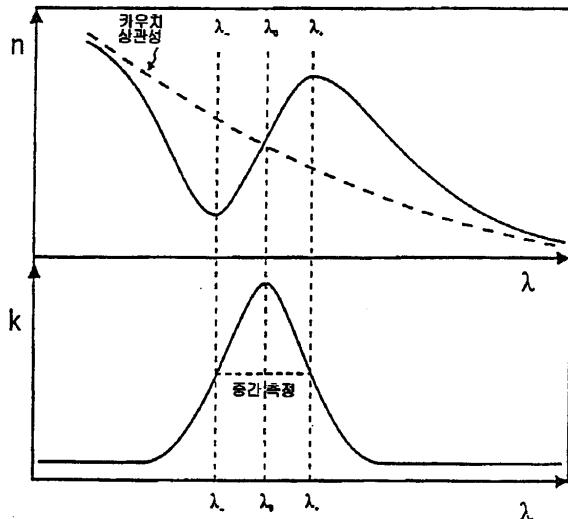
제25항에 있어서, 상기 반사방지층은 용매 린스에 의해 상기 장벽 층으로부터 제거되는 것을 특징으로 하는 이미지 형성 방법.

도면

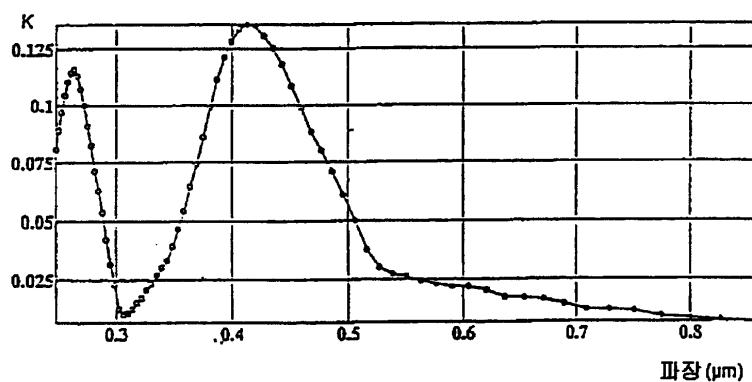
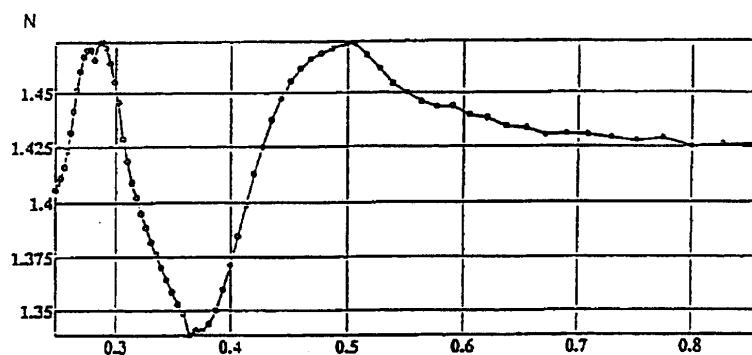
도면1



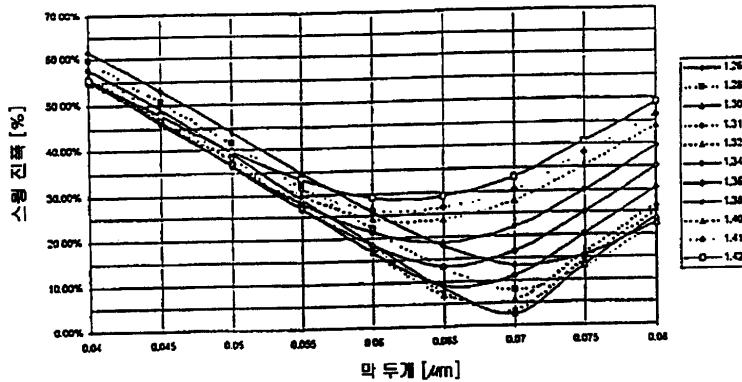
도면2



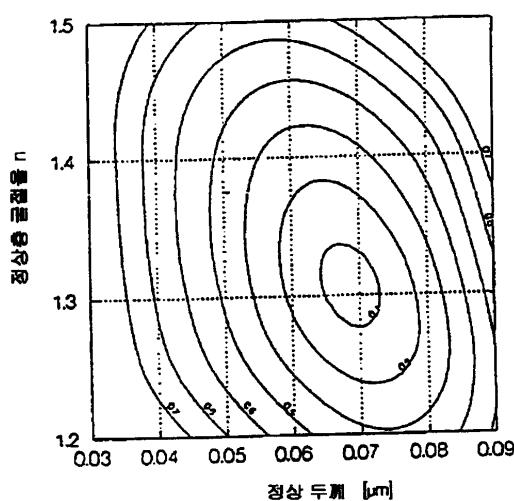
도면3



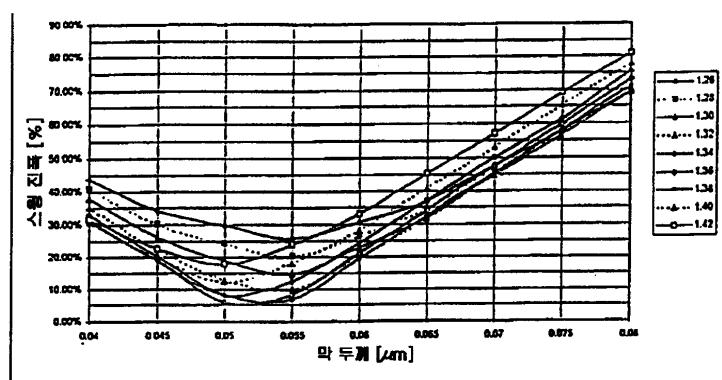
도면4



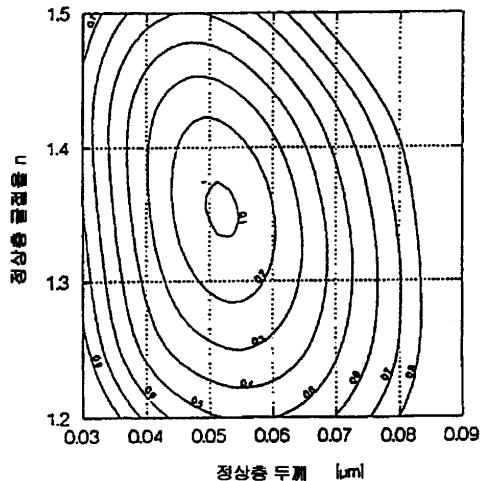
도면5



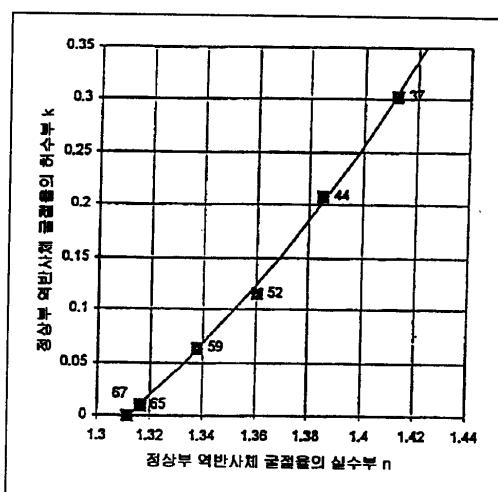
도면6



도면7



도면8



도면9

