

엘립소메트리에 의한 이온注入 실리콘층의 特性研究

金相基 · 李杭炯 · 郭柄和 · 李瑞換 · 權五準

〈要 約〉

엘립소메트리를 이용하여 B^+ 및 As^+ 이온이 주입된 실리콘층의 굴절률과 소멸계수를 도우즈 및 열처리 조건의 함수로 조사하였다. B^+ 이온 주입된 실리콘의 경우 n 은 10^{13} 도우즈 이상에서 증가하고, κ 는 도우즈 증가에 따라 단조 증가를 나타내었다. RTA 열처리가 furnace 열처리 보다 결정성 회복이 우수하였으며, 등은 열처리 시 약 30분이상에서 거의 완전하게 재결정됨을 볼 수 있었다.

As^+ 이온주입의 경우 10^{15} 이상에서 복소굴절률의 변화를 나타내었으며, 열처리에 대해 κ 가 n 보다 민감하였다.

I. 서 론

이온주입은 실리콘 뿐만아니라 화합물 반도체

소자제조에 중요한 공정의 하나로 단결정 내부에 강력한 에너지를 가진 이온이 주입될 경우 이온주입층 내부에 결정손상이 발생되며, 손상된 주입층을 열처리할때 여러가지 결정결함이 유도된다^[1].

이온주입에 의해 유기된 표면과 손상층의 특성 및 열처리에 의한 결정성 회복의 정도는 소자의 전기적특성을 좌우하므로 이들의 특성을 조사 연구하는 것이 대단히 중요하다. 이온주입과 열처리 특성은 XTEM(crosssection transmission microscopy)^[2], RBS(Rutherford backscattering spectroscopy)^[3], X-선 분석^[4], 광흡수 및 반사^[5]등에 의하여 연구되어 오고 있다. 이들 방법중 광흡수 및 반사에 의한 측정은 간단하고, 비접촉, 비파괴적 방법으로 널리 사용되어 오고 있다. 특히 소재의 표면으로부터 반사된 빛의 편광상태를 측정하여 소재의 특성을 연구할 수 있는 ellipsometry는 광흡수 방법보

다 민감도가 우수하고, 굴절률, 소멸계수등과 같은 소재의 광학상수와 두께를 동시에 측정할 수 있어 이온주입된 반도체 소재의 분석에 유용하다^[6].

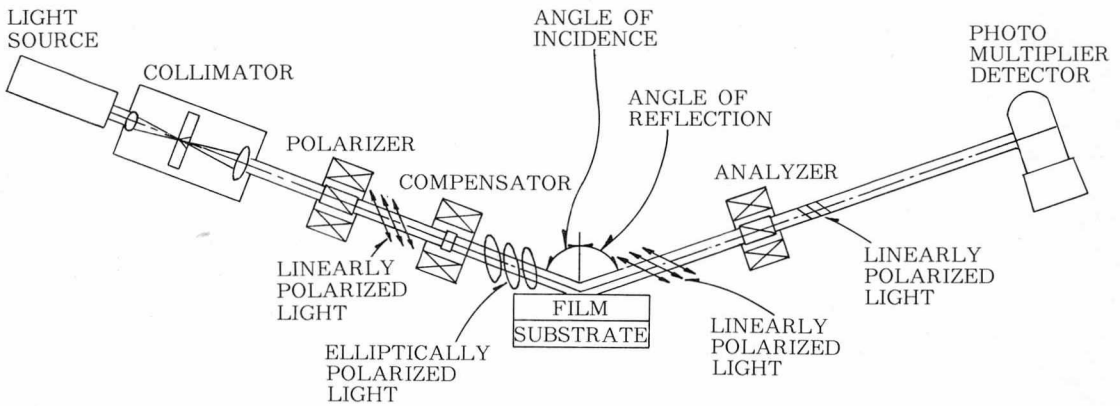
Ellipsometry에 의한 소재 표면의 광학적 성질과 유전박막의 두께와 굴절률의 측정은 F.I. McCrackin 등^[7]에 의해 처음 시도된후 많은 연구자들이 소재의 특성을 연구해 왔다. K.Watanabe 등은 저 도우즈 Boron이온이 주입된 실리콘에서 결정손상을 쉽게 탐지할 수 있음을 보고하였다^[8].

본 논문에서는 이온주입층이 균질하고, 등방성임을 가정하여 이온주입층의 표면으로부터 ellipsometry 각 Ψ , Δ 를 측정하여 이온주입된 실리콘층의 광학상수를 계산하여 이온 도우즈의

영향을 조사하였다. 또한 열처리에 의한 결정 손상의 회복을 연구하였다.

II . Ellipsometry 방정식

Ellipsometry는 빛의 편광상태에 대한 반사효과를 측정하여 소재 표면의 광학적 성질을 알아내는 것으로 전체적인 구성은 <그림 1>과 같다. 광원(L)로 부터 나온 광빔(자연광)이 선형편광자(P)를 통과하면 선형편광되고, 이 편광된 빔이 소재의 표면에 입사한다. 입사된 빔은 소재의 표면과 상호작용한후 입사빔의 편광상태와 다른 변화된 편광상태, 일반적으로 타원편광상태로 반사한다. 반사된 광빔은 분석자(A)를 통과한 다음 광탐지기(D)에 의해 탐지된다.



<그림 1> Ellipsometry의 전체적 구성

반사된 광빔의 전자파벡터는 입사평면에 평행한 진폭 E_p 성분(p-파)과 수직인 진폭 E_s 성분(s-파)으로 분해된다. R_p , R_s 를 각각 p, s파의 복소진폭 반사계수로 놓으면 즉 $R_p = E'_p/E_p$, $R_s = E'_s/E_s$ 이고 여기서 r_i 는 각각 반사와 입사빔을 의미한다. Ellipsometry는 복소진폭비

$$\rho = \frac{R_p}{R_s} \dots\dots\dots (1)$$

를 측정한다. Ellipsometry의 편광자와 분석자의 방위각으로 부터 측정된 변수는 Ψ 와 Δ 이다.

이 ellipsometric 각(Ψ , Δ)과 복소진폭비 사이의 관계는

$$\rho = \tan\Psi \exp(i\Delta) \dots\dots\dots (2)$$

이다. 이론적으로 주어진 입사각과 사용된 광원의 파장 및 기지의 소재에 대해 ellipsometric 각의 계산이 가능하다. Three phase 시스템(공기-필름-기판)에 대한 ellipsometry의 기본 방정식은

$$\rho = \frac{(r_{p01} + r_{p12}e^{-i2\delta})}{(1 + r_{p01}r_{p12}e^{-i2\delta})} \times \frac{(1 + r_{s01}r_{s12}e^{-i2\delta})}{(r_{s01} + r_{s12}e^{-i2\delta})} \dots\dots (3)$$

으로 표현된다. 여기서 r는 각 경계면에서 복소진폭 반사계수(Fresnel 계수)이고, 첨자 01, 12는 각각 시스템에서 공기와 필름, 필름과 기판 사이의 경계면을 의미한다. β 는 위상변이로

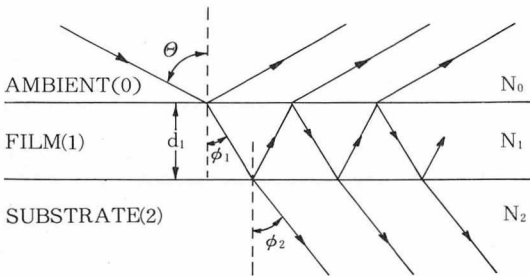
$$\beta = (d/\lambda)2\pi(N_1^2 - N_0^2 \sin^2\theta)^{1/2} \dots\dots\dots (4)$$

과 같다. 여기서 λ 는 사용한 빛의 파장, d는 필름의 두께, θ 는 광빔의 입사각이다. N_1, N_0 는 각각 필름과 공기의 복소굴절률이다. 층(layer)이 없는 기판 즉, 기판소재에 대해 ellipsometric 각이 측정되면 소재의 복소굴절률은 다음 관계식에 의해 계산된다.

$$n^2 - \kappa^2 = (\sin\theta \tan\theta)^2 \frac{\cos^2(2\Psi) - \sin^2(2\Psi) \sin^2\Delta}{[1 + \sin(2\Psi) \cos\Delta]^2} + \sin^2\theta \dots (5)$$

$$2n\kappa = (\sin\theta \tan\theta)^2 \frac{\sin(4\Psi) \sin\Delta}{[1 + \sin(2\Psi) \cos\Delta]} \dots\dots\dots (6)$$

여기서 n와 κ 는 굴절률과 소멸계수이다. 이온주입된 실리콘은 기판, 이온주입층(손상층), 자연산화막층으로 구성되어 있음에도 불구하고 소위 슈우도(pseudo) 광학상수 n와 κ 는 윗 식으로부터 얻을 수 있으며 다층구조에 대해 이 식은 더욱 실질적으로 적용된다.



<그림 2> Ambient-film-substrate 시스템에서 빛의 반사와 굴절

III. 실험 및 결과

1. 시료준비 및 측정

실험에 사용된 시편은 N-형, (100)방향의 실리콘 웨이퍼로 비저항이 3-4 Ω .cm인 것을 사용

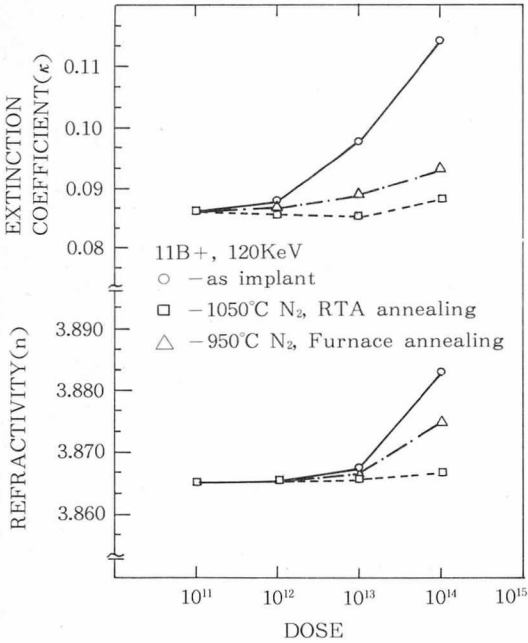
하였다. 이온을 주입하기 전에 연마된 웨이퍼의 표면층의 손상과 오염을 화학적 에칭으로 제거하였다. 균질한 비정질층을 얻기 위하여 실온에서 B⁺이온에 대해 에너지 100KeV, 도우즈 10¹¹~10¹⁵/cm²으로, As⁺이온에 대해 40KeV, 10¹³~10¹⁶/cm²으로 주입하였으며, 이온주입시 채널링 현상을 피하기 위해 (100)방향에 대해 7° 기울여 행하였다. 이온주입후 열처리 특성을 조사하기 위해 RTA(rapid thermal annealing) 및 Furnace 열처리를 온도와 시간을 변화시켜 처리하였다. Ellipsometric 변수 Ψ, Δ 의 측정은 입사광의 파장 6328Å, 입사각은 70°에 고정되고, 편광자, 보상자, 시스템, 분석자로 구성된 Rudolph사의 ellipsometry로 측정하였다. 측정은 시료 표면에 생성된 자연 산화막을 HF 수용액에 30초동안 에칭한후 20점을 측정한 평균값을 사용하였다. 이온주입 전후 및 열처리후의 ellipsometric 각을 측정하여 복소굴절률을 계산하였다. 측정동안 형성된 산화막은 측정값에 큰 영향을 주지 않으므로 무시하였다. 측정시 ellipsometric 각의 정밀도는 약 0.01°이다.

2. 실험결과 및 논의

Ellipsometry에 의해 이온 주입층의 표면으로부터 반사된 광의 ellipsometric 각을 측정하여 복소굴절률을 구하였다. 이온 주입층은 광학적으로 균질하고, 등방성임을 가정하였다.

<그림 3>은 B⁺이온 주입된 시료의 도우즈량에 대한 굴절률과 소멸계수의 변화를 나타낸 것이다. 이온주입된 영역의 광학상수는 이온주입되지 않은 실리콘 소재의 값보다 더 큰 값을 보이며, 이것은 이온 주입된 단결정이 결정손상을 받아 비정질화 되었음을 의미한다. n의 경우 ~10E13 도우즈 이하에서 거의 일정하고, 10E14 도우즈 이상에서 증가함을 나타내고 있다. 반면에 κ 의 경우 도우즈 증가에 따라 단조적으로 증가한다. 저도우즈 이온주입시 n보다 κ 가 더 민감함을 알 수 있다. 1050°C, N₂ 분위기에서 10초동안 RTA 열처리시 n와 κ 값은 단결정 실리콘

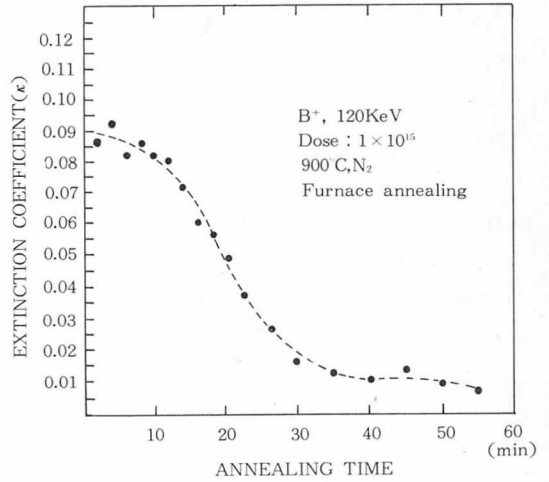
의 값에 가까이 접근하여 거의 일정하게 유지하였다. 이것은 이온주입층이 거의 재결정화 되었음을 나타낸다. 900°C, N₂ 분위기에서 30분동안 furnace 열처리 보다 RTA 열처리가 더 많이 재결정화됨을 알 수 있다.



〈그림 3〉 이온주입 및 열처리시 복소굴절률의 도우즈 의존성

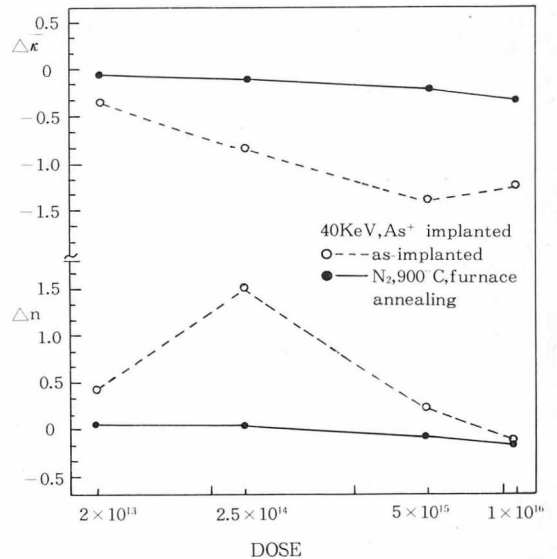
〈그림 3〉의 결과로부터 κ가 n보다 이온 주입 도우즈에 더 민감하고, 단조증가 함수로 나타나므로 이온주입층의 열처리 특성을 일정 온도에 열처리 시간을 변화시켜 κ의 값을 나타낸 것이 〈그림 4〉이다. 10분 이하에서 거의 감소하지 않고 비정질 실리콘의 값에 가까우며, 15분 이상에서 급격히 감소하기 시작하여 약 40분 이상에서 거의 단결정 실리콘의 값으로 유지하였다. 이때 굴절률 n의 값은 변화가 심하였다. 이 그래프로부터 B⁺이온의 경우 약 30분 이상이면 거의 열처리됨을 알 수 있다.

〈그림 5〉는 As⁺이온 주입 및 furnace 열처리 한 시편의 n과 κ의 변화 δn, δκ를 나타낸 것으로, $\delta n = n_{impl} - n_{unimpl}$, $\delta \kappa = \kappa_{impl} - \kappa_{unimpl}$ 로 이온주



〈그림 4〉 등온 열처리시 소멸계수의 변화

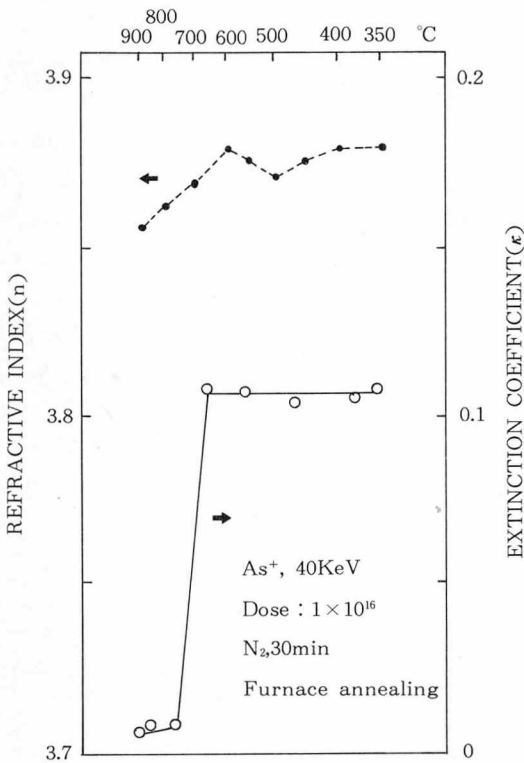
입과 주입하지 않은 광학상수 사이의 차이이다. δn은 ~10¹⁴ 도우즈까지 증가하고 10¹⁴ 이상에서 감소하며, 10¹⁶ 도우즈에서 음(-)의 값을 나타낸다. 반면에 δκ는 도우즈 증가에 따라 음(-)으로 단조적으로 감소하며, 10¹⁶에서 약간의 증가함을 보인다. 이것은 고(high) 도우즈 이온주입시 시료 표면의 손상에 기인한 것으로 판단된다. 열처리후 10¹⁵ 도우즈 이하에서 거의 0에



〈그림 5〉 복소굴절률 변화의 도우즈 의존성

접근하고 있으며, 10^{16} 에서 약간의 차이를 나타낸다. 이 차이는 이 열처리 조건하에서 완전하게 재결정화가 되지 않음을 알 수 있다.

As이온주입된 영역의 열처리 특성을 일정한 시간하에 온도를 변화시키면서 복소굴절률의 변화를 관측한 것이 <그림 6>이다. 온도 범위는 $350-900^{\circ}\text{C}$, 50°C 로 단계적으로 증가시키면서, 시간은 30분으로 일정하게 유지하였다. n 의 경우 900°C 에서 거의 단결정 값에 가깝게 접근함을 보였고, κ 는 650°C 에서 급격히 감소하여 700°C 이상에서 거의 단결정 값에 일정하게 유지되었다.



<그림 6> 복소굴절률의 온도의존성

IV. 결론

이온주입된 실리콘 소재를 ellipsometry로 부터 측정된 ellipsometric 각 Ψ , Δ 로 복소굴절률을 조사하여 이온주입층의 특성을 조사하였다.

이온주입층의 굴절률, 소멸계수등의 광학상수를 이온도우즈, 열처리 조건에 대해 조사하였다. B^{+} 이온 주입의 경우 약 $10E14$ 도우즈에서 n 의 값이 증가하고, κ 가 n 보다 훨씬 더 민감하여 쉽게 탐지할 수 있음을 알 수 있다. 열처리된 시편의 복소굴절률을 ellipsometry변수를 측정함으로써 이온주입된 비정질층이 재결정화되는 정도를 볼 수 있으며, 일정온도하에서 열처리 시간을 변화시킬때 결정화의 임계시간을 알 수 있다. RTA 열처리가 furnace 열처리보다 완전한 재결정화가 되었음을 알 수 있다.

As이온주입된 실리콘시편의 경우 고도우즈에서 복소굴절률의 감소를 보였으며, 열처리온도 증가에 따른 소멸계수 값의 변화로 결정화되어 가는 정도를 알 수 있다.

Ellipsometry는 이온주입시 이온의 종류, 주입 에너지, 도우즈, 기관의 온도등에 따른 이온주입 깊이, 결정손상의 정도 등을 ellipsometric 각 Ψ , Δ 로부터 광학상수를 계산하여 이온주입에 대한 자세한 정보를 비접촉, 비파괴적 방법으로 얻을 수 있다. 또한 결정손상층은 RBS와 결합하여 연구하면 더 좋은 결과를 얻을 수 있는 것으로 기대된다.

<參考文獻>

1. S.M.SZE, "VLSI technology" McGRAW-Hill. New York, 219, 1983.
2. D.J.Mazey, R.S.Nelson, and R.S.Barses, philos.Mag. 117, 1145. 1968. D.K.Sadany, M. Stratham, J.Washburn and G.R.Broker, J.Appl.phys. 51, 5718. 1980
3. W.K.chu, J.W.Mayer and M-A.Nicolet, Backscattering spectrometry, Academic press. New York. 1978.
4. K.Uda and M.Kamoshida, J.Appl.Phys.48, 18. 1977
5. H.Aharoni, and P.L.Swant. Appl.phys.lett. 44,k892. 1984.
6. R.M.A.Azzam. and N.M.Bashara, Ellipso-

metry and polarized light, North-Holland, Amsterdam. 1977

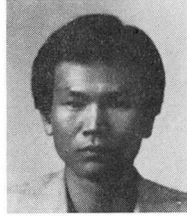
7. F.L.McCrackin et al., J.Research. NBS 67A, 363. 1963

8. K.Watanabe et al., Appl.Phys.Lett. 34,518. 1979

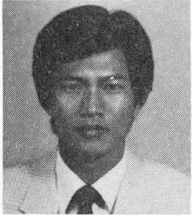
9. M.Born and E.Wolf, Principle of Optics, Pergamon Press, 1975



金相基 (Kim, Sang Gi)
 1957년 1월 2일생
 1981. 7 : 한국전자통신연구소 입소
 1986. 2 : 한국방송통신대학학사
 1988.12현재: 물성분석실 기술원



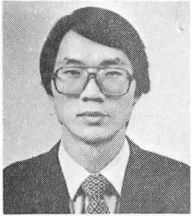
李瑞煥 (Lee, Sang Hwan)
 1958년 1월 5일생
 1981. 2 : 경북대학교 전자공학과 학사
 1987. 2 : 경북대학교 대학원 전자공학과 석사
 1987. 2 : 한국전자통신연구소 입소
 1988.12현재: 물성분석실 연구원



李杭炯 (Lee, Won Hyong)
 1956년 10월 24일생
 1979.2 : 영남대학교 학사
 1983.8 : 영남대학교 석사
 1987.2 : 영남대학교 박사
 1987.8~현재: 물성분석실 선임연구원



權五準 (Kwon, Oh Joon)
 1951년 7월 18일생
 1977. 2 : 경북대학교 전자공학과 학사
 1977. 3~'85. 5.28 : 한국전자기술연구소 선임연구원, 웨이퍼가공실장
 1985.5.29~'86.4.30 : 한국전자통신연구소 반도체사업단 생산부장
 1986.5.1~현재: 물성분석실장



郭柄和 (Koak, Byong Hwa)
 1955년 1월 10일생
 1980. : 경희대학교 학사
 1982. : 경희대학교 석사
 1985. : 한국전자통신연구소 입소
 1988.12현재: 물성분석실 연구원