

## 굴절을 분산을 반영한 고속 푸리에 변환 및 막두께 정밀결정

김상준 · 김상열<sup>†</sup>

아주대학교 분자과학기술학과

Ⓣ 442-749 경기도 수원시 팔달구 원천동 산 5번지

(2003년 1월 8일 받음, 2003년 3월 17일 수정본 받음)

수  $\mu\text{m}$  이상의 두께를 가지는 비교적 두꺼운 박막의 경우 박막에 의한 간섭효과로 인하여 나타나는 반사율 스펙트럼에서의 진동주기로부터 막의 두께를 얻는다. 대개 빠른 데이터 처리를 위해서 고속 푸리에 변환(Fast Fourier Transformation, FFT)을 사용하여 진동주기(또는 진동수)를 구한다. 본 연구에서는 반사율 또는 투과율 스펙트럼을 빛의 에너지 축상에서 푸리에 변환하는 종래의 방법을 개선하여 박막의 굴절을 분산을 반영하는 수정된 고속 푸리에 변환 방법을 최초로 도입하였다. 이 새로운 방법은 굴절을 분산에서 유래하는 유효굴절률 결정에서의 오차를 줄여주고 푸리에 변환 피크의 폭 넓어짐을 막아줌으로써 막 두께 결정의 정밀도를 크게 향상시킨다. 수정된 고속 푸리에 변환방법을  $80\mu\text{m}$ 의 덮게층과  $13\mu\text{m}$ 의 사이층이 있는 시료의 반사 스펙트럼에 적용하여 그 타당성을 확인하였다.

주제어 : reflection spectrum, film thickness, fast fourier transformation, refractive index dispersion, DVD.

### I. 서 론

산업의 발달과 더불어 고밀도 고집적화의 추세에 따라 박막을 필요로 하는 소자들이 많아지고 소자들의 많은 부분이 박막으로 교체되고 있다. 요구되는 박막의 두께도 수  $\text{\AA}$ 에서 수백  $\text{nm}$  또는 수  $\mu\text{m}$ 에서 수백  $\mu\text{m}$ 까지 다양해지고 있다. 이에 따라 다양한 박막들을 측정하고 분석할 수 있는 여러 가지 방법들이 새로이 개발되거나 기존의 방법들이 개량되고 있다.<sup>[1-3]</sup> 박막 분석방법 중 박막두께를 결정할 때 탐침 등을 사용하는 기계적인 방법은 측정할 박막에 영향을 주거나 무른 물질의 박막일 경우에는 측정값 자체의 정확도가 떨어지게 된다.<sup>[4]</sup> 이에 반하여 광학적인 방법은 측정하는 박막에 영향을 거의 주지 않는 장점을 가지고 있다. 박막의 두께를 결정하는 광학적인 방법은 타원계(ellipsometer)를 이용하거나 반사율(reflectance), 투과율(transmittance)등을 측정하여 구하는 방법, 간섭계(interferometer)를 이용하는 방법 등이 있다.<sup>[5,6]</sup> 이러한 광학적인 방법들은 측정하는 시료에 영향을 주지 않고 수  $\text{\AA}$ 에서 수  $\mu\text{m}$ 의 박막의 두께를 간편하게 결정할 수 있게 한다는 것은 잘 알려져 있으며 일반 산업체에서 많이 사용되고 있다. 대개 박막의 두께가 수  $\mu\text{m}$  이하일 경우에는 타원법에 의한 분석이나 반사율 측정등 정량적인 광량측정 방법에 의존하며 수십  $\mu\text{m}$ 에 이르는 비교적 두꺼운 박막의 두께를 분석하는 경우에는 박막에 의한 간섭효과로 인하여 반사율 또는 투과율 스펙트럼에서 진동을 볼 수 있고 이 진동의 주기로부터 두께 정보를 구하는 방법도 사용된다.<sup>[4]</sup> 특히 두께가 수십  $\mu\text{m}$  또는 수백  $\mu\text{m}$ 에 이를 경우 두꺼운 박막에 의한 간섭효과를 제대로 구현하기 위한 분광계의 분해능(resolution)과 광원이나 박막자

체의 결맞음성(coherency)에 관한 요구조건이 까다로우며 이는 기존의 광학적인 방법으로 두꺼운 박막의 두께를 결정하는데 있어서 장애물로 작용한다. 분광계의 분해능이나 결맞음성이 떨어질 경우에는 간섭에 의한 스펙트럼의 진동주기(또는 진동수)를 구하고 이로부터 박막의 두께를 결정하는 방법이 유용하게 사용된다. 한편 두꺼운 막의 두께를 간편하며 빠르게 측정하고자 하는 산업체로부터의 요구에 대응하기 위해서는 스펙트럼의 진동주기를 빠르게 구하여야 하며 이를 위해서는 고속 푸리에 변환(Fast Fourier Transformation, FFT)를 사용하고 있으나 박막물질의 굴절을 분산관계는 고려되지 않고 있다. 본 연구에서는 간섭에 의한 반사율 스펙트럼의 진동주기를 구할 때 사용하는 종래의 방법을 개선하여 파장에 따르는 굴절률의 변화, 즉 굴절을 분산을 반영하는 수정된 고속 푸리에 변환(modified Fast Fourier Transformation, m-FFT) 방법을 최초로 제시하였다. 이 새로운 방법을 전체 두께가  $93\mu\text{m}$ 에 이르는 실제 박막시료에 적용함으로써 두꺼운 박막의 두께 결정에 있어서 빠른 분석속도를 유지하면서도 박막두께에 결정의 정밀도를 크게 향상시킬 수 있음을 확인하였다.

### II. 이 론

#### 2.1. 유전박막에 의한 간섭

유전체로 구성된 두께가 균일한 박막이 있을 때 매질인 공기와 유전체간의 반사광의 세기는 대략 입사광 세기의 수 % 내외이다. 따라서 반사광에 의한 간섭은 근사적으로 표면에서의 반사광과 박막을 1회 왕복한 제1차 반사광만을 고려하여도 무방하다. 수직입사의 경우 유전박막의 표면에서의 반사파와 유전박막을 1회 왕복한 반사파간의 광로차(optical path difference, OPD)는 다음과 같다.

<sup>†</sup>E-mail: sykim@ajou.ac.kr

$$OPD = 2n_f d \tag{1}$$

여기서  $n_f$ 는 박막의 굴절률,  $d$ 는 박막의 두께를 가리킨다. 반사에 따른 위상변화를 고려할 때 식 (1)에 의하면  $n_f d$ 가 빛의 파장의 1/4의 홀수배 또는 짝수배의 여부에 따라 보강간섭 또는 소멸간섭을 보여주게 된다. 빛의 파장을  $\lambda$ 라 하면 비교적 두꺼운 박막에 의한 보강간섭이나 소멸간섭이 일어날 조건은 아래와 같은 식으로 쓸 수가 있다.

$$\begin{aligned} n_f d &= \frac{\lambda(\lambda + \Delta\lambda)}{2\Delta\lambda} \approx \frac{\lambda^2}{2\Delta\lambda} \\ &= \frac{619.9}{\Delta E} \end{aligned} \tag{2}$$

여기서  $\Delta\lambda$ 와  $\Delta E$ 는 간섭에 의한 진동주기 즉 보강간섭(또는 소멸간섭)을 일으키는 인접하는 두 광파의 파장의 차이( $\Delta\lambda$ ) 또는 에너지의 차이( $\Delta E$ )를 각각 파장(nm)축 또는 에너지(eV)축에서 측정된 값을 가리키며 두께의 단위는 파장의 단위와 마찬가지로 nm 이다. 두꺼운 박막의 경우  $\Delta\lambda$ 나  $\Delta E$ 는 박막의 두께에 반비례하며  $\Delta\lambda$ 나  $\Delta E$ 의 크기감소에 비례하여 위 근사식의 오차도 감소한다.  $\Delta E$ 는 반사 스펙트럼의 진동주기를 에너지 축에서 구한 값의 역수 즉 에너지 축에서 구한 반사 스펙트럼의 진동수인데 박막의 굴절률인  $n_f$ 가 일정할 경우에는  $\Delta E$ 도 일정하며 이는 푸리에 변환(또는 고속 푸리에 변환)을 적용할 수 있게 하는 이론적인 근거를 제공한다. 에너지 축에서의 반사 스펙트럼의 진동수를  $f_E$ 라 하면 식 (2)는 다음과 같이 표현된다.

$$n_f d = 619.9 \times f_E \tag{3}$$

그러나 실제로는 박막을 구성하는 물질이 가지고 있는 굴절률의 파장의존성 즉  $n_f$ 의 분산이 존재하기 때문에  $\Delta E$ 는 일정하지 않으며 따라서 진동하는 반사 스펙트럼을 에너지 축에서 푸리에 변환할 때 얻어지는  $f_E$ 의 피크는 굴절률의 분산정도에 따라 그 폭이 넓어지며 피크의 위치도 부정확하게 된다. 이는  $f_E$ 의 피크 위치로부터 식 (3)에 따라 막의 두께를 결정하는 방법의 오차를 증가시키는 원인이 된다. 따라서 굴절을 분산에 의한 효과를 정확하게 보정할 수 있다면 푸리에 변환시 피크폭이 넓어지는 것을 막음과 동시에 피크위치 결정의 정확성을 유지할 수 있게 되며 궁극적으로는 막두께 결정의 정확성을 향상시키게 된다. 이와 같이 굴절을 분산을 반영한 푸리에 변환은 빠른 분석속도를 유지하면서도 막두께 결정의 정확성을 향상시키는데 큰 기여를 할 것이다. 굴절을 분산을 반영하는 구체적인 방법으로는 푸리에 변환을 통해 진동수를 구할 때 식 (4)에서와 같이 굴절을 가중치를 곱한 에너지 축에서의 반사 스펙트럼을 사용하는 방법이 있다.

$$d = \frac{619.9}{\Delta(n_f E)} = 619.9 \times f_{nE} \tag{4}$$

여기서  $f_{nE}$ 는 굴절을 가중치를 곱한 에너지 축에서의 반사 스펙트럼을 푸리에 변환하여 구한 진동수를 말한다.

## 2.2. 고속 푸리에 변환

고속 푸리에 변환은 푸리에 변환의 일종으로 푸리에 변환속

도를 크게 향상시킨 것이다. 모든 파형은 단순한 정현파의 합으로 표현할 수 있다는 개념을 기초로 하여 이루어지는 푸리에 변환에서 대부분의 신호처리는 시간 공간과 주파수 공간으로 알려진 수학적 공간상에서 이루어진다. 일반적인 신호는 복합적인 여러 주파수 성분을 가지므로, 이를 부분적으로 다른 주파수를 가진 정현파들의 합으로 분해할 수 있다. 때로는 하나의 파형으로만 간주할 경우 분석하기 힘든 여러 다른 주파수의 합성신호를 각각의 주파수별로 분해하여 분석하고 그 결과를 재합성하여 원신호의 분석결과로 나타내는 과정을 따름으로써 합성신호를 쉽게 처리할 수 있게 된다. 일반적인 신호를 실제의 세계인 시간영역과 주파수영역과의 관계로써 나타내면 푸리에 변환식들은 아래와 같다.

$$\begin{aligned} x(t) &= \int_{-\infty}^{+\infty} X(f) e^{-j2\pi ft} df \\ X(f) &= \int_{-\infty}^{+\infty} x(t) e^{j2\pi ft} dt \end{aligned} \tag{5}$$

이 변환들을 푸리에 변환, 그리고 푸리에 역변환이라고 부른다. 실제 측정 및 분석에서는 위의 식들을 그대로 사용할 수는 없다. 그 첫 번째 이유는 컴퓨터에 입력되는 신호의 시간영역에서의 변위는 불연속적이기 때문이고, 두 번째 이유는 식 (5)의 푸리에 적분은 무한대의 범위에 걸쳐 행하여지지만 입력되는 실제 신호는 한정된 범위에 걸쳐 있기 때문이다. 이와 같이 실제 측정에서 구해지는 유한영역에서의 이산적인 자연신호에 적용되는 푸리에 변환은 이산 푸리에 변환(Discrete Fourier Transformation, DFT)이다. 이산 푸리에 변환을 간단히 설명하면 다음과 같다. 파형이 시간축(또는 에너지축)에서 T간격으로 입력된다고 하면, 파형 배열은  $x(0), x(1), x(2), \dots, x[(N-1)T]$ 와 같이 쓸 수 있다. 이 때  $x(nT), (n=0, 1, \dots, N-1)$ 의 이산 푸리에 변환은 주파수(또는 박막의 두께) 관점에서  $X(k) = X(0), X(1), \dots, X(N-1)$ 와 같은 복소수 값의 배열을 갖는다. 이 경우 이산 푸리에 변환의 구체적인 표현은 다음과 같다.

$$\begin{aligned} X(k) &= \sum_{n=0}^{N-1} x(nT) e^{-j\omega nT} \\ &= \sum_{n=0}^{N-1} x(nT) e^{-j2\pi kn/N}, (\omega = 2\pi/NT) \end{aligned} \tag{6}$$

이산 푸리에 변환은  $k$ 번째의 요소와  $k+N$  번째 요소를 비교하면 동일한 값을 보여주는 주기가  $N$ 인 주기성을 가진다. 이는 이산 푸리에 변환의 중요한 속성으로 고속 푸리에 변환과 밀접한 연관이 있다. 위의 식에 따라  $N$ 개의 입력치를 다루는 이산 푸리에 변환을 한다면  $N \times N$  회의 곱의 계산과  $N(N-1)$  회의 합의 계산을 하게된다. 이 횟수는  $N$ 이 커짐에 따라 대략  $N$ 의 제곱에 비례하여 증가하며 광측정소자배열(photo-diode array, PDA)에서와 같이  $N = 1024$  또는  $N = 2048$ 과 같은 큰 수치값을 가질 경우 상당한 계산시간을 필요로 하게된다. 긴 계산시간은 실시간 측정 및 분석을 바라는 산업체

의 요구에 대응하는 데에는 부정적인 요인으로 작용하므로 이에 대응하여 푸리에 변환의 계산 속도를 향상시키기 위해서 사용되는 알고리즘이 고속 푸리에 변환이다. 고속 푸리에 변환 자체에 대한 전문적인 내용은 본 연구의 주된 관심의 대상이 아니므로 여기에서는 자세하게 다루지 않기로 한다.<sup>17)</sup> 고속 푸리에 변환은 이산 푸리에 변환에 비해 계산량을  $N^2$ 회에서  $N/2 \log_2 N$  회로 감소시켜 주므로 푸리에 변환을 할 때 소요되는 계산시간을 크게 단축시켜준다.

### III. 실험 및 결과

반사율 스펙트럼의 측정에 사용된 광학장치는 그림 1과 같다. 광원으로 사용된 40 W 할로겐등에서 방출된 광을 집속하여 Y자 모양의 광섬유의 갈래진 한쪽 끝에 조사시키고 광섬유의 모아진 끝에서 방출되는 빛을 배율이 4-10 배되는 대물렌즈를 사용하여 박막이 있는 시료표면에 수직으로 비추었다. 시료면상에서의 빔의 직경은 광섬유의 직경과 대물렌즈의 배율에 따라 수백 마이크로 범위에서 조절된다. 시료 표면에서 반사한 빛은 다시 대물렌즈를 통하여 광섬유로 입력되며 Y자 반대쪽 끝단으로 출사하게 된다. 이렇게 출사된 빛은 분광기(spectrograph)와 광측정소자배열을 거쳐 아날로그 신호로 변환되며 고속 A/D 변환기를 거쳐 디지털신호로 변환된 뒤 컴퓨터로 전달된다. 할로겐 광원, 유리 광섬유, 대물렌즈, 분광기 및 광측정소자 배열로 구성되는 본 분광장비의 측정 파장대역은 500-1000 nm, 파장분해능은 0.4 nm, 측정속도는 스펙트럼당 0.5초 정도이며 고속 푸리에 변환을 포함한 측정/분석 속도는 대략 2초/회 정도이다. 측정에 사용된 시료는 차세대 광기록 매체로 각광을 받고 있는 HD-DVD용 광디스크로써 관심의 대상이 되는 막들은 두께가 80  $\mu\text{m}$  정도인 덮개층(Cover Layer, CL)과 그 아래에 있는 10 여  $\mu\text{m}$ 의 두께를 가지는 사이층(Spacer Layer, SL)이다. 그림 2는 덮개층과 사이층이 PC 기판 위에 있고 L/G 요철구조 위에 이중기록층 구조를 가지고 있는 HD-DVD 시료의 전형적인 반사 스펙트럼을 보여준다. 그림 2에서는 반사 스펙트럼의 파장분해능 의존성을 동시에 확인할 수 있다.

고속 푸리에 변환을 할 때 굴절률 분산을 반영함으로써 피

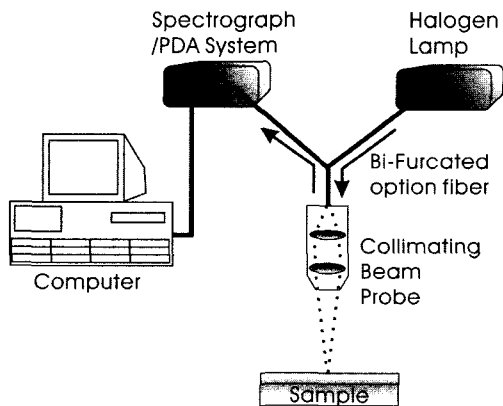


그림 1. 반사율 스펙트럼의 측정에 사용된 측정장치의 개략도.

크폭이 줄어들고 피크의 크기가 커지는 것을 두께가 30  $\mu\text{m}$ 의 유전박막에 의한 반사율 스펙트럼 분석을 통해 먼저 확인할 수 있다. 유전박막은 지지하는 기층이 없이 공기 중에서 박막 단독으로 존재하는 것으로 설정하였다. 그림 3(a)는 전산시능으로 구한 반사율 스펙트럼이며 그림 3(b)는 전산시능에 사용된 박막의 굴절을 분산곡선이다. 박막에 의한 빛의 간섭으로 인하여 진동하는 반사율 스펙트럼의 진동주기는 식 (2)에서와 같이 대략 파장의 제곱에 비례하며 빛의 에너지 축에 대해 그리면 반사율 스펙트럼의 진동주기는 그림 4에서와 같이 거의 일정하게 나타난다. 단지 굴절을 분산에 의한 효과를 보정하지 않았기 때문에 높은 에너지 영역으로 갈수록 그 진동주기가 조금씩 감소하게 된다. 진동하는 반사율 스펙트럼에서 진동주기 즉 피크간의 간격을 세밀하게 관찰하면 굴절률의 분산을 반영한 경우와 그러하지 않은 경우의 차이점을 분명하게 확인할 수 있다. 그림 5(a)는 유전박막의 굴절을 분산을 고려하지 않고 피크간의 간격을 구한 것으로 빛의 에너지가 커질수록, 즉 단파장 영역으로 갈수록 피크간의 간격이 줄어드는 것을 보여준다. 반면 그림 5(b)는 식 (4)에서와 같이 빛의 에너지에 굴절을 가중치를 곱하여 굴절률의 분산을 반영한 뒤 피크간의 간격을 구한 것으로서 빛의 에너지 크기에 관계없이 그 간격이 일정하게 유지됨을 보여준다.

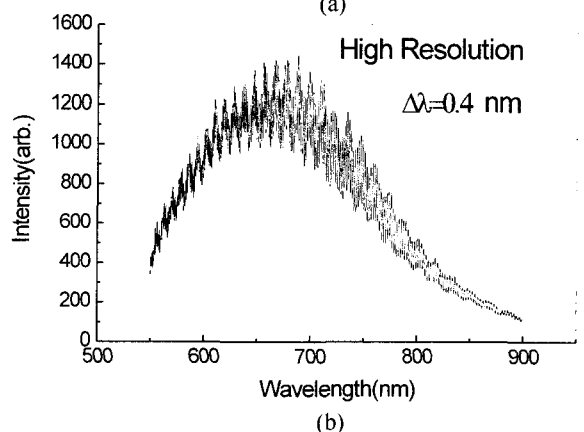
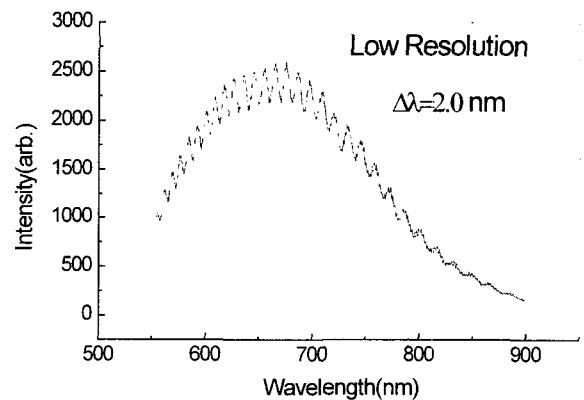


그림 2. 덮개층과 사이층이 PC 기판 위에 있는 HD-DVD 시료의 반사 스펙트럼들. 파장 분해능이 작은 경우(a)에 비해 파장 분해능이 큰 경우(b)에는 반사 스펙트럼에서 두꺼운 덮개층에 의한 빠른 진동을 뚜렷이 볼 수 있다.

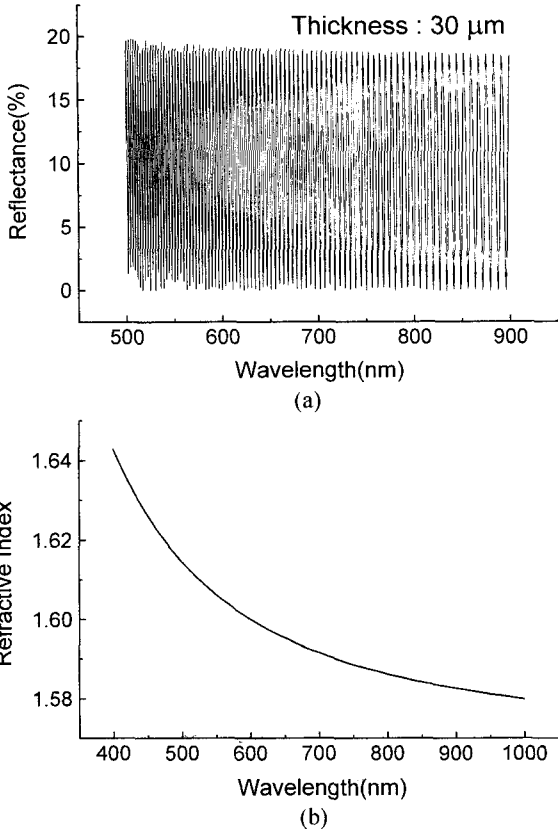


그림 3. 두께가 30 μm인 유전박막에 의한 반사율 스펙트럼(a)과 유전박막의 굴절률 분산곡선(b). 반사율 스펙트럼의 진동주기가 대략 파장의 제곱에 비례한다.

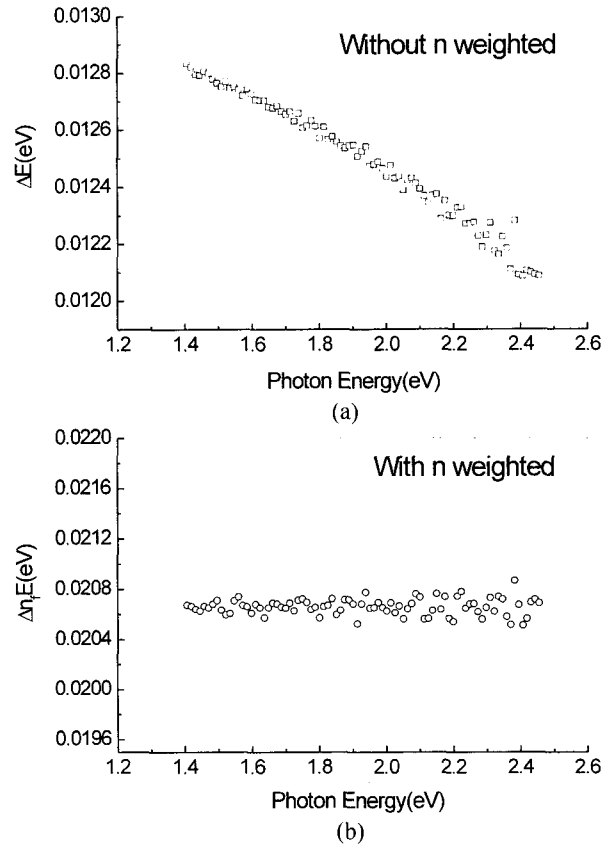


그림 5. 그림 4의 반사율 스펙트럼에서 관찰되는 피크간의 간격을 에너지에 대해 그린 그래프. 에너지가 증가함에 따라 굴절률의 분산을 고려하지 않으면(a) 피크간의 간격은 완만하게 감소하며 굴절률 가중치를 에너지에 곱하여 굴절률의 분산을 반영하면(b) 피크간의 간격은 일정하게 유지된다.

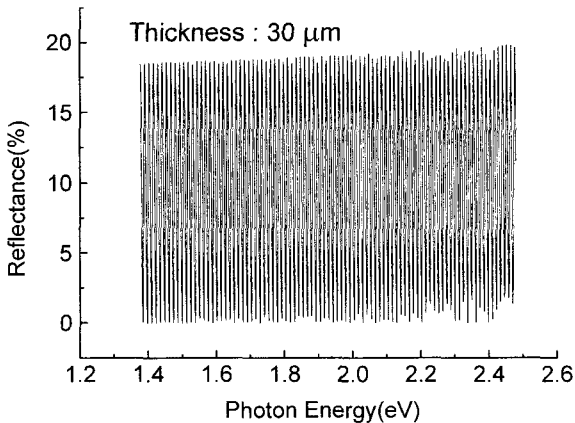
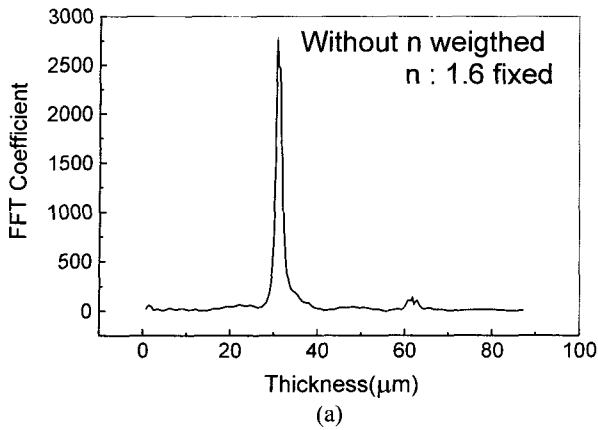


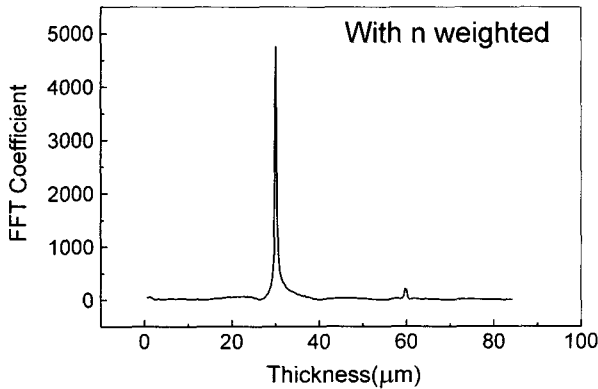
그림 4. 두께가 30 μm인 유전박막에 의한 반사율 스펙트럼을 에너지 축에 대해 그린 그래프. 반사율 스펙트럼의 진동주기는 굴절률의 분산으로 인하여 조금씩 감소하는 것을 제외하면 거의 일정함을 확인할 수 있다.

굴절률 분산을 반영한 효과는 푸리에 변환을 하면 더욱 두드러지게 나타난다. 그림 6(a)는 굴절률 분산을 고려하지 않은 경우의 푸리에 변환 그래프이며 그림 6(b)는 굴절률 분산을 반영한 경우의 푸리에 변환 그래프이다. 이들 그림을 비교하면 알 수 있듯이 굴절률 분산을 반영할 경우 푸리에 변환된

그래프에서 피크의 폭(FWFM)이 1.61 μm에서 0.44 μm로 대폭 감소할 뿐만 아니라 피크의 크기도 1.7배 정도 증가하였다. 이러한 피크의 크기 증가 및 폭의 감소는 굴절률 분산을 반영할 경우 반사율 스펙트럼의 진동간격이 균일해지는 것에서 유래한 당연한 귀결로 굴절률 분산을 고려한 푸리에 변환의 장점을 분명하게 보여준다. 굴절률 분산을 고려할 경우에 얻어지는 또 하나의 큰 장점은 푸리에 변환을 한 후에 구해지는 두께값에서도 나타난다. 그림 6(a)는 굴절률을 n=1.6으로 고정하고 푸리에 변환을 한 후 가로축을 두께로 환산하여 나타낸 것인데 유전박막은 그림 3(b)에서와 같이 파장에 따라서 다른 굴절률을 갖고 있기 때문에 푸리에 피크위치를 나누는 굴절률 값에 따라 얻어지는 두께 값이 달라진다. 그림 6(a)의 피크로부터 계산된 두께값이 30.71 μm로 실제 두께와는 0.71 μm의 차이를 보여주는 것도 사용된 굴절률인 n=1.6이 500-900 nm 영역에 걸친 반사율 스펙트럼의 유효굴절률을 적절하게 반영하지 못하기 때문이며 이는 근본적으로 굴절률 분산을 고려하지 않기 때문에 유래하는 오차라고 볼 수 있다. 그러나 굴절률 분산을 고려한 푸리에 변환 그래프인 그림 6(b)에서는 파장에 따른 굴절률 분산을 정확하게 반영하고 있기 때문에 30.0 μm의 정확한 두께 값을 산출해준다.



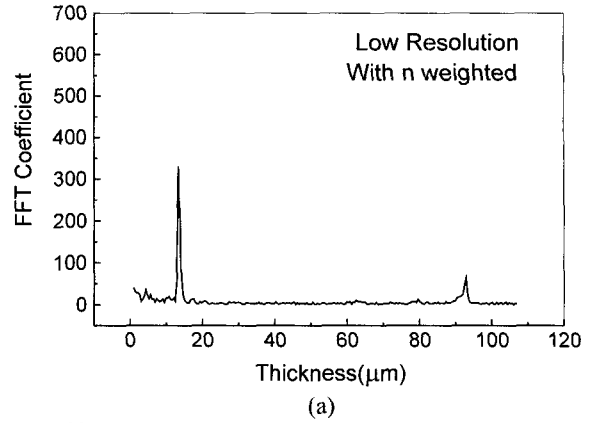
(a)



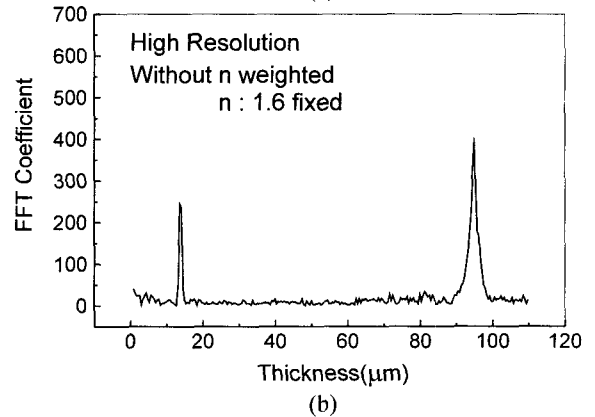
(b)

그림 6. 그림 4의 반사율 스펙트럼의 푸리에 변환 그래프. 유전박막의 굴절률 분산을 고려하지 않은 경우(a)에 비해 굴절률 분산을 반영한 경우(b)가 피크의 폭은 대략 1/4으로 감소하고 피크의 크기는 1.7배로 증가하며 막의 두께도 30.0 μm로 정확하게 구해진다.

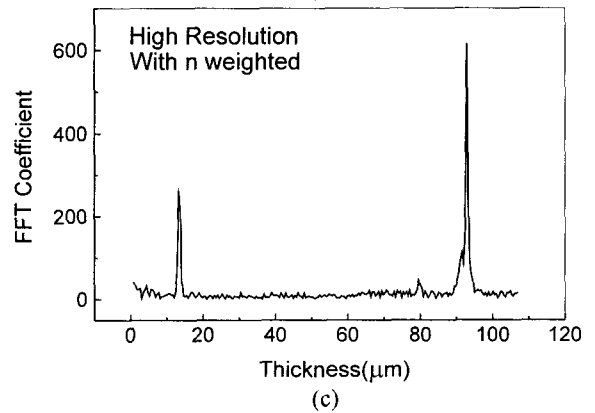
실제 시료의 반사 스펙트럼에 대해 이상과 같은 분석방법을 적용한 결과는 다음과 같다. 그림 2에 보인 HD-DVD 시료의 반사 스펙트럼에 분광타원법으로 결정된 덮개층의 굴절률 분산을 반영한 푸리에 변환을 적용하여 그림 7과 같은 그래프들을 구하였다. 먼저 파장분해능이 낮은 경우의 반사율 스펙트럼인 그림 2(a)를 분석한 그림 7(a)에서는 예상되는 바와 같이 두꺼운 덮개층에 대응되는 피크는 매우 약하며 상대적으로 얇은 사이층에 의한 피크가 뚜렷하게 나타남을 볼 수 있다. 파장 분해능이 높은 경우의 반사율 스펙트럼인 그림 2(b)를 분석한 그림 7(b)와 그림 7(c)에서는 사이층과 덮개층에 의한 피크들이 모두 관찰된다. 다만 덮개층의 굴절률은 공기와 비교할 때 사이층의 그것과는 큰 차이가 나지 않기 때문에 덮개층만에 의한 피크보다는 사이층과 덮개층의 두께의 합에 대응되는 피크가 크게 관찰된다. 그림 2(b)의 반사 스펙트럼을 굴절률 분산을 고려한 경우와 고려하지 않은 경우로 나누어 분석한 결과를 비교하면 다음과 같다. 합 두께에 대응되는 피크는 굴절률 분산을 반영하지 않을 경우 그림 7(b)에서와 같이 94.89 μm를 중심으로 피크의 폭은 1.77 μm, 피크의 크기는 392로 나타났다. 이에 비해서 굴절률 분산을 반영한 경우에는 그림 7(c)에서와 같이 피크의 폭은 0.63 μm로 대폭 감소하며



(a)



(b)



(c)

그림 7. 그림 2에서 보여진 HD-DVD 시료의 반사 스펙트럼들을 푸리에 변환한 그래프들. 파장분해능이 낮은 반사 스펙트럼의 푸리에 변환 그래프(a)에 비하여 파장분해능이 높은 반사 스펙트럼의 푸리에 변환 그래프들(b, c)에서는 사이층과 덮개층의 합 두께에 대응하는 피크가 92-95 μm 근방에서 크게 관찰된다. 합 두께에 대응하는 피크는 굴절률 분산을 반영하지 않을 경우(b)보다 굴절률 분산을 반영한 경우(c)가 피크의 폭은 크게 줄어들고 크기는 증가하며 막 두께가 정확하게 구해진다. 또한 (c)에서는 덮개층만에 의한 피크도 80 μm 근방에서 관찰된다.

피크의 크기는 614로 커진다. 두께는 92.81 μm로 나타났다. 그림 7(b)에서는 관찰하기 어려운 덮개층만에 대응되는 피크도 약하지만 그림 7(c)에서는 79.80 μm의 위치에서 관찰되며 사이층의 두께인 13.43 μm를 더한 값은 합 두께와 거의 일치한다. 굴절률 분산을 반영하지 않은 합 두께 값이 2.08 μm

정도 크게 나타나는 것은 30 μm의 유전박막에 의한 반사율 스펙트럼의 전산시능 계산 및 분석에서 검토해 본 바와 같이 고정된 굴절률 입력에 따른 결과로 해석된다.

#### IV. 결 론

사이층(Spacer Layer)과 덮개층(Cover Layer)이 PC 기판위에 있는 HD-DVD 용 광기록 다층막에 의한 반사 스펙트럼의 진동을 푸리에 분석하여 막 두께를 구하였다. 분광측정장비의 파장분해능이 낮을 경우에는 사이층에 의한 피크만이 관찰되었고 분해능이 높을 경우에는 사이층과 덮개층에 의한 피크들이 모두 관찰되었다. 박막의 굴절률 분산을 반영하기 위하여 빛에너지에 굴절률 가중치를 곱한 새로운 에너지 축에서의 반사 스펙트럼을 푸리에 변환하는 수정된 고속 푸리에 변환 방법을 도입하였다. 덮개층 만에 의한 두께보다는 사이층과 덮개층의 합에 대응되는 두께가 뚜렷하게 관찰되었으며 수정된 고속 푸리에 변환을 통하여 덮개층의 굴절률 분산을 반영함으로써 피크의 폭을 1.77 μm에서 0.63 μm로 대폭 감소시키고 피크의 크기도 392에서 614로 증가시킬 수 있었다. 합 두께는 92.81 μm로 덮개층의 두께인 79.80 μm과 사이층의 두께인 13.43 μm의 합과 거의 일치하였다. 결론적으로 두꺼운 박막의 두께를 빠르고 정확하게 구하기 위하여 굴절률 분산을 반영한 수정된 고속 푸리에 변환을 반사 스펙트럼에 적용하는 방법을 제시하고 작동을 확인하였다. 이 방법은 반사율 스펙트럼 뿐만 아니라 투과율 스펙트럼 등 두꺼운 박막의 간섭에 의한 진동을 보이는 다른 스펙트럼들에도 적용될 수 있으므로 막두께 측정 및 분석에 매우 유용하게 사용될 수 있을 것으로 판단된다.

#### 감사의 글

본 연구는 아주대학교 교내 연구용 기자재 지원프로그램의 연구비 지원을 받아 이루어졌습니다.

#### 참고문헌

- [1] E. Garcia-Caurel, C. Niikura, S. Y. Kim, B. Drevillon, and J. E. Bouree, "FTIR phase-modulated ellipsometry measurements of microcrystalline silicon films deposited by hot-wire CVD", *J. Non-Crystalline Solids*, 299-302, pp. 215-219, 2002.
- [2] M. G. Hutchins, A. J. Topping, C. Anderson, F. Olive, P. van Nijanttern, P. Polato, A. Roos, and M. Rubin, "Measurement and prediction of angle-dependent optical properties of coated glass products: results of an inter-laboratory comparison of spectral transmittance and reflectance", *Thin Solid Films*, 392, pp. 269-275, 2001.
- [3] Petr Hlubina, "White-light spectral interferometry with the uncompensated Michelson interferometer and the group refractive index dispersion in fused silica", *Optics Communications*, 193, pp. 1-7, 2001.
- [4] Oguz Koysal, Duygu Onal, Serhat Ozder, and F. Necati Ecevit, "Thickness measurement of dielectric films by wavelength scanning method", *Optics Communications*, 205, pp. 1-6, 2002.
- [5] 김상열, *타원법*, 아주대학교 출판부, 2000.
- [6] 황보창권, *박막광학*, 다성출판사, 2000.
- [7] R. E. Blahut, *Fast Algorithms for Digital Signal Processing*. Addison-Wesley, New York, 1985.

### Application of the modified fast fourier transformation weighted with refractive index dispersion for an accurate determination of film thickness

Sang June Kim and Sang Youl Kim

Dept. of Molecular Science and Technology, Ajou University, Suwon 442-749, KOREA

<sup>†</sup>E-mail: sykim@ajou.ac.kr

(Received January 8, 2003, Revised manuscript March 17, 2003)

The reflectance spectrum of optical films thicker than a few microns shows an intensity oscillation due to interference. Since the spectral period of the oscillation is inversely related to film thickness, the thickness of an optical film can be determined from the spectral frequency of the oscillation. For rapid data processing, the spectral frequency is obtained by use of a Fast Fourier Transformation technique. The conventional method of applying a Fast Fourier Transformation to the reflectance spectrum versus photon energy is modified so as to clear the ambiguity in choosing the proper effective refractive index value and to prevent the broadening of the Fourier transformed peak due to the refractive index dispersion. This technique of modified Fast Fourier Transformation is suggested by the authors for the first time to their knowledge. From the analysis of the calculated reflectance spectrum of a 30-μm-thick dielectric film, it is shown to improve the accuracy in determining film thickness by a great amount. The improved accuracy of the modified Fast Fourier Transformation is also confirmed from the analysis of the reflectance spectra of a sample with 80-μm-thick cover layer and 13-μm-thick spacer layer on a PC substrate.

OCIS Codes : 120.2130, 120.4630.