



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2022-0085179
(43) 공개일자 2022년06월22일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
G01J 3/44 (2006.01) G01J 3/42 (2006.01)
(52) CPC특허분류
G01J 3/44 (2013.01)
G01J 2003/423 (2013.01)
(21) 출원번호 10-2020-0175037
(22) 출원일자 2020년12월15일
심사청구일자 없음

(71) 출원인
세종대학교산학협력단
서울특별시 광진구 능동로 209 (군자동, 세종대학교)
(72) 발명자
이중재
서울특별시 광진구 능동로 209, 세종대학교 총무
관 710호 (군자동)
알리 아자드
서울특별시 광진구 능동로 209, 세종대학교 총무
관 710A호(군자동)
(74) 대리인
유병옥, 한승범

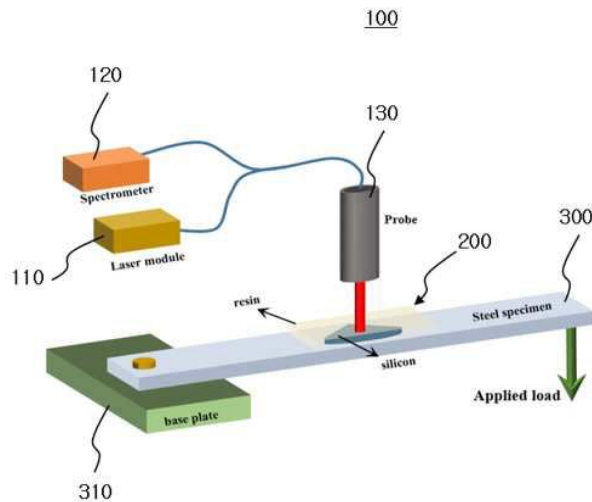
전체 청구항 수 : 총 1 항

(54) 발명의 명칭 라만 분광을 이용한 부착형 응력 측정 시스템

(57) 요약

본 발명의 일 실시예에 따른 라만 분광을 이용한 부착형 응력 측정 시스템은 응력 측정 대상물에 부착되는 단결정 물질을 구비한 응력 측정부를 포함할 수 있다.

대표도 - 도3



(52) CPC특허분류

G01J 2003/4424 (2013.01)

이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호	1615011221
과제번호	151927
부처명	국토교통부
과제관리(전문)기관명	국토교통과학기술진흥원
연구사업명	국토교통기술촉진연구(R&D)
연구과제명	콘크리트 구조물에 적합한 페인트블 응력 측정 센서 개발
기 여 율	1/1
과제수행기관명	세종대학교산학협력단
연구기간	2020.01.01 ~ 2020.12.31

명세서

청구범위

청구항 1

응력 측정 대상물에 부착되는 단결정 물질을 구비한 응력 측정부를 포함하는 것을 특징으로 하는 라만 분광을 이용한 부착형 응력 측정 시스템.

발명의 설명

기술 분야

[0001] 본 발명은 라만 분광을 이용한 부착형 응력 측정 시스템에 관한 것이다.

배경 기술

[0002] 라만 활성물질이 광자 흡수 없이 레이저에 노출되면 전자구름이 왜곡되고 전자는 고에너지 레벨에 이르게 되는데 이를 가상 에너지 상태라 한다. 왜곡된 전자구름은 원래 형태로 돌아오며 기저상태로 바뀌고 산란된 광자의 에너지를 측정함으로써 선형/비선형적 산란을 얻을 수 있다. 대부분의 산란된 발광 광자는 동일한 에너지를 갖고 있는데 이러한 선형 산란을 레일리 산란이라 한다. 발광된 광자와 다르게 매우 적은 양의 산란된 광자들이 다른 에너지를 가지고 있는데 이러한 비선형 산란을 라만 산란이라 한다. 라만 분광학에선 비선형 산란이 물질의 지문 피크 파장을 정의할 수 있다. 도 1은 선형/비선형 산란을 보여준다.

[0003] 분광학을 통해 얻은 스펙트럼의 피크점 파장을 이용해 선형 응력을 측정하는 것을 압분광학이라 한다. 압분광 활성 물질에서 선형 응력을 측정하기 위해 시편의 무응력 상태 스펙트럼과 응력 상태 스펙트럼을 기록한다. 이 두 상태의 피크점 파장을 비교하면 피크점의 이동을 확인할 수 있는데 분광학 기법에 따라 시편이 압축 상태인지 인장 상태인지 식별할 수 있다. 라만 압분광법(Raman piezo-spectroscopy:RPS)의 경우, 라만 활성 시편이 인장력을 받을 때 피크점 이동은 감소하고, 압축력을 받을 때 피크점 이동은 증가한다. 도 2의 (a) 및 (b)는 인장에 의한 압분광학 피크점 이동의 개략도이다.

[0004] 압분광법 이론에 따르면 하나의 선형 응력만 고려할 때 피크점 이동은 하중과 선형관계를 가지는데, 이는 선형 계수를 통해 설명될 수 있다. 이 계수는 도 2의 (c)와 [수학식 1]에 설명된다.

[0005] [수학식 1]

[0006] $y=a \times \sigma +b$

[0007] [수학식 1]에서 y 는 피크점 이동(cm^{-1}), σ 는 응력(MPa), a 와 b 는 선형 회귀 계수이다.

[0008] 그런데, 기존 응력 측정 기술은 측정이 시작된 직후부터 측정이 되기 때문에 상대 응력만을 측정할 수 있다.

[0009] 또한, 기존의 압분광 기술을 이용한 응력 측정은 특정 위치에 고정되어 작은 샘플에 한해서만 사용되어 현장 사용이 어렵다는 한계가 있을 뿐만 아니라, 다결정 물질 속 결정들의 무작위한 축으로 인해 피크점이 발생하는 파장 지점이 실험마다 달라져 압분광학으로 응력을 측정할 시 선형계수가 다소 부정확하고 일관적이지 못하다는 문제가 있다.

발명의 내용

해결하려는 과제

[0010] 본 발명은 라만 압분광학(Raman piezo-spectroscopy, RPS)에 기반한 콘크리트나 강철과 같은 건설 재료의 응력 측정법을 제안한다.

[0011] 본 발명은 실리콘의 높은 피크점 강도와 일관된 피크점 지점을 이용해 현장에서도 사용 가능한 휴대용 분광기 형태로 마련될 수 있는 라만 분광을 이용한 부착형 응력 측정 시스템을 제공할 수 있다.

[0012] 본 발명은 압분광법의 선형계수를 이용해 절대 응력을 측정하는 라만 분광을 이용한 부착형 응력 측정 시스템을

제공할 수 있다.

[0013] 본 발명은 단결정 물질이면서 스펙트라(spectra)의 지문 영역의 피크가 상당히 날카로운 실리콘을 이용해 정확하고 일관된 피크점이 맺히는 파장 측정이 가능한 라만 분광을 이용한 부착형 응력 측정 시스템을 제공할 수 있다.

과제의 해결 수단

[0014] 상기한 바와 같은 과제를 달성하기 위한 본 발명의 일 실시예에 따른 라만 분광을 이용한 부착형 응력 측정 시스템은 응력 측정 대상물에 부착되는 단결정 물질을 구비한 응력 측정부를 포함할 수 있다.

발명의 효과

[0015] 본 발명에 따른 라만 분광을 이용한 부착형 응력 측정 시스템은 실리콘의 높은 피크점 강도와 일관된 피크점 지점을 이용하기 때문에 정확하고 일관된 응력 측정 결과를 얻을 수 있다.

[0016] 본 발명에 따른 라만 분광을 이용한 부착형 응력 측정 시스템은 휴대하는 것이 가능하기 때문에 장소에 구애 받지 않고 응력 측정이 필요한 현장에서 편리하게 사용할 수 있다.

도면의 간단한 설명

[0017] 도 1은 라만 분광에서 선형 산란과 비선형 산란을 설명하는 도면이다.

도 2는 라만 압분광에서 피크점 이동과 하중의 선형관계를 보여주는 도면이다.

도 3은 본 발명의 일 실시예에 따른 라만 분광을 이용한 부착형 응력 측정 시스템의 구성을 개략적으로 보여주는 도면이다.

도 4는 도 3에 따른 시스템에 사용되는 실리콘 웨이퍼의 스펙트라에 곡선 피팅을 적용하여 얻은 지문 피크점(a), 실리콘 웨이퍼의 라만 스펙트라(b,c)를 보여주는 도면이다.

도 5는 도 3에 따른 시스템에 사용되는 실리콘 웨이퍼가 에폭시 수지에 의해 시편에 부착된 모습을 보여주는 도면이다.

도 6은 도 3에 따른 시스템을 사용하여 캔틸레버에 하중을 재하할 때 실리콘 웨이퍼의 피크점 이동과 응력의 선형 관계를 보여주는 도면이다.

도 7은 도 3에 따른 시스템을 사용하여 캔틸레버에 하중을 비재하할 때 실리콘 웨이퍼와 피크점 이동의 선형 관계를 보여주는 도면이다.

도 8은 도 3에 따른 시스템을 사용하여 캔틸레버에 재하할 때 실험 데이터와 수치적으로 측정된 응력 피크점의 이동을 비교한 도면이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0018] 이하, 첨부된 도면을 참고로 하여 본 발명의 실시예들에 대하여 본 발명이 속하는 기술분야에서 통상의 지식을 가진 자가 용이하게 실시할 수 있도록 상세히 설명한다. 본 발명은 여러 가지 상이한 형태로 구현될 수 있으며 여기에서 설명하는 실시예들에 한정되지 않는다.

[0019] 도면들은 개략적이고 축적에 맞게 도시되지 않았다는 것을 일러둔다. 도면에 있는 부분들의 상대적인 치수 및 비율은 도면에서의 명확성 및 편의를 위해 그 크기에 있어 과장되거나 감소되어 도시되었으며 임의의 치수는 단지 예시적인 것이지 한정적인 것은 아니다. 그리고 둘 이상의 도면에 나타나는 동일한 구조물, 요소 또는 부품에는 동일한 참조 부호가 유사한 특징을 나타내기 위해 사용된다.

[0020] 본 발명의 실시예는 본 발명의 이상적인 실시예들을 구체적으로 나타낸다. 그 결과, 도면의 다양한 변형이 예상된다. 따라서 실시예는 도시한 영역의 특정 형태에 국한되지 않으며, 예를 들면 제조에 의한 형태의 변형도 포함한다.

[0022] 도 3을 참조하면, 본 발명의 일 실시예에 따른 라만 분광을 이용한 부착형 응력 측정 시스템(100, 이하 "응력

측정 시스템"이라 함)은 라만 압분광학(Raman piezo-spectroscopy, RPS)에 기반한 콘크리트나 강철과 같은 건설 재료의 응력을 측정하는데 사용될 수 있다.

- [0023] 본 발명의 일 실시예에 따른 응력 측정 시스템(100)은 레이저 모듈(110, Laser module), 스펙트로미터(120, Spectrometer), 프로브(130, Probe) 및 응력 측정부(200)를 포함할 수 있다.
- [0024] 상기 응력 측정부(200)는 응력 측정 대상물(300)의 표면에 부착되는 형태로 마련되어 응력 측정 대상물(300)의 응력을 측정할 수 있다. 도 3의 경우 응력 측정 대상물(300)은 캔틸레버(Cantilever) 형태의 시편으로 마련되며, 상기 캔틸레버의 일단은 베이스 플레이트(310)에 연결되거나 고정될 수 있다.
- [0025] 상기 응력 측정부(200)는 라만 분광에 활성되는 특징을 가진 실리콘 웨이퍼(210)가 사용될 수 있다. 실리콘 웨이퍼(210)를 응력 측정 대상물(300)에 부착하거나 고정하기 위해서 고정부착수단(220)이 필요하다. 고정부착수단(220)은 에폭시 수지 또는 레진(Resin)을 포함할 수 있다.
- [0026] 도 5를 참조하면, 에폭시 수지 또는 레진을 포함하는 고정부착수단(220)으로 덮인 실리콘 웨이퍼(210)를 캔틸레버, 강철 빔 또는 콘크리트 구조물 등의 응력 측정 대상물(300)의 표면에 부착한다. 실리콘 웨이퍼(210)에 하중을 재하할 때 발생하는 레이저 스펙트라의 피크점 이동에 의해 압분광법의 선형 계수를 얻어낼 수 있다. 선형 계수를 얻어내면 휴대 가능 측정기기를 활용한 피크점 이동 측정이 가능해진다.
- [0027] 한편, 분광기는 고정형과 휴대용으로 나눌 수 있다. 구성 샘플의 정확하고 정밀한 평가를 위해선 고정형 시스템이 보통 선호된다. 고정형의 경우 미세 분광기를 적용할 수 있으므로 높은 해상도와 넓은 영역의 스펙트라를 얻을 수 있다. 본 발명의 일 실시예에 따른 응력 측정 시스템(100)은 대상 샘플의 피크점 파장을 현장에서 얻을 수 있다. 고정형에 비해서 휴대용 기기는 어디에서도 적용할 수 있지만, 피크점 파장을 얻기엔 정밀도가 부족하다. 이러한 단점을 보완하기 위해서 본 발명의 일 실시예에 따른 응력 측정 시스템(100)은 응력 측정부(200)에 실리콘 웨이퍼(210)를 사용한다. 실리콘 웨이퍼(210)를 사용하는 경우 곡선 피팅 알고리즘을 통해 정확한 피크점 파장 수치를 얻을 수 있다.
- [0028] 도 4의 (a)는 본 발명의 일 실시예에 따른 응력 측정 시스템(100)이 휴대용 분광기 형태로 마련될 때, 휴대용 분광기로부터 얻은 실리콘 웨이퍼(210)의 스펙트라에 곡선 피팅을 적용해 얻은 지문 피크점을 보여준다.
- [0029] 상기 실리콘 웨이퍼(210)는 실리콘 잉곳으로부터 얻어지는 라만 활성 물질이다. 실리콘 잉곳을 원하는 방향으로 잘라 다양한 두께와 원하는 결정면으로 잘라 실리콘 웨이퍼(210)를 얻을 수 있다. 단결정 물질인 실리콘 웨이퍼(210)는 520cm^{-1} 의 파장에서 두드러지는 피크점을 얻을 수 있다. 본 발명에서는 직경100mm, 525 ± 25 두께의 P type 실리콘 웨이퍼(210)를 사용하는 것이 바람직하다. 결정축은 100개의 방향이고 한쪽 면은 광택 처리될 수 있다.
- [0030] 도 4의 (b) 및 (c)는 휴대용 분광기 형태로 마련되는 본 발명의 일 실시예에 따른 응력 측정 시스템(100)으로부터 얻은 실리콘 웨이퍼(210)의 라만 스펙트라를 보여준다. 단결정 물질의 특징을 통해 도 4의 (b) 및 (c)에 도시된 바와 같이 피크점의 강도와 적용성으로부터 피크점 파장과 피크점 이동 수치를 일관적으로 얻을 수 있다.
- [0031] 실험은 다음과 같다. 틀 안에 실리콘 웨이퍼(210)와 에폭시 수지와 같은 고정부착수단(220)을 넣어 경화시키고 틀을 제거한 뒤, 점착제로 응력 측정 대상물(300)에 실리콘 웨이퍼(210)를 부착한다. 도 5은 실리콘 웨이퍼(210)가 에폭시 수지(220) 안에 잠겨 덮인 것을 보여준다. 어떠한 미세 균열을 막기 위해 실리콘 웨이퍼(210)를 정밀 레이저 커팅 기계를 통해 작은 조각으로 쪼개는 것이 바람직하다. 이때, 과도한 초점거리와 피크점 강도의 빈약함을 막기 위해 에폭시 수지 즉, 고정부착수단(220)의 두께는 1mm 정도로 최대한 얇게 경화시키는 것이 바람직하다.
- [0033] * 캔틸레버 빔 하중 재하 실험 (Loading Test)
- [0034] 하중 실험에서 샘플인 캔틸레버(300)는 한 끝 단에 점하중을 받고 있고, 반대 끝단은 볼트로 강하게 베이스 플레이트(310)에 체결해 캔틸레버 빔 하중 실험을 하였다. 도 6의 (a) 및 (b)는 피크점 이동과 응력의 선형 관계를 입증하고 있다. 또한, [표 1]에 의해 모든 샘플들의 실험 결과가 높은 일관성을 띄고 있음을 보였다. 선형 계수 및 결정계수 모두 높은 반복성과 일관성을 입증하고 있다.

[표 1]

Peak	Group number	Test number	a ()	b ()	R-square
520 ()	Group 1	Test 1	-0.001707	519.171	0.9408
		Test 2	-0.001729	519.189	0.9685
		Test 3	-0.001757	519.174	0.9594
	Group 2	Test 1	-0.001723	519.3022	0.9361
		Test 2	-0.002206	519.322	0.9773
		Test 3	-0.002176	519.324	0.9256
	Average (standard deviation)		-0.001883 (± 0.000239)	519.247 (± 0.07616)	-

* 캔틸레버 빔 하중 비재하 실험 (Unloading Test)

압축응력을 측정하기 위해 초기에 미리 하중이 재하되었던 캔틸레버(300)에, 하중을 6단계에 걸쳐 점차 일정하게 감소시켰다. 그 후 압축 응력을 받는 동안의 피크점 이동을 조사하기 위해 하중 비재하 시간동안 샘플의 스펙트럼을 기록했다. 도 7의 (a) 및 (b)와 [표 2]에 의하면 하중 비재하 과정 동안 일관된 결과가 보여졌다. 선형 계수 및 결정계수 또한 상대적으로 높은 수치와 일관성을 보였다.

[표 2]

Peak	Group number	Test number	a ()	b ()	R-square
520 ()	Group 1	Test 1	0.001271	519.1755	0.8725
		Test 2	0.001365	519.1755	0.8748
		Test 3	0.001335	519.1604	0.9207
	Group 2	Test 1	0.001893	519.0934	0.9172
		Test 2	0.001627	519.119	0.9107
		Test 3	0.001776	519.1082	0.916
	Average (standard deviation)		0.001544 (± 0.000257)	519.138 (± 0.03619)	-

* 선형계수의 신뢰성

[표 3]은 응력 피크점 이동 그래프 작성을 위해 랜덤 하중 재하 단계로 이루어져 있다. 실리콘 웨이퍼(210)가 응력 측정 센서로서 사용될 수 있는지에 대한 신뢰성을 검증하기 위해 이전에 얻은 이론에 의한 재하 및 비재하 선형계수와 실험을 통해 얻은 그래프를 비교하였다.

[표 3]

Loading group							
Load sequence	0	1	2	3	4	5	6
Load (gr)	0	200 Loading	150 Unloading	250 Loading	200 Unloading	50 Loading	150 Unloading
Stress (MPa)	0	+70.95	-53.21	+106.42	-70.95	+17.74	-53.21

도 8은 [표 3]에서의 재하 그룹의 실험데이터와 수치적으로 측정된 응력 피크점 이동을 비교한 결과이다. 초기의 3단계의 재하에서 수치적 결과와 실험 결과 사이에 차이가 없었다. 더 나아가 마지막 3단계의 재하에서는 피크점 이동이 기준 결과와 매우 미세하게 이동했음을 확인할 수 있었다. 최대 편차는 0.051 cm^{-1} 이었다.

[0049] 휴대용 분광기와 분광 활성 특징이 있는 재료를 활용한 응력 측정 개발의결과로 본 발명의 일 실시예에 따른 응력 측정 시스템(100)이 도출되었다. 이를 위해 라만 분광 활성 특징이 있는 실리콘 웨이퍼(210)가 선정되었다. 그리고 포터블 센싱 기기의 효율성과 현실성이 검증되었다. 실험 결과에 의하면 단결정 실리콘 웨이퍼가 압축력 및 인장력에 일정하고 정확한 결과를 보여주고 있다. 마지막으로 응력 피크점 이동 그래프의 선형 계수가 무작위 하중재하 및 하중 비재하 실험 그룹을 통해 검증되었다. 실험 결과로 보아 실리콘 웨이퍼의 현실성 및 정확성이 확인되었다.

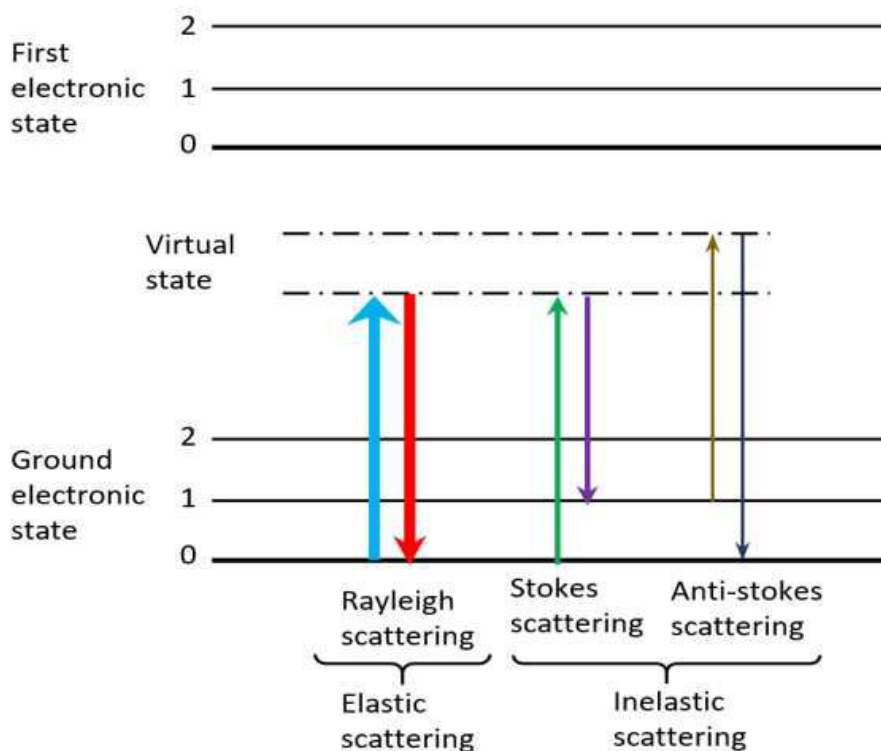
[0051] 이상과 같이 본 발명의 일 실시예에서는 구체적인 구성 요소 등과 같은 특정 사항들과 한정된 실시예 및 도면에 의해 설명되었으나 이는 본 발명의 보다 전반적인 이해를 돕기 위해서 제공된 것일 뿐, 본 발명은 상기의 실시예에 한정되는 것은 아니며, 본 발명이 속하는 분야에서 통상적인 지식을 가진 자라면 이러한 기재로부터 다양한 수정 및 변형이 가능하다. 따라서, 본 발명의 사상은 설명된 실시예에 국한되어 정해져서는 아니 되며, 후술하는 청구범위뿐 아니라 이 청구범위와 균등하거나 등가적 변형이 있는 모든 것들은 본 발명 사상의 범주에 속한다고 할 것이다.

부호의 설명

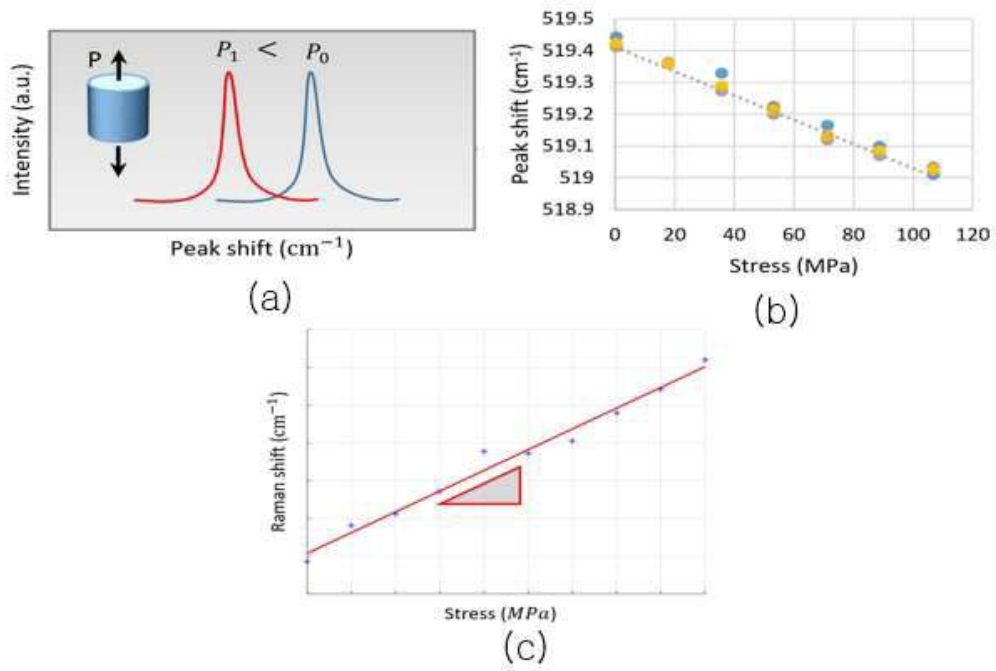
[0052] 100: 라만 분광을 이용한 부착형 응력 측정 시스템
110: 레이저 모듈 120: 스펙트로미터
130: 프로브 200: 응력 측정부
210: 실리콘 웨이퍼 220: 고정부착수단
300: 응력 측정 대상물

도면

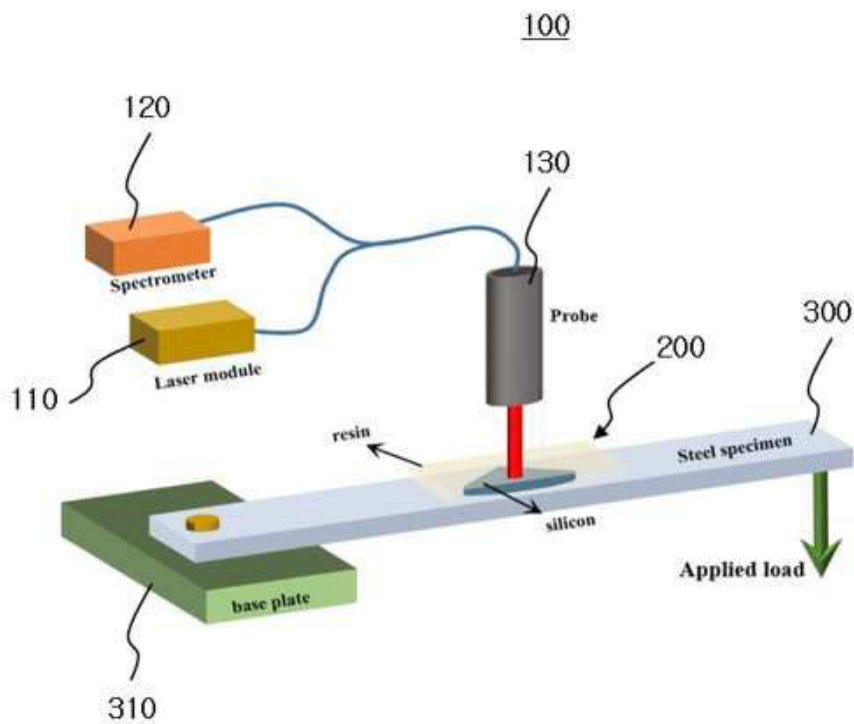
도면1



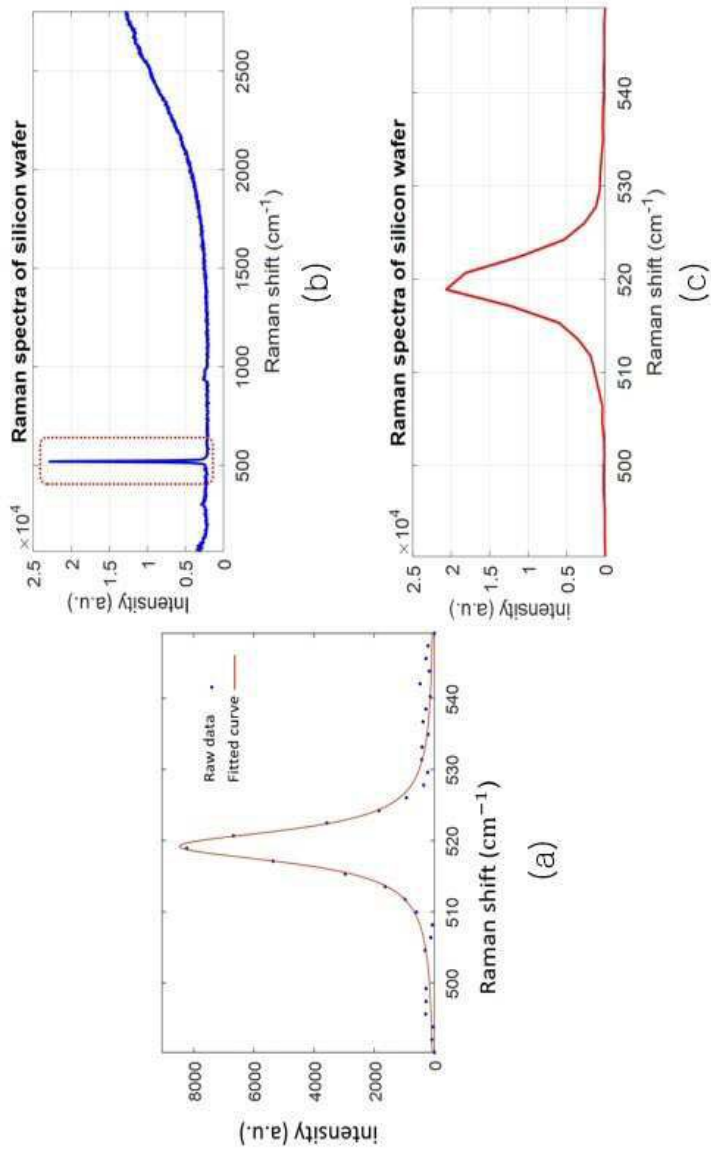
도면2



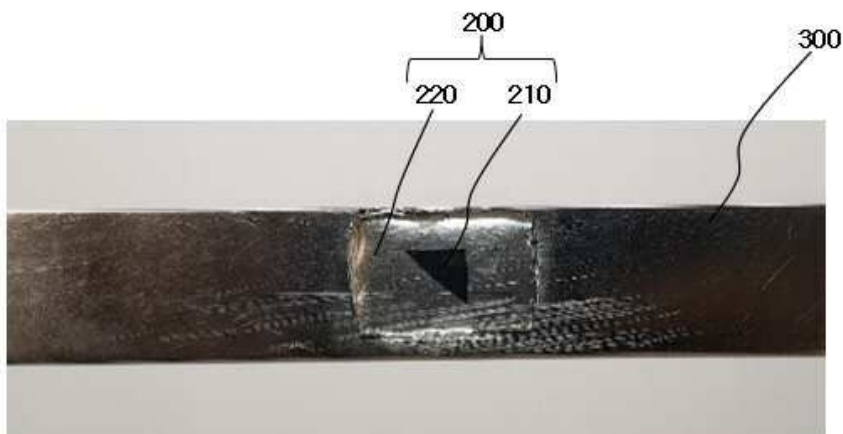
도면3



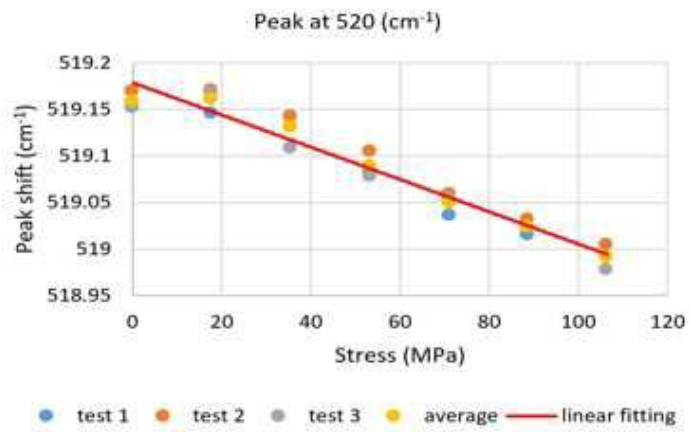
도면4



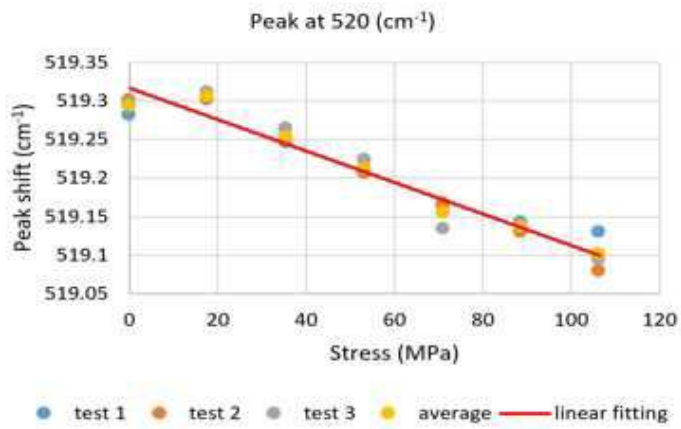
도면5



도면6

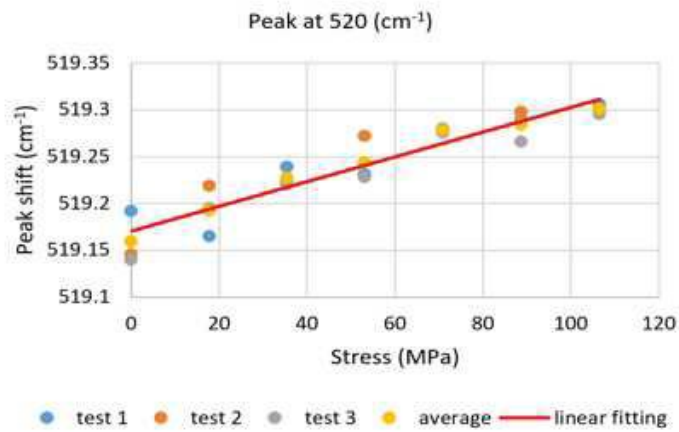


(a)

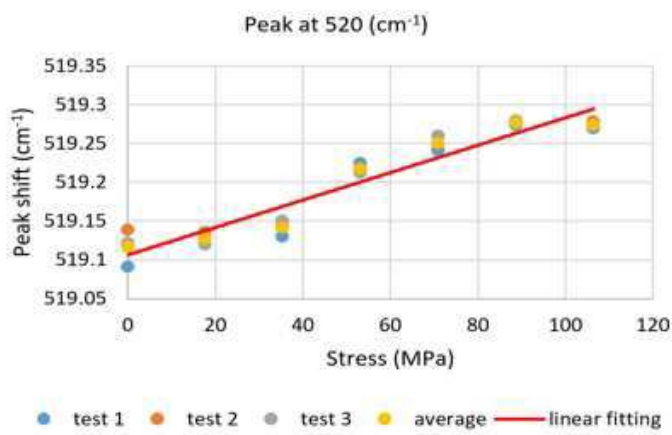


(b)

도면7



(a)



(b)

도면8

