(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2021-0116874
(43) 공개일자 2021년09월28일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
H03H 9/25 (2006.01) *H03H 9/02* (2006.01)
(52) CPC특허분류
H03H 9/25 (2013.01)
H03H 9/02834 (2013.01)
(21) 출원번호 10-2020-0032982
(22) 출원일자 2020년03월18일
심사청구일자 2020년03월18일

(71) 출원인
고려대학교 산학협력단
서울특별시 성북구 안암로 145, 고려대학교 (안암동5가)
(72) 발명자
최원준
서울특별시 서초구 신반포로15길 19, 110동 503호(반포동, 아크로리버파크)
이상준
서울특별시 노원구 동일로 1701, 604호(상계동, 희성오피앙)
이현민
서울특별시 동대문구 왕산로 52, 101동1406호(용두동, 신설동역대우아이빌)
(74) 대리인
특허법인남촌

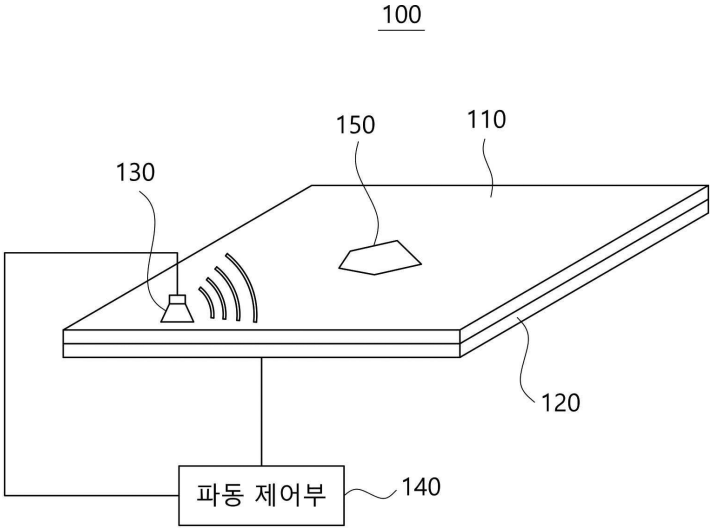
전체 청구항 수 : 총 16 항

(54) 발명의 명칭 **온도 감응 소재의 탄성 모듈러스 변환을 이용한 파동 제어 장치**

(57) 요 약

본 발명은 온도 감응 소재의 탄성 모듈러스 변화를 이용한 파동 제어 장치에 관한 것으로, 온도 변화에 따라 탄성 모듈러스가 변하는 온도 감응 소재로 마련되는 파동 변환 부재와, 상기 파동 변환 부재를 통해 파동을 전파하는 파원과, 상기 파동 변환 부재를 가열하여 파동 변환 영역을 형성하는 가열부를 포함하며; 상기 파원으로부터 상기 파동 변환 부재를 통해 전파되는 파동은 상기 가열부에 의해 가열되는 파동 변환 영역을 통과하면서, 파동의 특성이 변화하는 것을 특징으로 한다. 이에 따라, 메타 표면이 갖는 단점을 극복하고, 동일한 파원을 이용하면서도 매질의 물리적인 구조나 모양을 변형시키지 않고 파동의 파장, 파형, 이동 속도 등의 특성을 제어할 수 있고, 파동의 제어를 위한 매질의 형상을 원하는 형상으로 바꿀 수 있어, 추가적인 파원의 구입이나 새로운 매질의 디자인 및 제작이 소요되는 시간 및 비용을 줄일 수 있다.

대 표 도 - 도2



이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호	2019R1A2C2085583
부처명	과학기술정보통신부
과제관리(전문)기관명	한국연구재단
연구사업명	(이공)중견연구자지원
연구과제명	열가변 유닛셀 조합 기반 온도감응형 열-기계특성 제어 기술 개발
기 여 율	1/2
과제수행기관명	고려대학교 산학협력단
연구기간	2019.09.01 ~ 2023.02.28

이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호	NRF-2017M1A2A2044986
부처명	과학기술정보통신부
과제관리(전문)기관명	한국연구재단
연구사업명	기후변화대응기초.원천기술개발사업
연구과제명	복합열화 현상 제어를 위한 고내구도/내피독성 분리판 설계/개발
기 여 율	1/2
과제수행기관명	고려대학교 산학협력단
연구기간	2017.08.01 ~ 2021.12.31

명 세 서

청구범위

청구항 1

온도 감응 소재의 탄성 모듈러스 변화를 이용한 파동 제어 장치에 있어서,

온도 변화에 따라 탄성 모듈러스가 변하는 온도 감응 소재로 마련되는 파동 변환 부재와,

상기 파동 변환 부재를 통해 파동을 전파하는 파원과,

상기 파동 변환 부재를 가열하여 파동 변환 영역을 형성하는 가열부를 포함하며;

상기 파원으로부터 상기 파동 변환 부재를 통해 전파되는 파동은 상기 가열부에 의해 가열되는 파동 변환 영역을 통과하면서, 파동의 특성이 변화하는 것을 특징으로 하는 파동 제어 장치.

청구항 2

제1항에 있어서,

상기 파동은 고체 표면을 통과할 수 있는 파동을 포함하는 것을 특징으로 하는 파동 제어 장치.

청구항 3

제2항에 있어서,

상기 파동은 초음파, 표면파, 지진파 중 어느 하나를 포함하는 것을 특징으로 하는 파동 제어 장치.

청구항 4

제1항에 있어서,

상기 온도 감응 소재는 온도 감응형 폴리머를 포함하는 것을 특징으로 하는 파동 제어 장치.

청구항 5

제4항에 있어서,

상기 온도 감응형 폴리머는 나일론 재질, 폴리에틸렌(Polyethylene, PE), 폴리에틸렌 테레프탈레이트(Polyethylene terephthalate, PET), 폴리테트라플루오로에틸렌(Polytetrafluoroethylene, PTFE), 이소택틱 폴리프로필렌(Isotactic polypropylene, PP) 중 어느 하나를 포함하는 것을 특징으로 하는 파동 제어 장치.

청구항 6

제1항에 있어서,

상기 가열부는 상기 파동 변환 부재의 일 영역을 선택적으로 가열하여 상기 파동 변환 영역을 형성하되, 상기 파동 변환 영역의 기하학적 형상을 변화시켜 파동의 특성을 변화시키는 것을 특징으로 하는 파동 제어 장치.

청구항 7

제6항에 있어서,

상기 가열부는 상기 파동 변환 부재의 판면을 따라 형성되는 판 형상을 가지고;

판 형상의 상기 가열부는 개별적으로 가열되는 복수의 단위 가열 셀로 구성되며;

복수의 상기 단위 가열 셀 중 일부가 선택적으로 가열되어, 선택적으로 가열된 상기 단위 가열 셀들이 상기 파동 변환 영역을 형성하도록 상기 가열부를 제어하는 파동 제어부를 더 포함하는 것을 특징으로 하는 파동 제어 장치.

청구항 8

제7항에 있어서,

상기 단위 가열 셀은 사각형 형상, 직삼각형 형상, 및 벌집 형상 중 어느 하나의 형상을 갖는 것을 특징으로 하는 파동 제어 장치.

청구항 9

제7항에 있어서,

상기 파동 제어부는 상기 파동 변환 영역의 기하학적 형상이 조절되도록 복수의 단위 가열 셀 중 일부를 선택적으로 가열하여, 상기 파동 변환영역을 통과하는 파동의 특성을 변화시키는 것을 특징으로 하는 파동 제어 장치.

청구항 10

제7항에 있어서,

상기 파동 변환 영역은 파동이 입사되는 입사면과, 파동이 출사하는 출사면을 포함하며;

상기 입사면과 상기 출사면의 기하학적 형상의 조합에 따라 상기 출사면을 통해 출사되는 파동의 특성이 변하는 것을 특징으로 하는 파동 제어 장치.

청구항 11

제10항에 있어서,

상기 파동 제어부는

상기 파원이 원형파를 발생하도록 제어하고,

상기 입사면이 원형파의 진행 방향을 향해 V자 또는 호를 형성하도록 상기 가열부를 제어하여 상기 입사면을 통과하는 원형파를 평면파로 변환시키는 것을 특징으로 하는 파동 제어 장치.

청구항 12

제10항에 있어서,

상기 파동 제어부는

상기 입사면에 의해 변환되거나 상기 입사면으로 입사되는 평면파의 진행 방향과 상기 출사면이 이루는 각도가 조절되도록 상기 가열부를 제어하여 상기 출사면을 통과하는 평면파의 진행 방향을 제어하는 것을 특징으로 하는 파동 제어 장치.

청구항 13

제10항에 있어서,

상기 파동 제어부는

상기 입사면에 의해 변환되거나 상기 입사면으로 입사되는 평면파의 진행 방향을 향해 상기 출사면이 V자를 형성하도록 상기 가열부를 제어하여, 상기 출사면을 통과하는 평면파를 진행 방향 양측으로 분기시키는 것을 특징으로 하는 파동 제어 장치.

청구항 14

제10항에 있어서,

상기 파동 제어부는

상기 파동 변환 영역이 원형 형태를 갖도록 상기 가열부를 제어하여 상기 파원으로부터의 평면파가 상기 출사면의 외측에 집중되도록 제어하는 것을 특징으로 하는 파동 제어 장치.

청구항 15

제7항에 있어서,

상기 파동 제어부는 상기 파동 변환 영역의 온도를 조절하여 상기 파동 변환 영역을 통과하는 파동의 파장을 제어하는 것을 특징으로 하는 파동 제어 장치.

청구항 16

제7항에 있어서,

상기 파동 제어부는 상기 온도 감응 소재의 유리 전이 영역 내의 온도와, 유리 전이 온도 이상의 온도 범위 내에서 선택된 온도로 상기 파동 변환 영역이 가열되도록 상기 가열부를 제어하는 것을 특징으로 하는 파동 제어 장치.

발명의 설명

기 술 분 야

[0001] 본 발명은 온도 감응 소재의 탄성 모듈러스 변환을 이용한 파동 제어 장치에 관한 것으로서, 보다 상세하게는 온도 감응형 폴리머와 같은 온도 감응 소자를 이용하여 초음파와 같은 파동의 특성을 변화시킬 수 있는 파동 제어 장치에 관한 것이다.

배 경 기 술

[0002] 20kHz 이상의 진동수를 가지고 있는 음파로 정의되는 초음파(UW)는 인간의 감각 체계로는 들을 수 없고 인체에 무해하기 때문에 다양한 기술 분야에 적용되고 있는 저가의 안전하고 일반적인 기술이다. 이러한 특성으로 인해, 초음파는 일상생활에서 널리 사용될 뿐만 아니라 의학 영상, 스마트폰 디스플레이 지문 센서, 비파괴 검사, 소나(SONAR)와 같은 소리 탐색 및 범위 조정) 등 다양한 기술 분야에서 사용되고 있다.

[0003] 고체 매개체를 통과하는 초음파는 공기 중에서 이동하는 초음파에 비해 빠른 이동 속도를 가지며, 산업 기술 분야에서 이용되는 중요한 몇 가지 특징을 가지고 있다. 예를 들어, 초음파가 파동 에너지를 집중시켜 고체 매개체 내부의 특정 지점의 온도를 높이는 능력, 음향 임피던스(Impedance)가 다른 물질들 간의 인터페이스와 마주칠 때, 반사되는 특성 등이 포함된다.

[0004] 초음파 관련 기술의 경우에는, 장치의 전체적인 작동을 결정하는 결정적인 요인들이 몇 가지 있는데, 파장, 파형, 그리고 초음파의 방향성이 이에 포함된다. 파장은 초음파 감지 또는 영상 플랫폼의 해상도(Resolution)를 조절하고, 파형과 파동의 방향성은 초음파 효과의 범위에 영향을 미친다.

[0005] 예를 들어, 의료 진단 장치에 사용되는 초음파는 수중에서 1mm의 파장과 공간 해상도를 가지고 있기 때문에 1MHz 이상의 진동수를 가진 초음파로 한정되어 있다. 또한, 초음파 변환기의 디자인은 파형과 감지 범위를 결정한다. 각각의 초음파 변환기가 특정한 진동수, 파형, 또는 진폭을 가진 초음파만을 생산할 수 있기 때문에, 다양한 필요를 위해 초음파를 조절하려는 방법론적인 시도는 수십 년간 주목 받는 주제였다.

[0006] 이와 같은 주제에 대한 가장 포괄적이고 집중적으로 연구된 방법 중 하나는 음향 메타 물질이나 메타 표면(Meta-surface)을 디자인하는 것이었다. 음향 메타 물질이나 메타 표면의 디자인과 관련하여서는, Lu, D. 및 Liu, Z.의 "Nature Communications **3**, 1205, (2012).", Ma, G., Yang, M., Xiao, S. Yang, Z. 및 Sheng, P.의 "Nature Materials **13**, 873-878, (2014).", Li, Y., Liang, B., Gu, Z.-m., Zou, X.-y. 및 Cheng, J.-c.의 "Scientific Reports **3**, 2546, (2013)."에서 소개된 바 있다.

[0007] 음향 메타 물질이나 메타 표면의 디자인은 자연에서 일어날 법하지 않은 방법으로 음파를 조절하는 기능을 갖는 인공적인 구조물에 해당한다. 예를 들어, 음파의 굴절 지수, 음향 정류기(Rectifier), 또는 전반사 인터페이스의 특성을 보여주는 부자연스러운 방법으로 음파의 방향성을 조종하는 것이다.

[0008] 도 1은 기 공지된 음향 메타 표면 디자인의 예를 나타난 도면이다. 메타 표면의 경우에는, 의도된 지점에서의 위상 변조나 위상 지연을 유도하는 특수하게 디자인된 2D의 기하학적 구조를 설계하여 구현될 수 있다.

[0009] 그러나 메타 표면이 요구하는 복잡하면서도 작은 기하학적 구조는 다용도의 초음파 조정에 있어 그 적용 가능성을 제한하게 된다. 이는 특정한 스케일을 가진 메타 표면의 단위 기하학적 구조가 특정한 파장(또는 진동수) 범위를 가진 파동에에 대해서는 적용되기 때문이다. 또한, 고해상도의 메타 표면 유닛을 제작하는데 3D 프린팅이나 레이저 커팅 기술 같은 진보된 제조 기술이 요구되고, 이는 광범위한 적용에 제약이 된다. 복잡한 디자인 없

이 초음파를 조정할 수 있는 더 좋은 방법이 기존의 메타 표면 기술보다 넓은 진동수 범위를 가진 파동을 제어하기 위해 요구되고 있다.

발명의 내용

해결하려는 과제

[0010] 이에 본 발명은 상기와 같은 문제점을 해결하기 위해 안출된 것으로, 메타 표면이 갖는 단점을 극복하고, 동일한 파원을 이용하면서도 매질의 물리적인 구조나 모양을 변형시키지 않고 파동의 파장, 파형, 이동 속도 등의 특성을 제어할 수 있는 파동 제어 장치를 제공하는데 그 목적이 있다.

[0011] 또한, 파동의 제어를 위한 매질의 형상을 원하는 형상으로 바꿀 수 있어, 추가적인 파원의 구입이나 새로운 매질의 디자인 및 제작이 소요되는 시간 및 비용을 줄일 수 있는 파동 제어 장치를 제공하는데 또 다른 목적이 있다.

과제의 해결 수단

[0012] 상기 목적은 본 발명에 따라, 온도 감응 소재의 탄성 모듈러스 변화를 이용한 파동 제어 장치에 있어서, 온도 변화에 따라 탄성 모듈러스가 변하는 온도 감응 소재로 마련되는 파동 변환 부재와, 상기 파동 변환 부재를 통해 파동을 전파하는 파원과, 상기 파동 변환 부재를 가열하여 파동 변환 영역을 형성하는 가열부를 포함하며; 상기 파원으로부터 상기 파동 변환 부재를 통해 전파되는 파동은 상기 가열부에 의해 가열되는 파동 변환 영역을 통과하면서, 파동의 특성이 변화하는 것을 특징으로 하는 파동 제어 장치에 의해서 달성된다.

[0013] 여기서, 상기 파동은 고체 표면을 통과할 수 있는 파동을 포함할 수 있다.

[0014] 그리고, 상기 파동은 초음파, 표면파, 지진파 중 어느 하나를 포함할 수 있다.

[0015] 그리고, 상기 온도 감응 소재는 온도 감응형 폴리머를 포함할 수 있다.

[0016] 그리고, 상기 온도 감응형 폴리머는 나일론 재질, 폴리에틸렌(Polyethylene, PE), 폴리에틸렌 테레프탈레이트(Polyethylene terephthalate, PET), 폴리테트라플루오로에틸렌(Polytetrafluoroethylene, PTFE), 이소택틱 폴리프로필렌(Isotactic polypropylene, PP) 중 어느 하나를 포함할 수 있다.

[0017] 그리고, 상기 가열부는 상기 파동 변환 부재의 일 영역을 선택적으로 가열하여 상기 파동 변환 영역을 형성하되, 상기 파동 변환 영역의 기하학적 형상을 변화시켜 파동의 특성을 변화시킬 수 있다.

[0018] 또한, 상기 가열부는 상기 파동 변환 부재의 판면을 따라 형성되는 판 형상을 가지고; 판 형상의 상기 가열부는 개별적으로 가열되는 복수의 단위 가열 셀로 구성되며; 복수의 상기 단위 가열 셀 중 일부가 선택적으로 가열되어, 선택적으로 가열된 상기 단위 가열 셀들이 상기 파동 변환 영역을 형성하도록 상기 가열부를 제어하는 파동 제어부를 더 포함할 수 있다.

[0019] 그리고, 상기 단위 가열 셀은 사각형 형상, 직삼각형 형상, 및 벌집 형상 중 어느 하나의 형상을 가질 수 있다.

[0020] 그리고, 상기 파동 제어부는 상기 파동 변환 영역의 기하학적 형상이 조절되도록 복수의 단위 가열 셀 중 일부를 선택적으로 가열하여, 상기 파동 변환영역을 통과하는 파동의 특성을 변화시킬 수 있다.

[0021] 그리고, 상기 파동 변환 영역은 파동이 입사되는 입사면과, 파동이 출사하는 출사면을 포함하며; 상기 입사면과 상기 출사면의 기하학적 형상의 조합에 따라 상기 출사면을 통해 출사되는 파동의 특성이 변할 수 있다.

[0022] 또한, 상기 파동 제어부는 상기 파원이 원형파를 발생하도록 제어하고, 상기 입사면이 원형파의 진행 방향을 향해 V자 또는 호를 형성하도록 상기 가열부를 제어하여 상기 입사면을 통과하는 원형파를 평면파로 변환시킬 수 있다.

[0023] 그리고, 상기 파동 제어부는 상기 입사면에 의해 변환되거나 상기 입사면으로 입사되는 평면파의 진행 방향과 상기 출사면이 이루는 각도가 조절되도록 상기 가열부를 제어하여 상기 출사면을 통과하는 평면파의 진행 방향을 제어할 수 있다.

[0024] 그리고, 상기 파동 제어부는 상기 입사면에 의해 변환되거나 상기 입사면으로 입사되는 평면파의 진행 방향을 향해 상기 출사면이 V자를 형성하도록 상기 가열부를 제어하여, 상기 출사면을 통과하는 평면파를 진행 방향 양측으로 분기시킬 수 있다.

[0025] 그리고, 상기 파동 제어부는 상기 파동 변환 영역이 원형 형태를 갖도록 상기 가열부를 제어하여 상기 파원으로부터의 평면파가 상기 출사면의 외측에 집중되도록 제어할 수 있다.

[0026] 그리고, 상기 파동 제어부는 상기 파동 변환 영역의 온도를 조절하여 상기 파동 변환 영역을 통과하는 파동의 파장을 제어할 수 있다.

[0027] 그리고, 상기 파동 제어부는 상기 온도 감응 소재의 유리 전이 영역 내의 온도와, 유리 전이 온도 이상의 온도 범위 내에서 선택된 온도로 상기 파동 변환 영역이 가열되도록 상기 가열부를 제어할 수 있다.

발명의 효과

[0028] 상기와 같은 구성에 따라, 본 발명에 따르면, 메타 표면이 갖는 단점을 극복하고, 동일한 파원을 이용하면서도 매질의 물리적인 구조나 모양을 변형시키지 않고 파동의 파장, 파형, 이동 속도 등의 특성을 제어할 수 있는 파동 제어 장치가 제공된다.

[0029] 또한, 파동의 제어를 위한 매질의 형상을 원하는 형상으로 바꿀 수 있어, 추가적인 파원의 구입이나 새로운 매질의 디자인 및 제작이 소요되는 시간 및 비용을 줄일 수 있는 파동 제어 장치가 제공된다.

[0030] 그리고, 파동 변환 부재 내의 파동 변환 영역의 가하학적 형상과 가열 온도의 조절을 통해 파동 변환 부재 내부와 파동 변환 부재를 통과하는 파동을 다양하게 제어할 수 있다.

[0031] 그리고, 파동 변환 부재 내의 파동 변환 영역의 온도가 가열부의 가열을 중단하면 원상태로 복귀하기 때문에, 파동 제어 기능을 위해 사용한 매질을 다른 용도로 재활용할 수 있다.

도면의 간단한 설명

[0032] 도 1은 기 공지된 음향 메타 표면 디자인의 예를 나타난 도면이고,

도 2는 본 발명의 실시예에 따른 파형 제어 장치의 구성을 나타낸 도면이고,

도 3 및 도 4는 본 발명의 실시예에 따른 파형 제어 장치의 동작 원리를 설명하기 위한 도면이고,

도 5는 본 발명의 실시예에 따른 파형 제어 장치의 가열부의 예들을 나타낸 도면이고,

도 6 내지 도 10은 본 발명에 따른 파형 제어 장치의 효과를 설명하기 위한 시뮬레이션 결과를 나타낸 도면이고,

도 11은 본 발명의 실시예에 따른 파형 제어 장치를 실험하기 위한 셋업의 구성을 나타낸 도면이고,

도 12는 도 11의 셋업을 이용한 실험 결과를 나타낸 도면이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0033] 본 발명의 이점 및 특징, 그리고 그것들을 달성하는 방법은 첨부되는 도면과 함께 상세하게 후술되어 있는 실시예들을 참조하면 명확해질 것이다. 그러나 본 발명은 이하에서 개시되는 실시예들에 한정되는 것이 아니라 서로 다른 다양한 형태로 구현될 수 있으며, 단지 본 실시예들은 본 발명의 개시가 완전하도록 하고, 본 발명이 속하는 기술분야에서 통상의 지식을 가진 자에게 발명의 범주를 완전하게 알려주기 위해 제공되는 것이며, 본 발명은 청구항의 범주에 의해 정의될 뿐이다. 명세서 전체에 걸쳐 동일 참조 부호는 동일 구성 요소를 지칭한다.

[0034] 본 발명의 실시예에 따른 파형 제어 장치는 온도 감응 소재의 탄성 모듈러스(Elastic modulus)의 변화를 이용하여 파형을 제어한다. 도 2는 본 발명의 실시예에 따른 파형 제어 장치의 구성을 나타낸 도면이다. 도 2를 참조하여 설명하면, 본 발명의 실시예에 따른 파형 제어 장치는 파동 변환 부재(110), 파원(130), 가열부(120) 및 파동 제어부(140)를 포함한다.

[0035] 파동 변환 부재(110)는 온도 변화에 따라 탄성 모듈러스가 변하는 온도 감응 소재로 마련된다. 본 발명에서는 온도 감응 소재로 온도 감응형 폴리머가 적용되는 것을 예로 하며, 온도 감응형 폴리머로 나일론 재질, 예컨대, 나일론 6(Nylon 6)가 적용되는 것을 예로 한다.

[0036] 파원(130)은 파동 변환 부재(110)를 통해 파동을 전파시킨다. 본 발명에서는 파원(130)으로부터 전파되는 파동이 초음파(Ultra sonic)인 것을 예로 한다.

[0037] 가열부(120)는 파동 변환 부재(110)를 가열하여 파동 변환 영역(150)을 형성한다. 이를 통해, 파원(130)으로부

터 파동 변환 부재(110)를 통해 전파되는 파동, 예컨대 상술한 예에서의 초음파(이하, 초음파를 예로 하여 설명함)는 가열부(120)에 의해 가열되는 파동 변환 영역(150)을 통과하면서, 파동의 특성, 예를 들어, 파장, 파형, 또는 진행 방향이 변하게 된다.

[0038] 여기서, 가열부(120)는 파동 변환 부재(110)의 일 영역을 선택적으로 가열하여 파동 변환 영역(150)을 형성하는 것을 예로 한다. 이 때, 가열부(120)는 파동 변환 부재(110)의 일 영역을 선택적으로 가열하되, 파동 변환 영역(150)의 기하학적 형상을 변화시켜 파동의 특성을 변화시키게 된다.

[0039] 이하에서는, 나일론 6을 예로 하며, 파동 변환 부재(110)의 국부적인 가열을 통해 파동 변환 부재(110)에 형성된 파동 변환 영역(150)을 초음파가 통과할 때 초음파의 특성이 변화되는 현상에 대해 설명한다.

[0040] 도 3의 (a)는 0℃에서 120℃ 사이에서의 나일론 6의 온도 감응 탄성 모듈러스와, 그에 상응하는 초음파의 속도를 나타낸 도면이다. 탄성 모듈러스와 초음파의 속도는 유리 전이 온도(Glass transition temperature, GTT)를 넘어서면서 안정기에 도달할 때까지 급격하게 감소하는 것을 알 수 있다.

[0041] 나일론 6을 가열하여 온도를 높혀 특정 온도까지 가열하면, 나일론 6은 낮은 안정기에 도달할 때까지 벌크 모듈러스(Bulk modulus)가 급격히 감소한다. 벌크 모듈러스가 최고와 최저의 안정기에 있을 때까지의 온도 범위를 유리 전이 영역(Glass transition region)이라 하며, 벌크 모듈러스의 최저 안정기가 시작되는 지점을 유리 전이 온도라 한다. 유리 전이 온도는 온도 감응형 폴리머의 유형에 따라 0℃에서 300℃까지 다양한다.

[0042] 온도가 상승함에 따라 나일론 6와 같은 온도 감응형 폴리머의 벌크 모듈러스가 감소하는 것은 금속 역시 온도가 상승할 때 연속적으로 감소하는 현상을 보이기 때문에 온도 감응형 폴리머 만의 특성으로 볼 수 없다. 그러나, 온도 감응형 폴리머는 유리 전이 영역 내부에서 벌크 모듈러스가 급격하게 감소하는 계단식 함수를 나타내는데 특징이 있다. 또한 온도 감응형 폴리머의 유리 전이 영역은 1000℃ 이상을 넘지 않는다.

[0043] 이와 같은 온도 감응형 폴리머의 예외적인 특성은 온도 감응형 폴리머의 화학 구조가 유리 상태와 고무 상태 간의 변화에서 기인한다. 두 상태 간의 온도 감응형 폴리머의 급격한 변화는 온도 감응형 폴리머로 제작되는 파동 변환 부재(110)에서 가열되는 파동 변환 영역(150)과, 이외 영역 간의 경계면을 형성하게 된다.

[0044] 고체의 매개체를 통해 전파되는 음파의 속도는 $v = \sqrt{B/\rho}$ 로 정의되며, B는 벌크 모듈러스이고, ρ는 매개체의 밀도이다. 고체의 벌크 모듈러스는 $B = E/3(1-2\upsilon)$ 로 표현되는데, 여기서, E는 탄성 모듈러스이고, υ는 푸아송 비(Poisson's ratio)인데, 나일론 6의 푸아송 비가 대략 0.33일 때 벌크 모듈러스는 탄성 모듈러스와 거의 동일한 값을 갖는다. 다른 많은 온도 감응형 폴리머에서, 푸아송 비는 0.3 ~ 0.4의 범위에 있기 때문에, $B \approx E$ 라고 합리적으로 추정할 수 있다. 이는 대부분의 온도 감응 폴리머에서 $v \approx \sqrt{E/\rho}$ 라는 것을 의미한다. 나일론 6의 탄성 모듈러스의 변화 양상과 이에 대응하는 초음파의 속도는 도 3의 (a)에 도시된 바와 같다. 여기서, 탄성 모듈러스의 최고 안정기 및 최저 안정기에서의 탄성 모듈러스는 각각 467 Pa와 99.4 Pa였고, 유리 감응 온도는 대략 80℃ 이다. 온도가 유리 감응 온도 이상으로 상승하면, 탄성 모듈러스가 87% 수준으로 하락하고, 나일론 6을 지나는 통과하는 음파의 속도 υ는 감소하는 것을 확인할 수 있다.

[0045] 도 3의 (b)는 본 발명에 따른 파장 제어 장치의 작동 원리를 개념적으로 도시한 도면이다. 나일론 6, 즉 본 발명에서의 파동 변환 부재(110)에 원형 파 형태의 초음파를 전파 유리 전이 온도 이상으로 가열된 영역, 즉 파동 변환 영역(150)을 통과시키면, 파동 변환 영역(150)을 통과하는 초음파의 특성, 예컨대, 파장, 파형 및 방향이 변화한다.

[0046] 이는 가열된 영역인 파동 변환 영역(150)이 가열되지 않은 영역보다 상당히 낮은 탄성 모듈러스를 가지고 있어, 그 부분에서 파동 전파 속도가 바뀌기 때문이다($v \approx \sqrt{E/\rho}$). 일반적으로 음파가 서로 다른 굴절률(n_1, n_2)을 가진 두 매개체의 경계면을 통과할 때, 파동은 θ_1이 입사각이고, θ_2가 반사각인 경계면에서 $n_1 sin\theta_1 = n_2 sin\theta_2$에 의해 결정되는 방향으로 굴절된다. 상대 굴절 지수(Relative reflective index) $n_i = 1/v_i$의 정의에서, v_i가 i 번째 매개체 내부에서의 음파 전파 속도를 나타내면, 기존의 Snell의 법칙은 $sin\theta_1/v_1 = sin\theta_2/v_2$로 다시 표현할 수 있다. 이는 도 3의 (b)에 도시된 바와 같이, 매개체 내부에서의 파동 전파 속도의 급격한 변화는 굴절에 의해 전파의 방향이 바뀌는 것을 유도하고, 이에 따라, 본 발명에 따른 파동 제어 장치(100)가 파동의 방향을 제어하게 된다. 마찬가지로, 본 발명에 따른 파동 제어 장치(100)가 방향

제어 외에, 전반사, 포커싱, 분기와 같은 제어가 가능하게 되는데, 이에 대한 설명은 후술한다.

[0047] 본 발명에 따른 파동 제어 장치(100)는 두 개의 서로 다른 물질 간의 인터페이스, 즉 경계면을 만나는 기존의 플랫폼과는 달리, 단일 전파 매개체, 즉 파동 변환 부재(110) 내부에서 파동 제어가 가능하다는 점에 특징이 있다.

[0048] 서로 다른 매개체 간의 인터페이스는 서로 다른 두 매개체 간의 불완전한 접착으로 인해 의도하지 않은 왜곡이나 감쇠 등의 현상이 발생하는 반면, 본 발명에 따른 파동 제어 장치(100)의 파동 변환 부재(110)는 단일의 온도 감응 소재, 예컨대 나일로 6과 같은 온도 감응형 폴리머 내부에 가열된 영역인 파동 변환 영역(150)을 형성함으로써, 기존의 서로 다른 매치게 간의 인터페이스에서 발생하는 문제점을 해소하는 효과가 제공된다.

[0049] 또한, 초음파와 같은 음파는 서로 다른 음향 임피던스(Acoustic impedance) $Z = \rho v$를 갖는 두 개의 서로 다른 매개체 간의 인터페이스에서 굴절될 뿐만 아니라 반사되기도 한다. 이는 입사파와 반사파 간의 충돌을 입사파와 반사파 간의 충돌을 일으켜 원하지 않는 파형 변형을 야기시키게 된다. 반면, 본 발명에 따른 파동 제어 장치(100)와 같이 단일 매개체 내부에서의 파동 제어는 음향 임피던스 간의 불일치가 일어나는 인터페이스가 존재하지 않아, 상기와 같은 문제점을 해소하는 효과를 제공하게 된다. 이는 단일 매개체인 파동 변환 부재(110)의 온도 변화도가 도 4에 도시된 바와 같이, 형성되기 때문에 파동 전파 속도가 가열된 영역 내부에서 연속적인 변화를 겪기 때문이다. 특정 두께 내부에서의 속도 v의 부드러운 변화는 Z의 연속적인 변화를 유도하고, 입사파의 명확한 반사가 이루어지지 않게 된다.

[0050] 도 4의 (a)는 2D 나일론 판(두께 = 0.5 ㎜)이 145℃로 가열되었을 때 6×10^{3} K/m의 급격한 온도 변화도의 형상을 나타낸 도면이다. 이와 같은 예외적인 나일론 6의 급격한 온도 변화도는 도 4의 (b)에 도시된 바와 같이, 동일 두께의 금속판(스테인리스 스틸, 1.71×10^{3} K/m)을 동일 온도로 가열하였을 때와 비교된다. 나일론 6과 스레인리스 스틸의 온도 변화도 차이는 열 전도성 차이에서 비롯되는데, 나일론 6은 16.26 W//mK의 열 전도성을 갖는 스테인리스 스틸에 비해 상당히 낮은 0.24~0.28 W//mK의 열 전도성을 갖는다.

[0051] 이러한 특성은 음향 임피던스 차이로 인한 상술한 문제점을 해소할 뿐만 아니라 파장 변환 부재의 국부적인 가열을 통한 파장 변환 영역을 형성할 때, 파장 변환 영역의 기하학적 형상의 선명한 윤곽을 유지시킬 수 있어, 원하는 파장의 제어가 가능하게 된다.

[0052] 도 5는 본 발명의 실시예에 따른 파동 제어 장치(100)의 가열부(120)의 구성의 예를 나타낸 도면이다. 도 5에 도시된 예들은 파동 변환 영역(150)을 일 영역을 선택적으로 가열하고, 또한 파동 변환 영역(150)의 기하학적 형상을 변화시켜 파동의 특성을 변화시키기 위한 구성의 예이다.

[0053] 도 1 및 도 5에 도시된 바와 같이, 가열부(120)는 파동 변환 부재(110)의 판면을 따라 형성되는 판 형상을 가진다. 그리고, 판 형상의 가열부(120)는, 도 5에 도시된 바와 같이, 개별적으로 가열되는 복수의 단위 가열 셀(121)로 구성된다.

[0054] 여기서, 파동 제어부(140)는 복수의 단위 가열 셀(121) 중 일부가 선택적으로 가열되도록 가열부(120)를 제어하게 되는데, 선택적으로 가열되는 단위 가열 셀(121)들이 파동 변환 영역(150)을 형성하게 되고, 가열되는 단위 가열 셀(121)의 선택에 따라 파동 변환 영역(150)의 기하학적 형상을 변화시킬 수 있게 된다.

[0055] 도 5의 (a)는 단위 가열 셀(121)이 사각형 형상을 갖는 예이고, 도 5의 (b)는 단위 가열 셀(121)이 직삼각형 형상을 갖는 예이고, 도 5의 (c)는 단위 가열 셀(121)이 벌집 형상을 갖는 예이다. 그리고, 도 5의 (b) 및 (c)에 도시된 바와 같이, 복수의 단위 가열 셀(121) 중 가열될 셀의 선택에 따라 서로 다른 기하학적 형상의 파동 변환 영역(150)이 형성되는 것을 확인할 수 있다.

[0056] 한편, 파동 변환 영역(150)은 파동이 입사하는 입사면과, 파동이 출사하는 출사면을 포함할 수 있다. 입사면 및 출사면은 파동 변환 부재(110)의 가열되지 않은 영역과의 경계면, 즉 상술한 인터페이스를 형성하게 되고, 이러한 인터페이스에서 파동 특성의 변화가 발생한다.

[0057] 도 6 내지 도 10은 본 발명에 따른 파형 제어 장치(100)의 효과를 설명하기 위한 시뮬레이션 결과를 나타낸 도면

[0058] 먼저, 도 6을 참조하여 설명하면, 나일론 6 판을 특성을 이용한 시뮬레이션 결과로, 도 5의 (b)에 도시된 단위 가열 셀(121) 구조를 갖는 가열부(120)를 적용한 시뮬레이션 결과이다. 하얀색의 실선 경계로 나타난 부분이 파

동 변환 영역(150)이다. 시뮬레이션은 Comsol Multiphysics v5.2의 압력 음향(Pressure acoustics)을 이용하여 실행되었다. 파원(130)에서 전파되는 파동은 40 kHz의 초음파로 원형파이다. 도면 상에서 빨간색과 파란색이 음향 압력을 나타낸다.

[0059] 도 6의 (a)에 도시된 바와 같이, 파원(130)이 원형파를 발생하도록 제어하는 상태에서, 파동 제어부(140)가 파동 변환 영역(150)의 입사면이 원형파의 진행 방향을 향해 V자를 형성하도록 가열부(120)를 제어하게 되면, 입사면을 통과하는 원형파가 평면파로 변환되는 것을 확인할 수 있다. 입사면을 통과하면서 변환된 평면파는 파동 변환 영역(150)을 지나 출사면으로 향하게 되는데, 출사면이 평면파의 이동 방향과 수직인 경우에는 도 6의 (a)에 도시된 바와 같이, 평면파를 유지하면서 출사면을 통과하게 된다. 이 때, 입사면과 출사면을 통과할 때의 파장의 변화는 발생하게 된다.

[0060] 반면, 도 6의 (b)에 도시된 바와 같이, 출사면이 평면파의 진행 방향과 일정 각도를 갖도록 형성되는 경우, 출사면을 통과하는 평면파의 진행 방향이 제어될 수 있다. 여기서, 출사면이 평면파의 진행 방향과 이루는 각도에 따라 출사면을 통과하는 평면파가 꺾기는 각도, 즉 굴절각 θ_2가 조절된다.

[0061] 여기서, 파동 변환 영역(150) 내부에서의 파동 전파 속도를 v_1이라 가정하면, 파동 변환 영역(150) 외부에서의 파동 전파 속도는 v_2이고, 굴절각 θ_2는 Snell의 법칙에 따라 조절될 수 있다. 이를 수식으로 정리하면, $\theta_2 = \sin^{-1}[(v_2/v_1)\sin\theta_1]$이다.

[0062] 여기서, v_1은 $v_1 \approx \sqrt{E/\rho}$에 의해 파동 변환 영역(150) 내부의 모듈러스를 조절하여 조절할 수 있고, 파동 변환 영역(150)의 기하학적 형상을 조절하여 출사면의 각도 θ_1를 조절할 수 있어, 굴절각 θ_2의 제어가 가능하게 된다.

[0063] 도 7을 참조하여 보다 구체적으로 설명하면, 파동 변환 영역(150)은 동일한 온도와 모듈러스를 갖고 있으므로, 굴절각 θ_2는 파동 변환 영역(150)이 기하학적 형상인 출사면의 각도 θ_1의 조절을 통해 제어 가능하다. 수식 $\theta_2 = \sin^{-1}[(v_2/v_1)\sin\theta_1]$에서, v_1 및 v_2가 고정되어 있으면, θ_2는 θ_1의 조절을 통해 제어가 가능하게 된다. 도 7의 (a)는 θ_2가 26.6° 가 되도록 θ_1을 조절한 것이고, 도 7의 (b)는 θ_2가 14.0° 가 되도록 θ_1을 조절한 시뮬레이션의 예를 나타내고 있다. 도 7에 도시된 실시예에서는 파원(130)으로부터 평면파가 입사면으로 입사되는 예를 시뮬레이션한 결과이다.

[0064] θ_1을 증가시키면, θ_2가 이에 대응하여 증가하게 되는데, θ_2가 90° 가 되는 θ_1의 각도를 임계값이라 정의할 때, 임계값은 파동 변환 부재(110)에 적용되는 온도 감응 소재의 종류, 입사되는 파동의 특성에 따라 달라질 수 있으며, 위 시뮬레이션에서는 33° 로 나타났다.

[0065] 도 8은 정육각형 형상, 즉 벌집 형상의 단위 가열 셀(121)로 구성된 가열부(120)가 적용된 시뮬레이션 결과를 나타낸 도면이다. 단위 가열 셀(121)은 한 변의 길이가 6 ㎜로 설정되었다. 벌집 형상의 단위 가열 셀(121)은 빈 공간이나 공간적 낭비없이 전체 영역을 빽빽하게 배열 가능한 장점이 있다.

[0066] 도 8의 (a)는 출사면이 파동의 진행 방향을 향해 V자 형상을 갖도록 파동 변환 영역(150)을 형성한 예를 나타낸 도면이다. 그리고, 입사면은 파동의 진행 방향과 수직인 상태로 형성되고, 도 8의 (b)에 도시된 바와 같이, 파원(130)으로부터 평면파가 입사되는 예를 나타내고 있다.

[0067] 평면파가 입사면을 통해 파동 변환 영역(150)으로 입사되면, 평면파 형태를 유지하면서 출사면으로 향하게 되고, V자 형태의 출사면에서 양측으로 분기되는 형태를 갖는다. 그리고, 도 8의 (c)에 도시된 바와 같이, 분기된 각각의 파동의 세기를 3차원적으로 도시한 도면으로, 강한 파동이 양측으로 분기되는 것을 확인할 수 있다. 여기서, 분기되는 각도는 V자 형태의 출사면의 각도 조절을 통해 가능함은 도 6 및 도 7을 통해 확인할 수 있다.

[0068] 도 9 및 도 10은 파동 변환 영역(150)이 원형 형태를 갖는 예를 시뮬레이션한 결과를 나타낸 도면이다.

[0069] 시뮬레이션에서는 140℃로 파동 변환 영역(150)을 가열하였는데, 평면파가 원형의 파동 변환 영역(150)으로 입사되면, 출사면의 외측 인근에서 파동이 집중되는 것을 확인할 수 있다. 도 10의 (a)는 파동의 세기를 3차원 적으로 나타낸 것이고, 도 10의 (b)는 도 9의 (a)의 a-a', b-b' 선에 따른 파동의 세기를 나타낸 도면으로, 파동

의 세기가 집중되는 것을 확인할 수 있다.

[0070] 도 11은 본 발명의 실시예에 따른 파형 제어 장치를 실험하기 위한 셋업의 구성을 나타낸 도면이다.

[0071] 도 11을 참조하여 설명하면, 펠티에 히터(122)(Peltier heater)로 파동 변환 영역(150)을 형성하기 위한 구리판(124)을 가열하였다. 즉, 구리판(124)의 형상을 파동 변환 영역(150)의 형상으로 제단하고, 이를 나일론 6 판의 하부에 부착한 후 펠티에 히터(122)로 구리판(124)을 가열하여 나일론 6 판에 파동 변환 영역(150)을 형성하였다. 전원 공급 장치(123)로부터의 외부 전압에 의해 펠티에 히터(122)의 온도를 제어하였으며, 구리판(124)은 20분 내외로 섭씨 100도까지 가열하는 것을 가능하게 했다. 이러한 구성을 통해, 전원 공급 장치(123), 구리판(124), 그리고 펠티에 히터(122)가 가열부(120)를 구성하게 된다.

[0072] PSV-500 스캐닝 진동계(160)가 나일론 6 판의 표면에서 전파되는 초음파 음향 압력과 속도를 분석하는데 적용된다. 스캐닝 진동계(160)는 레이저를 사용하여 평면의 특정 지점의 진동을 감지하고,많은 포인트 데이터가 스캔된 영역의 음향 압력 필드를 형성하기 위해 합성된다. 파원(130)은 40 kHz의 원형 초음파를 형성한다.

[0073] 도 12는 도 11에 도시된 셋업을 이용한 실험 결과를 나타낸 도면이다.

[0074] 도 12의 좌측 위와 아래에 도시된 도면은 파원(130)에서 전파되는 초음파의 시뮬레이션 결과이고, 도 12의 우측 위와 아래에 도시된 도면은 도 11에 도시된 셋업을 이용한 실험 결과를 나타낸 도면이다. 도 12에서 각각의 결과가 사분면 1과 사분면 3(빨간색 실선으로 표시된 사각형)이 가열된 파형 변환 영역이고, 본 실험에서는 90℃로 가열하였다. 그리고, 도 12의 위 측의 두 실험은 파원(130)이 사분면 4에 위치할 때이고, 아래 측의 두 실험은 파원(130)이 중앙에 위치할 때의 실험 결과이다.

[0075] 시뮬레이션과 셋업을 통한 실험 결과가 유사한 형태의 파동의 변화를 나타냄을 확인할 수 있으며, 이를 통해, 본 발명에 따른 파동 제어 장치(100)가 파동의 특성을 변화시킬 수 있음을 확인할 수 있다.

[0076] 전술한 실시예에서는 온도 감응 소재로 온도 감응형 폴리머를 예로 하여 설명하였으나, 이에 국한되지 않으며 온도에 따라 탄성 모듈러스가 변하는 다른 소재, 예를 들어 금속이 적용 가능함은 물론이다. 또한, 온도 감응형 폴리머로 나일론 6을 예로 하여 설명하였으나, 폴리에틸렌(Polyethylene, PE), 폴리에틸렌 테레프탈레이트(Polyethylene terephthalate, PET), 폴리테트라플루오로에틸렌(Polytetrafluoroethylene, PTFE), 이소택틱 폴리프로필렌(Isotactic polypropylene, PP)이 적용될 수 있음은 물론이다.

[0077] 그리고, 전술한 실시예에서는 파동으로 초음파가 적용되는 것을 예로 하고 있으나, 고체 표면을 통과할 수 있는 다른 종류의 파동, 예를 들어 표면파나 지진파가 적용될 수 있다.

[0078] 이상의 설명은 본 발명의 기술 사상을 예시적으로 설명한 것에 불과한 것으로서, 본 발명이 속하는 기술 분야에서 통상의 지식을 가진 자라면 본 발명의 본질적인 특성에서 벗어나지 않는 범위에서 다양한 수정 및 변형이 가능할 것이다. 따라서 본 발명에 개시된 실시예들은 본 발명의 기술 사상을 한정하기 위한 것이 아니라 설명하기 위한 것이고, 이러한 실시예에 의하여 본 발명의 기술 사상의 범위가 한정되는 것은 아니다. 본 발명의 보호 범위는 아래의 청구범위에 의하여 해석되어야 하며, 그와 동등한 범위 내에 있는 모든 기술사상은 본 발명의 권리범위에 포함되는 것으로 해석되어야 할 것이다.

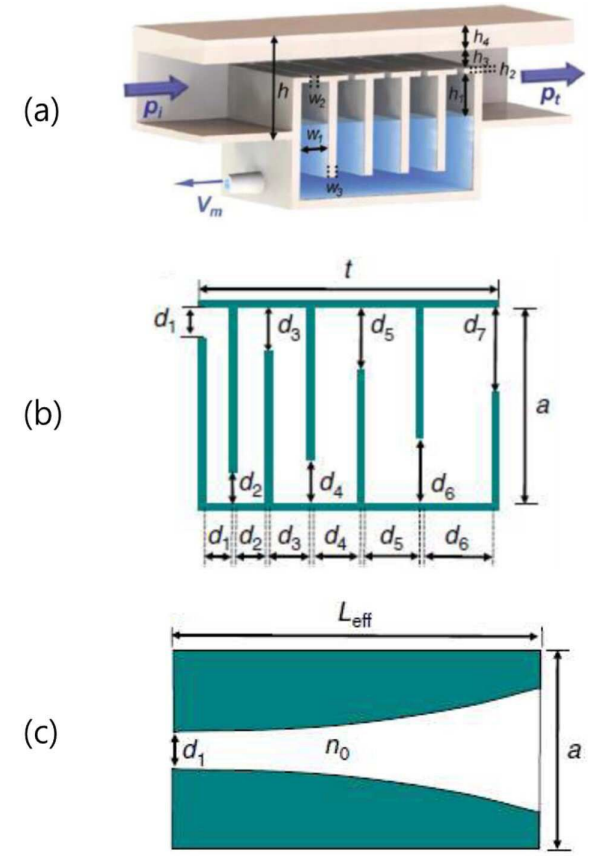
부호의 설명

[0079]

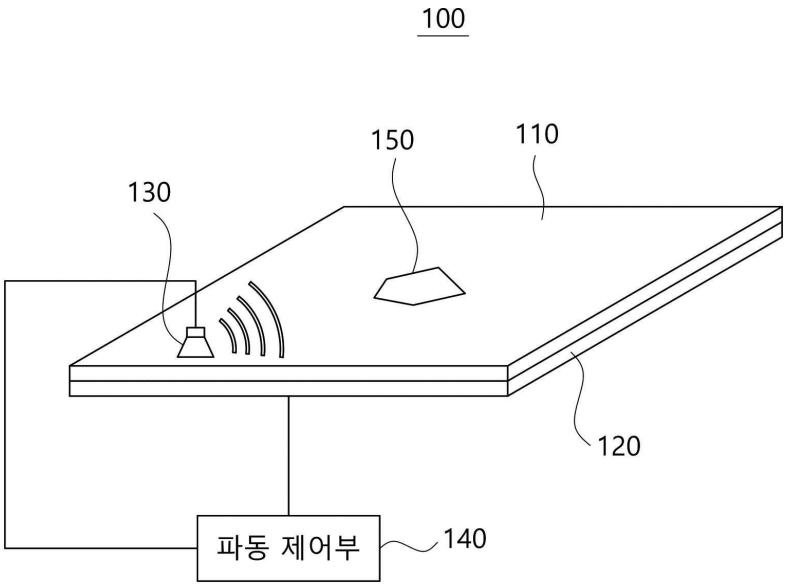
100	: 파동 제어 장치	110	: 파동 변환 부재
120	: 가열부	121	: 단위 가열 셀
130	: 파원	140	: 파동 제어부
150	: 파동 변환 영역		

도면

도면1

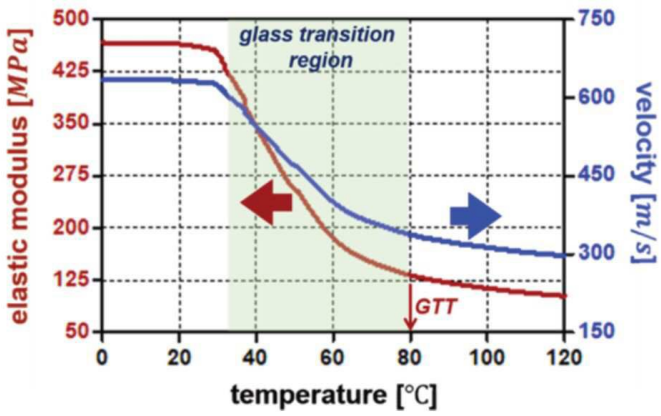

(a)
p_i
p_t
V_m
h
h_4
h_3
h_2
h_1
w_2
w_1
w_3
(b)
t
d_1
d_3
d_5
d_7
d_2
d_4
d_6
a
(c)
L_{eff}
n_0

도면2

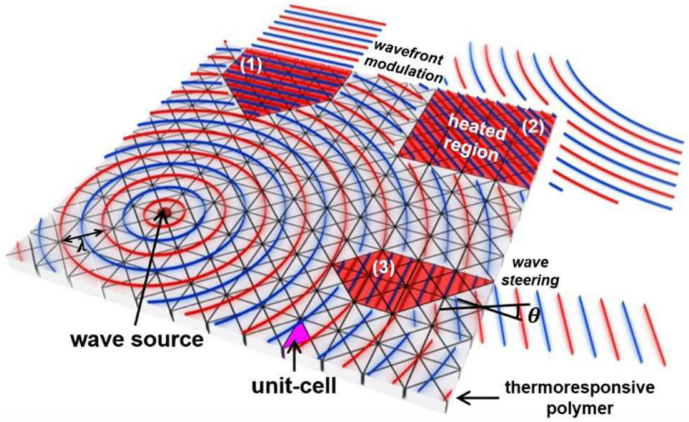

100
150
110
130
120
파동 제어부
140

도면3

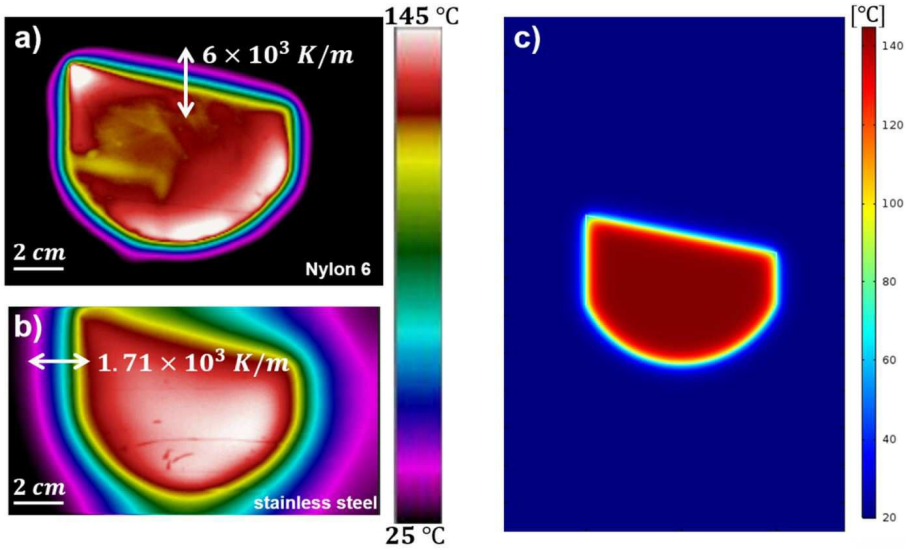
(a)


glass transition region
elastic modulus [MPa]
velocity [m/s]
temperature [℃]
GTT
500
425
350
275
200
125
50
750
600
450
300
150
0
20
40
60
80
100
120

(b)

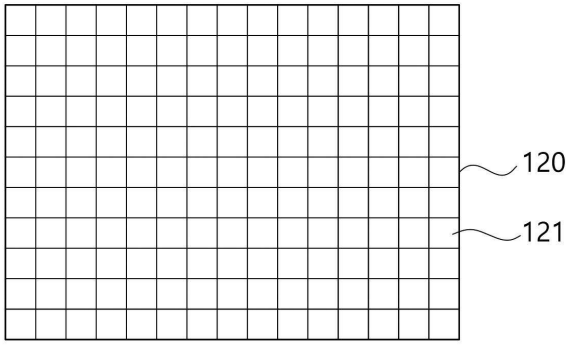

wavefront modulation
(1)
heated region
(2)
(3)
wave steering
θ
λ
wave source
unit-cell
thermoresponsive polymer

도면4

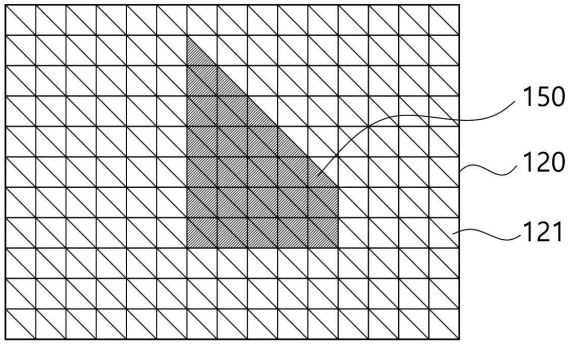

a)
6 × 10³ K/m
2 cm
Nylon 6
b)
1.71 × 10³ K/m
2 cm
stainless steel
145 °C
25 °C
c)
[°C]
140
120
100
80
60
40
20

도면5

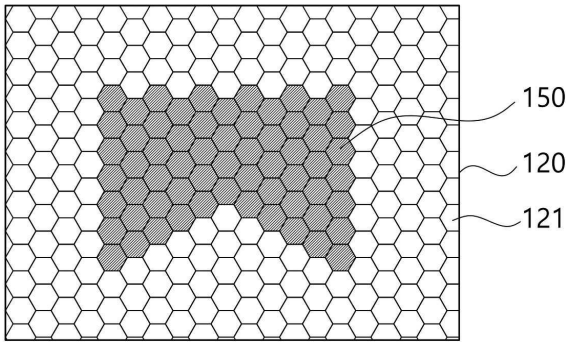
(a)



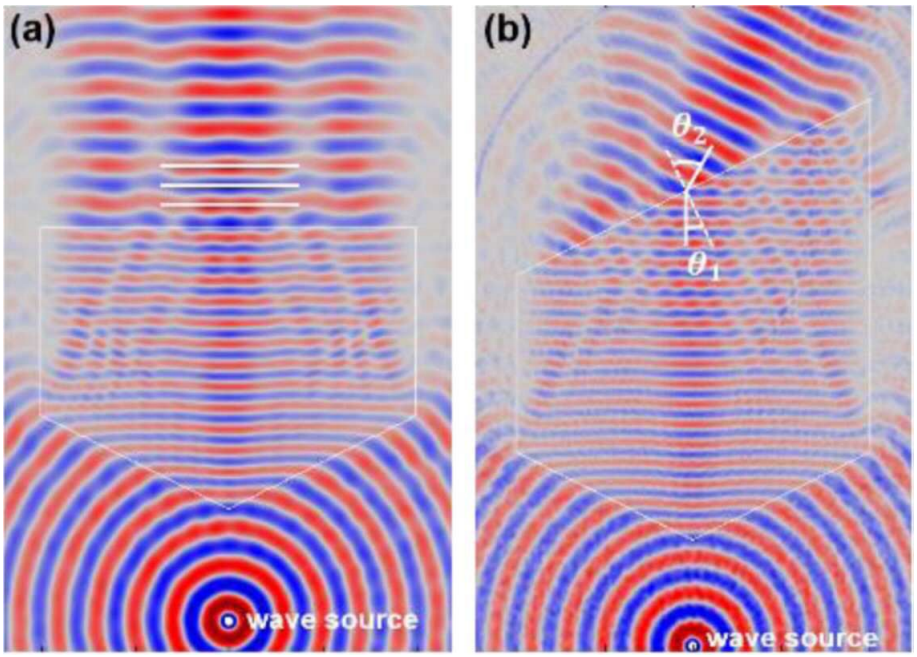
(b)



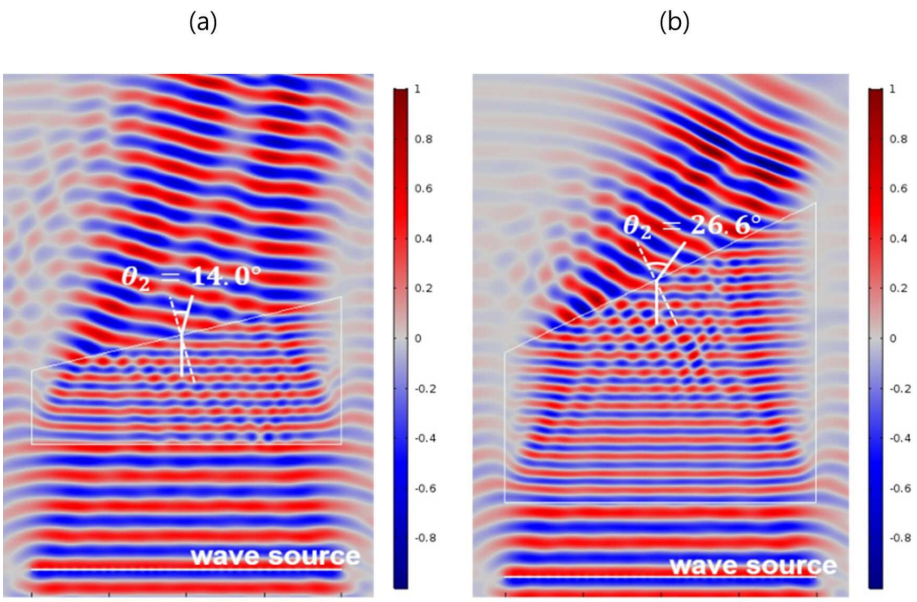
(c)



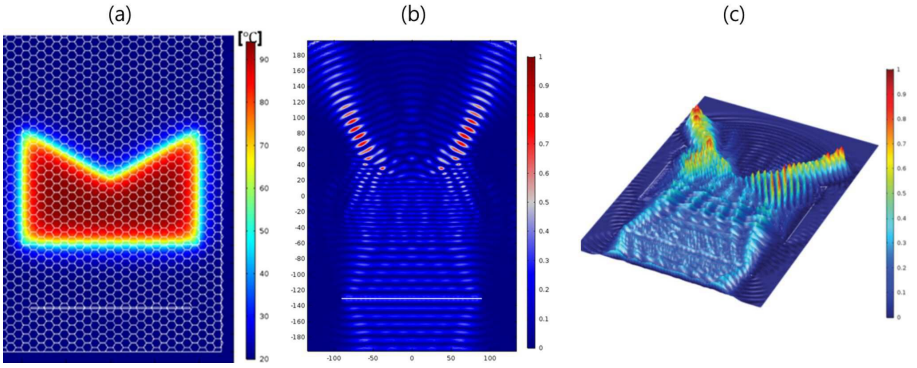
도면6


(a)
wave source
(b)
θ_2
θ_1
wave source

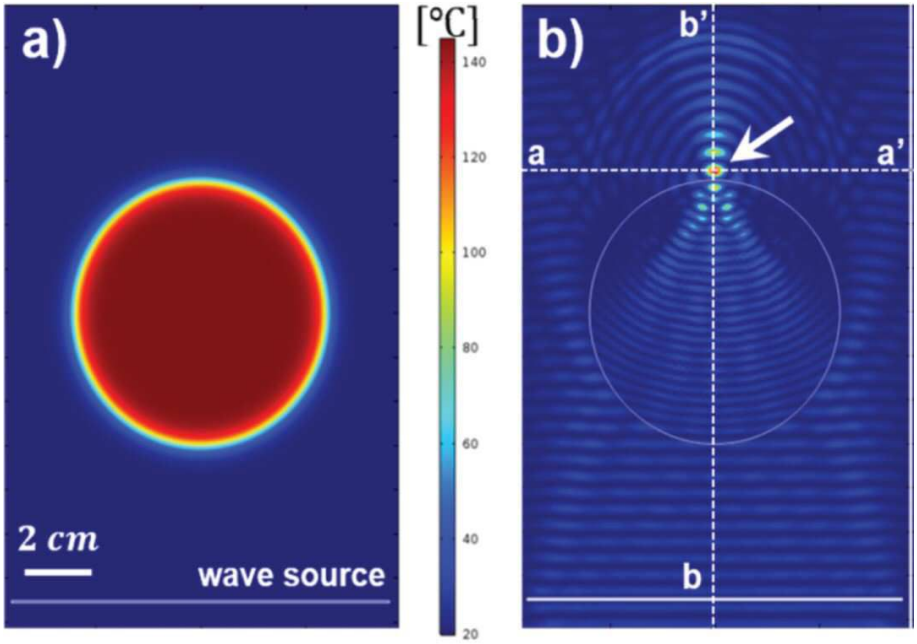
도면7


(a)
(b)
$\theta_2 = 14.0°$
wave source
$\theta_2 = 26.6°$
wave source
1
0.8
0.6
0.4
0.2
0
-0.2
-0.4
-0.6
-0.8

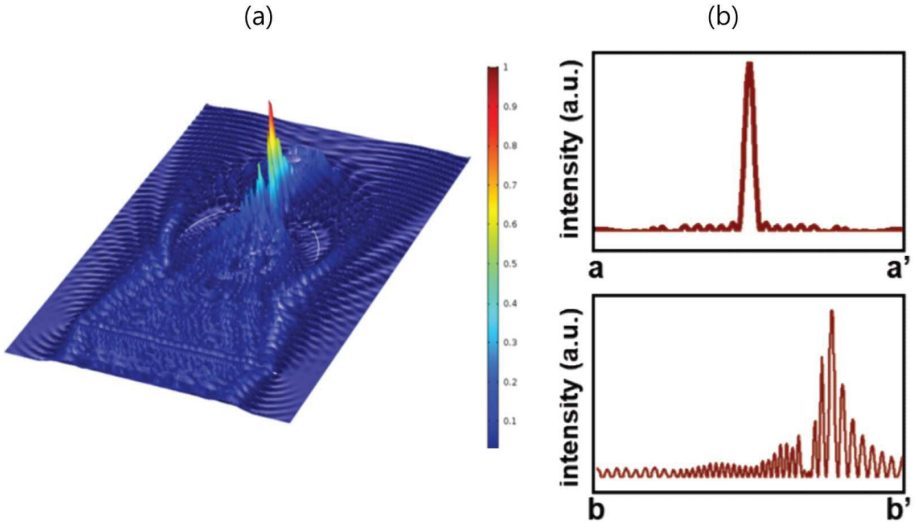
도면8


(a)
(b)
(c)
[°C]

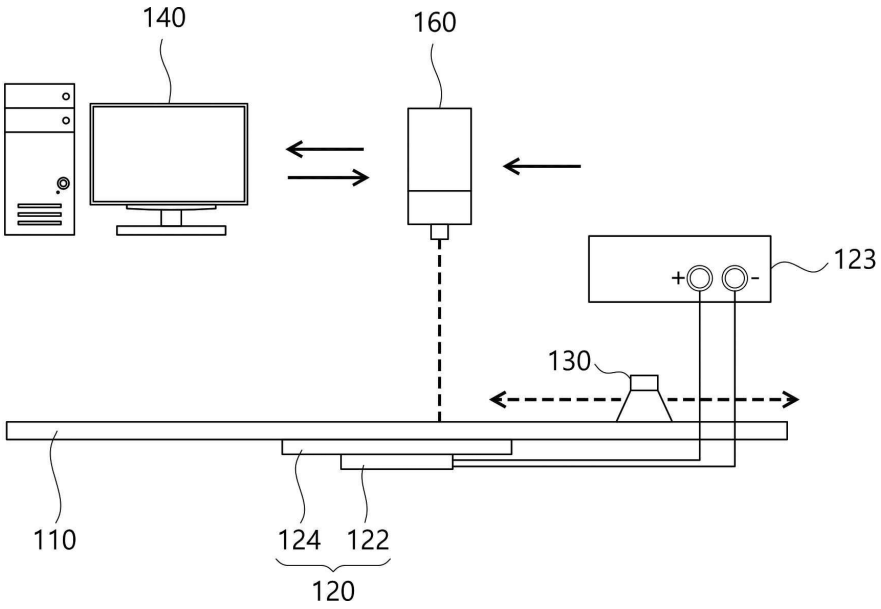
도면9


a)
[°C]
140
120
100
80
60
40
20
2 cm
wave source
b)
b'
a
a'
b

도면10


(a)
(b)
intensity (a.u.)
a
a'
intensity (a.u.)
b
b'

도면11



도면12

