

나노패턴의 제조와 레이저에의 응용

홍재민 · 이혁재



한국과학기술정보연구원

머 리 말

21세기는 지식과 정보가 그 국가의 경쟁력을 좌우하는 지식기반 산업사회로 나아가고 있으며, 최고가 아니면 살아남을 수 없는 무한 경쟁시대가 되어가고 있습니다. 이러한 변화 속에서 각 국가에서는 미래 유망기술(Emerging Technology)을 선정하여 국가 역량을 집중함으로써 차세대 국가경쟁력을 확보하려는 여러 가지 노력을 기울이고 있습니다.

최근 우리나라에서도 미래 유망기술에 대한 관심이 어느 때보다도 증대되고 있는 가운데, 한국과학기술정보연구원에서는 과학계량학적인 방법으로 미래 국가 유망기술을 예측하기 위한 일련의 연구를 수행하고 있습니다.

본 보고서는 과학기술정보데이터베이스(SCIE)에서 최근 6년간 분야별 피인용도가 높은 핵심논문들을 가지고 정보계량학적인 분석을 행하여 선정된 핵심 유망 연구영역에 대해 관련 국내전문가들의 자문을 토대로 작성된 R&D 동향보고서입니다. 본 보고서가 관련 과학기술정보를 국내에 확산시키고, 미래 국가유망기술의 전략적 육성을 위한 연구개발 활동에 작으나마 도움이 되었으면 합니다.

마지막으로 본 보고서를 집필한 저자들의 노고에 감사드리며, 본고의 내용은 한국과학기술정보연구원의 공식의견이 아님을 밝혀둡니다.

2005년 11월

한국과학기술정보연구원

원 장

목 차

제1장 서 론	1
1. 연구의 배경	1
2. 연구의 방법	1
제2장 기술의 개요	3
1. 정보통신 산업의 변화	3
2. 광통신	4
3. Photonic Band Gap	5
4. Photonic Crystal과 레이저	7
5. 현안 및 법적 규제 사항	8
제3장 국내외 기술개발동향	9
1. 해외 기술 개발 동향	9
2. 국내 기술 개발 동향	16
제4장 결론 및 제언	21
참고문헌	25
요약	27

그림 목차

<그림 2-1> Laser의 구조	7
<그림 3-1> 3D 광자결정구조	9
<그림 3-2> Stacking에 의한 광자결정구조 제조	10
<그림 3-3> e-beam에 의한 광자결정구조 제조	10
<그림 3-4> Wafer fusion에 의한 woodpile 광자결정구조	11
<그림 3-5> Detector에 의한 waveguide 응용	11
<그림 3-6> 20층이 적층된 광자결정구조와 광학특성	12
<그림 3-7> 금속 광자결정	12
<그림 3-8> Two photon lithography에 의해 제조된 광자결정구조	13
<그림 3-9> 적층된 실리카 입자	14
<그림 3-10> 실리카 입자에 의해 제조된 광자결정구조	14
<그림 3-11> 액정을 이용한 tunable mirrorless lasing	15
<그림 3-12> 광자결정에 대한 한국특허 출원동향	17
<그림 3-13> 광자결정에 대한 연구기관별 한국특허 출원동향	17
<그림 3-14> 광자결정에 대한 미국특허 출원동향	18
<그림 3-15> 광자결정에 대한 연구기관별 미국특허 출원동향	18
<그림 3-16> 광자결정에 대한 기간 및 연구기관별 미국특허 출원동향	19
<그림 3-17> 나노포토닉스 기술시장예측	20

제1장 서론

1. 연구의 배경

- 21세기 지식기반사회에서 과학기술경쟁력은 국가경쟁력의 원천이며, 이에 세계 각국들은 미래의 경쟁에 살아남기 위해 핵심 기술과제를 선정하여 연구개발에 박차를 가하고 있음.
- 우리나라 과학기술부도 2005년 6월 '미래국가유망기술위원회'를 구성하여 '과학기술예측조사(2005-2030)' 결과(2005년 5월, 국가과학기술위원회 보고)에서 도출된 기술후보군을 바탕으로 『미래 국가유망기술 21』을 선정하여 발표한 바 있음.
- 또한 한국과학기술정보연구원(KISTI)에서는 2005년 SCIE 논문 데이터베이스를 이용한 정보계량학적 분석을 통해 『미래 유망 연구영역 선정연구』를 시도하였으며, 본 보고서는 그 결과에 기초하여 최근 2~3년간 논문의 인용도가 급속히 높아지고 있는 유망 연구영역을 중심으로 기술논평 형식으로 풀이한 심층적 Expert Review임.

2. 연구의 방법

- 한국과학기술정보연구원에서는 SCIE 데이터베이스에 등록된 논문(1999~2005년 상반기까지 발표된 논문) 중에서, 각 연도 및 각 분야별(저널분류 22분야)로 피인용수가 상위 1%인 고인용 논문(HCP; Highly cited papers)을 추출하고 공인용분석

2 나노패턴의 제조와 레이저에의 응용

(Co-citation analysis) 및 동시단어분석(Co-word analysis) 등의 과학계량학적 방법들과 전문가 평가(Expert evaluation)를 통해 '미래 유망연구영역'을 도출하였음.

- 상기 도출된 미래 유망연구영역 중에서 통계학적 방법으로 최근 논문의 인용도가 급격히 상승하는 연구영역을 과학기술 분야별로 추출하여 본 테크이슈 보고서의 주제로 삼았음.
- 본 보고서는 나노패턴의 제조와 레이저에의 응용 분야에 있어서 최근 많이 발표되고 있는 논문들을 종합하여 관련 분야 연구에 대한 기초 지식과 함께 세계적인 연구동향을 개괄적으로 살펴보고, 미래 핵심기술로 자리잡기 위한 연구개발 전략을 제시하였음.

제2장 기술의 개요

1. 정보통신 산업의 변화

○ 반도체 소자의 한계

- “일정한 면적에 집적되는 전자소자의 수는 매 18개월마다 두 배씩 증가한다. 따라서 속도도 2배 증가되며 가격은 반으로 떨어진다” 는 무어의 법칙은 현재까지 잘 적용되고 있으나 향후 수년 후에는 이 법칙이 깨어질 전망이다.
- 현재 시판되는 데스크탑 컴퓨터는 수 GHz (10^9 Hz)의 속도를 가지고 있음. 그러나 수십 GHz의 속도를 가지는 반도체 칩의 제조는 그 한계를 보일것으로 판단됨.

○ Optical computing

- 전자의 움직임으로 운영되는 현재의 반도체 칩을 대신하여 빛을 사용하여 작동되는 컴퓨터가 제조될 경우, 수 terahertz (10^{12} Hz)정도의 작동속도를 보이는 반도체 칩의 제조가 가능하리라 보임.
- Photonic Crystal 또는 Quasicrystal 이라 불리는 소재를 사용하여 빛의 진행을 조절함으로써 가능함.

2. 광통신

○ 광통신의 이해

- 20세기말에 급격히 발전된 인터넷 산업의 빠른 확산에 힘입어 다량의 정보가 인터넷을 통하여 공유되고 있음. 특히 웹, 이메일등의 다양한 인터넷 서비스는 다량의 정보의 통신을 요구하고 있음.
- 현재 제공되고 있는 인터넷 통신의 속도는 십여년 전에 비하여 비약적으로 향상되었으며 이는 주로 광통신 기술의 발달 때문이라고 할 수 있음.
- 컴퓨터 등에서 전자(electron)의 이동에 의하여 계산되고 저장된 디지털 데이터는 인터넷망을 통하여 이동될때 광통신 망을 사용하게 됨. 즉 광통신망의 입구에서 LED (light emitting diode)를 사용하여 주어진 전기신호를 광신호로 변환함.
- 이 신호는 광케이블을 따라 이동되고 출구에서 거꾸로 광전 변환소자를 사용하여 전기신호로 변환되어 각 컴퓨터 시스템으로 보내짐

○ 광통신 데이터의 용량

- 광통신망을 따라 이동되는 통신정보의 정보량을 늘리기 위하여는 빛의 on/off 속도를 증가시키면 됨. 따라서 LED가 매우 빠른 속도로 스위칭이 되어야 함.
- 다른 방법으로는 광케이블을 통과하는 빛을 여러 가지 파장을 가지는 빛을 동시에 사용함으로써 일정시간에 보다 많은 디지

털 정보가 통신되도록 하는 방법이 있음. (dense wavelength division multiplexing, DWDM)

- 그러나 각 파장의 빛을 내기 위하여 사용되는 LED의 발광 파장범위가 넓다면 다른 LED의 빛과 간섭을 일으킬 수 있으므로 LED에서 발광되는 빛은 매우 좁은 파장범위를 가져야 함.

○ 광소자

- 따라서 optical switching에 사용되는 LED 소자는 laser와 같이 매우 좁은 범위의 파장을 가져야 하며, 강한 intensity와 매우 빠른 switching이 가능하여야만 광통신에 사용될 수 있음.
- Photonic crystal은 광통신의 속도와 용량을 증가시키는 데에 필요한 기술을 제공할 수 있을 것으로 여겨지고 있으며 따라서 최근 많은 관심이 집중되고 있음.

3. Photonic Band Gap

○ Photonic Band Gap의 이해

- 기존의 실리콘 기반 반도체에는 원자들이 다이아몬드와 같은 구조로 배열되어 있음. 따라서 이러한 격자 내부의 전자들은 실리콘의 핵 주기를 따라서 주기적인 에너지 배리어 (band gap)를 경험하게 됨.
- 만일 전자가 아닌 광자가 주기적으로 배열된 투명 유전체와 공기를 번갈아 지나간다면 광자들은 높은 굴절율의 물질과 낮은 굴절율의 물질을 번갈아 가면서 통과하게 됨.

6 나노패턴의 제조와 레이저에의 응용

- 만일 두 물질의 굴절율차가 매우 크다면 대부분의 빛은 투명 유전체나 공기에 갇히게 되며 (confinement) 이 때문에 생기는 에너지 갭을 photonic band gap 이라 함.
- 빛의 에너지는 파장에 반비례하므로 특정한 photonic band gap을 가지는 물질은 특정주파수의 빛은 차단하고 그 외의 빛은 자유롭게 통과시키게 됨.

○ Photonic Band Gap Structure

- 이러한 photonic band gap은 물질내의 미세한 공기구멍의 크기를 조절함으로써 조절이 가능하며, 물질의 굴절율의 변화에 따라서도 photonic band gap을 조절할 수 있음.
- Photonic band gap 구조는 고굴절율의 물질과 저굴절율의 물질이 번갈아 가며 구성되어 있는 구조에서도 확인할 수 있음.

○ Yablonovite

- 1987년 Bell 연구소의 Eli Yablonovitch는 굴절율 3.6의 물질에 기계적으로 구멍을 뚫어 처음으로 photonic crystal의 가능성을 확인하였음.
- 이 물질은 microwave 파를 차단하는 성능을 보였으며, 후에 이 물질은 Yablonovite로 알려지게 됨.

○ Photonic Crystal의 제조

- 특정 주파수의 빛을 차단하기 위해서는 공기구멍의 간격이 빛의 파장을 물질의 굴절율로 나눈 값 정도가 되어야 함.

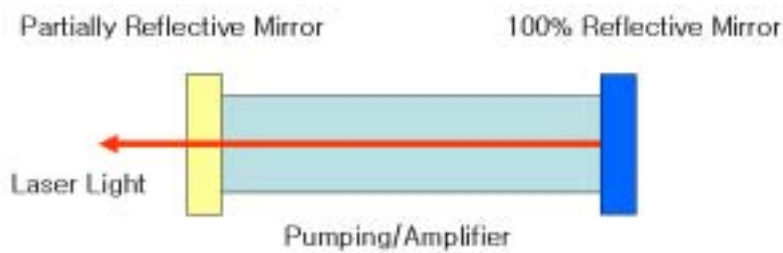
- 따라서 가시광 영역의 (400nm ~ 700nm) 빛을 차단하기 위하여는 굴절율이 3인 경우 (130 ~ 230nm) 정도의 구조 규칙성이 있어야 함.

4. Photonic Crystal과 레이저

○ 레이저

- Laser란 (light amplification by stimulated emission of radiation)의 머릿글자를 따서 만든 말로서 특정한 매질에서 증폭된 빛을 의미함.

<그림 2-1> Laser의 구조



- 위의 그림에서 보는 바와 같이 일반적으로 레이저는 빛을 증폭하는 부분과 전반사 거울, 부분반사 거울을 배치하여 한방향으로 빛이 방출되는 구조로 되어 있음.
- 최근에 개발된 dye laser등의 예를 제외하고는 사용되는 매질의 종류에 따라 일정한 파장의 빛을 방출함.

○ 광통신과 photonic crystal

8 나노패턴의 제조와 레이저에의 응용

- 광통신에 사용되는 LED 소자는 광통신 모듈에 집적 되어야 하므로 크기가 작아야 하며 반도체 공정으로 제조가 가능하여야 함. 또한 일방향으로만 빛이 방출되도록 거울을 사용하고 있음.
- 그러나 LED의 효율은 전반사거울 등의 반사효율에 의하여 감소될 수 있으며 광통신 모듈에 집적 되어야하므로 emissive layer와 photonic crystal을 집적시켜 제조된 LED 소자는 광통신 응용분야에서 널리 사용될 수 있음.

5. 현안 및 법적 규제 사항

- Photonic Crystal은 광정보통신 더 나아가서 광컴퓨팅 분야에 다양한 응용성을 가지고 있는 연구분야이며, 특히 나노구조의 제어를 통하여 다양한 구조의 photonic crystal이 제안되고 있음. 이러한 나노구조의 제어에 대한 연구는 차세대 정보통신 분야등에 다양하게 응용될 수 있는 연구분야로서 당분간 정부 차원의 지원이 필요함.

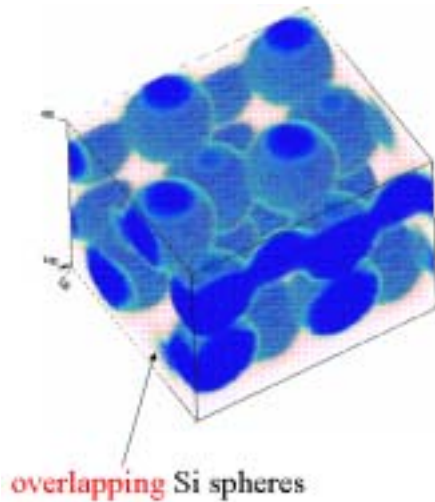
제3장 국내외 기술개발동향

1. 해외 기술 개발 동향

○ 적층에 의한 Photonic Crystal의 제조

- 전술한 바와 같은 photonic crystal 구조를 제조하기 위한 많은 방법들이 제시되어 왔음. 1990년에 처음 발표된 논문에서 Ho 등은 실리콘 구체를 쌓아서 처음으로 <그림 3-1>의 3D 광자결정구조에서 photonic band gap이 존재함을 보였음.⁽¹⁾

<그림 3-1> 3D 광자결정구조

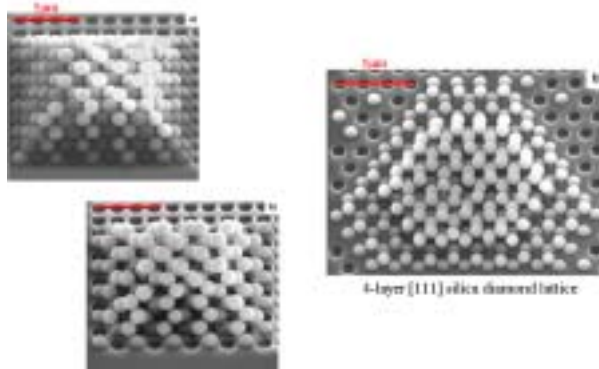


- 다이아몬드 격자를 만들기 위한 목적으로 2002년에는 다음 <그림 3-2>와 같은 구조가 제조되었음.⁽²⁾ Garcia-Santamaria

10 나노패턴의 제조와 레이저에의 응용

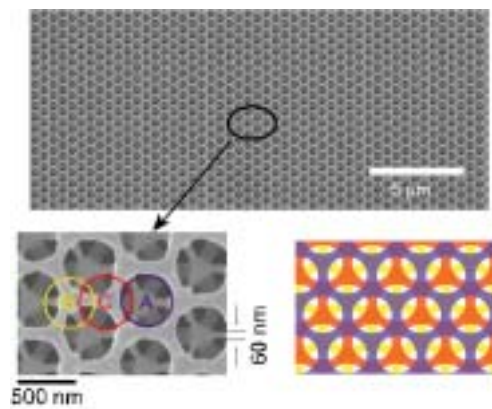
등은 패터닝된 실리콘 substrate 위에 라텍스 파티클을 쌓아 올림으로써 다이아몬드와 유사한 구조를 제조하였음.

<그림 3-2> stacking에 의한 광자결정구조 제조



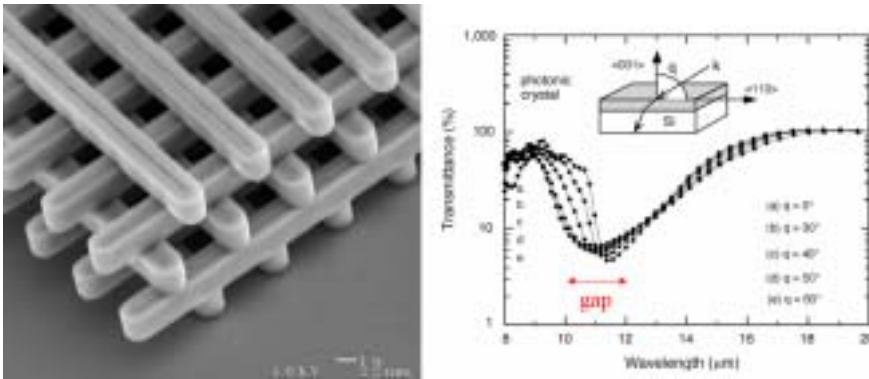
- e-beam을 사용하여 <그림 3-3>과 같은 3차원 격자구조를 제조하는 방법도 소개되었음.

<그림 3-3> e-beam에 의한 광자결정구조 제조

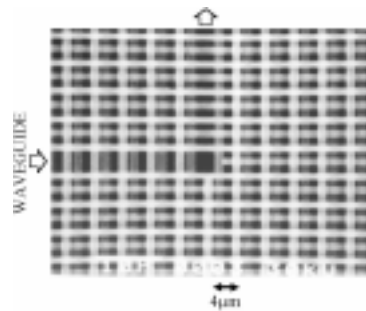


- 또한 <그림 3-4>와 같이 실리콘을 다층으로 적층하여 “woodpile”구조 (혹은 picket fence 구조)를 제조하는 방법이 1998년 소개되었음.⁽³⁾ 이방법은 실리콘 wafer를 log의 형태로 제조한후 두 번째의 log 형태를 붙여서 fusion 시키는 방법으로 제조되었음.

<그림 3-4> wafer fusion에 의한 woodpile 광자결정구조



<그림 3-5> Defect에 의한 waveguide 응용

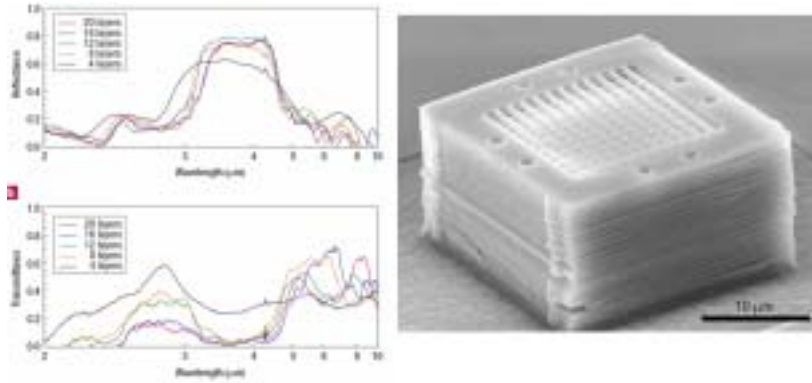


- 최근에는 <그림 3-5>와 같이 인위적인 defect를 제조하여 waveguide로서의 응용도 제안되고 있음.⁽⁴⁾

12 나노패턴의 제조와 레이저에의 응용

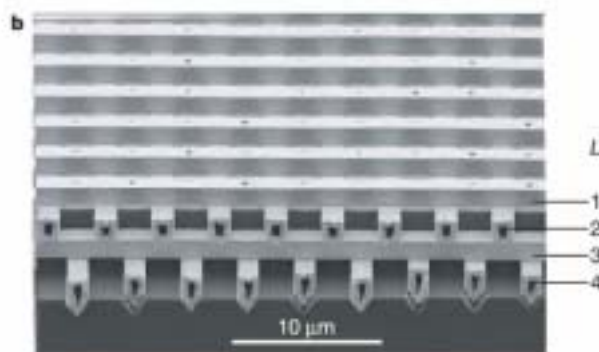
- 최근에는 적층성형의 기술이 개선됨에 따라서 <그림 3-6>과 같이 20층의 적층도 가능하게 되었음.⁽¹⁴⁾

<그림 3-6> 20층이 적층된 광자결정구조와 광학특성



- 또한 다음과 같은 금속의 광자결정구조도 제조되었음. (그림 8.)⁽⁶⁾

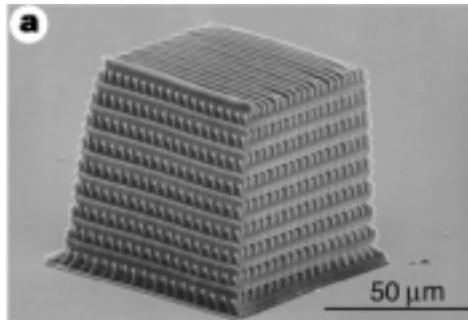
<그림 3-7> 금속 광자결정



○ Two Photon Lithography에 의한 광자결정구조

- 최근에 개발된 two-photon lithography는 3차원에 임의의 구조를 제조할 수 있는 새로운 방법을 제시하고 있음. 이는 <그림 3-8>과 같은 woodpile 구조를 제조할 수 있음. 이 방법은 마스크가 필요 없으며 공정이 빠른점이 장점이 있음.⁽⁷⁾

<그림 3-8> two photon lithography에 의해 제조된 광자결정구조



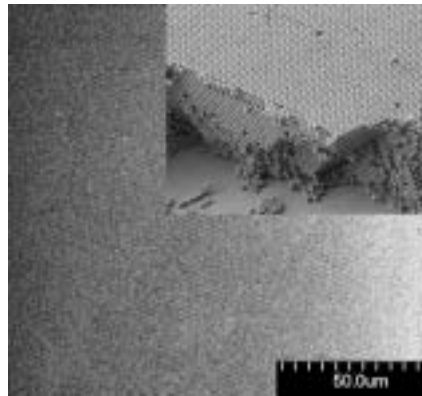
○ 입자에 의한 광자결정구조

- 미국 NEC 연구소의 Vlasov 등에 의하면 실리카 콜로이드의 실리카 입자는 다음 <그림 3-9>와 같이 서로 적층되어 fcc 구조를 형성함.
- 따라서 위의 빈공간에 LPCVD (low-pressure chemical vapor deposition) 기법을 사용하여 실리콘을 채워 넣고 실리카 입자를 에칭해 뺀으로써 다음 <그림 3-10>과 같은 광자결정구조를 제조할 수 있음.⁽⁸⁾
- 그 외에 ZnO 로드의 수직배향,⁽⁹⁾ metalorganic chemical vapor deposition에 의한 ZnO 막대의 배향과 광학성질에 대한 연구⁽¹⁰⁾, 대면적 hexagonal ZnO 나노막대의 배향과 광학

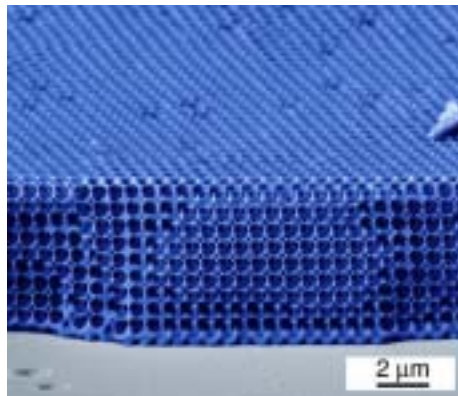
14 나노패턴의 제조와 레이저에의 응용

및 센서에 대한 연구,⁽¹¹⁾ 카본나노튜브의 배향에 의한 광자결정구조⁽¹²⁾ 및 ZnO의 선택적 MOCVD 성장에 대한 연구⁽¹³⁾ 등이 수행 되었음.

<그림 3-9> 적층된 실리카 입자



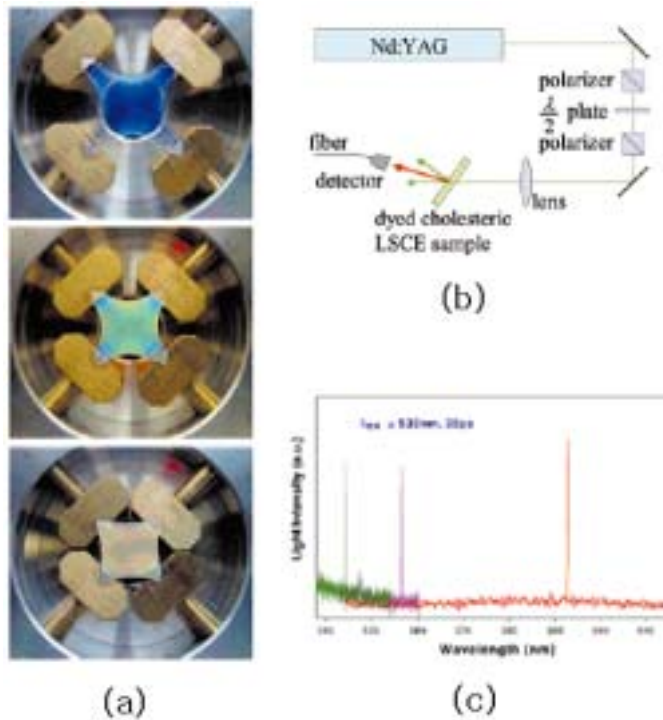
<그림 3-10> 실리카 입자에 의해 제조된 광자결정구조



○ 액정을 이용한 tunable mirrorless lasing

- 액정의 방향성 정렬을 이용하여 dye-laser에 응용함으로써 반사경이 없는 레이저의 효과에 대한 보고가 있음.⁽¹³⁻¹⁶⁾ 특히 Finkelmann 등은 이 액정을 elastomer에 혼합하여 (liquid sing crystal elastomer, LSCE) 이 LSCE에 strain을 가함으로써 <그림 3-11>과 같은 laser의 tuning이 가능함을 보고하였음.
- 이는 향후에 파장조절이 가능하며 간편하게 집적이 가능한 레이저 소스의 개발이 가능함을 의미함.

<그림 3-11> 액정을 이용한 tunable mirrorless lasing: (a) 장력을 가하면서 측정한 LSCE의 변화 (b) 레이저 장치의 셋업 (c) LSCE dye-doped laser emission, 장력에 따라 파장이 변화함.



2. 국내 기술 개발 동향

○ 광자결정에 대한 연구동향

- 최근 들어 한국과학기술원, 광주과학기술원, 한양대학교 등 다수의 국내 연구진이 광자결정에 대한 연구를 수행하고 있음. 또한 연세대학교와 한국과학기술연구원 등은 고분자 블렌드를 이용한 나노구조의 제어등에 대한 연구를 수행하고 있음. 이외에도 삼성, LG등 유수의 기업에서도 연구가 진행되어 다수의 특허와 논문들이 발표되고 있음. 또한 ETRI등에서 광통신 응용에 대한 연구도 활발히 수행되고 있음.

가. 특허 동향

○ photonic crystal에 대한 국내특허

- 특허 검색 사이트인 WIPS Korea의 검색엔진을 사용하여 “photonic adj crystal or 광결정 or 광자결정”의 검색어로 특허를 검색한 결과 총 81건의 특허가 검색되었음.⁽¹⁷⁾
- 이에 대한 분석을 수행한 결과, <그림 3-13>과 같이 1993년부터 출원된 특허는 2002년에 가장 많은 특허가 출원되었고 현재까지 계속 출원건수가 유지되고 있음을 알 수 있음.

<그림 3-12> 광자결정에 대한 한국특허 출원동향



- 출원인 별로는 삼성전자, LG전자, 전자통신연구원 등의 순으로 출원수가 나타났다.

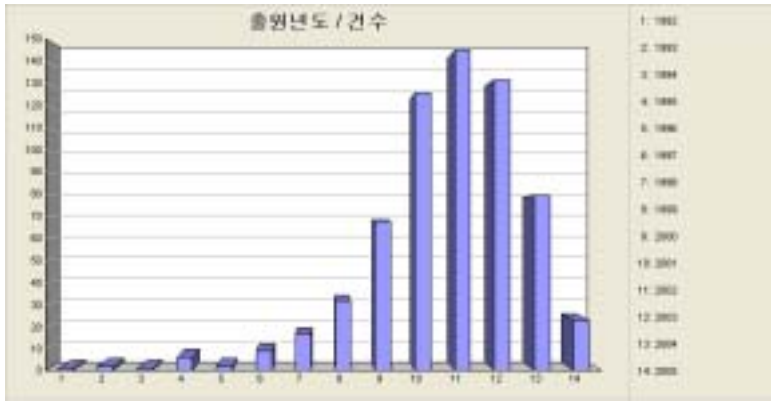
<그림 3-13> 광자결정에 대한 연구기관별 한국특허 출원동향



- 미국특허는 photonic adj crystal* 로 검색하였음. 연도별 추이도 <그림 3-14>에 보인 바와 같이 국내의 연도별 추이와 매우 유사한 양상을 보여주고 있음.

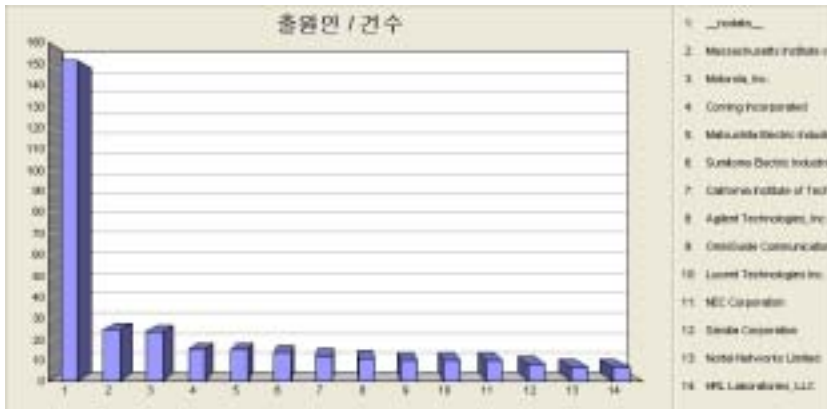
18 나노패턴의 제조와 레이저에의 응용

<그림 3-14> 광자결정에 대한 미국특허 출원동향



- 출원인별 특허 건수의 분석결과는 <그림 3-15>와 같으며, MIT의 특허가 가장 많았음. 또한 Motorola등과 일본 회사들의 특허도 많이 검색되었음.

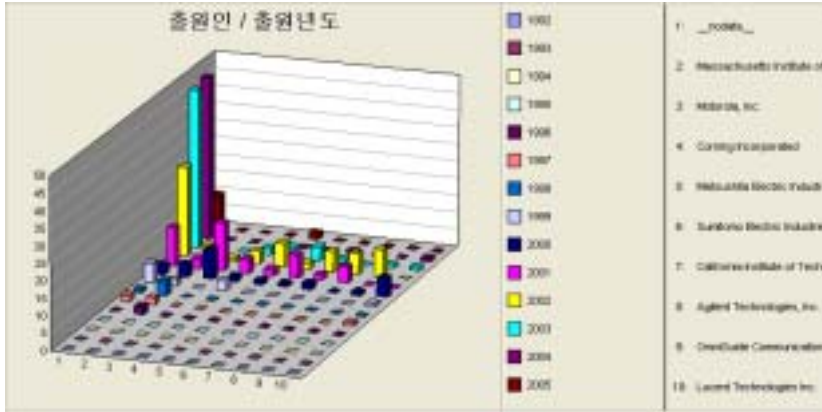
<그림 3-15> 광자결정에 대한 연구기관별 미국특허 출원동향



- 년도별로 검색된 각 출원인의 검색결과는 <그림 3-16>에서 알 수 있듯이 MIT가 세계적으로 광자결정에 대한 연구를

1990년대 중반부터 선도하였으며 그 이후 각 기업이나 기업 연구소에서 이를 따르는 양상을 보이고 있음.

<그림 3-16> 광자결정에 대한 기간 및 연구기관별 미국특허 출원동향



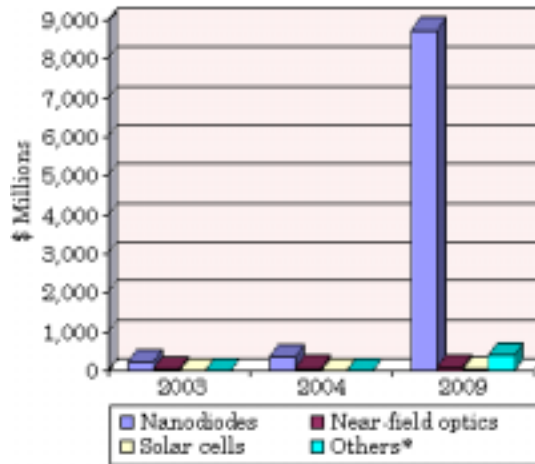
나. 시장 동향 분석 및 사업성

○ 나노포토닉스분야

- photonic crystal 분야에 대한 시장은 알려져 있지 않음. 그러나 “세계의 나노포토닉스 기술시장” 보고서에 따르면, 현재의 나노포토닉스 시장은 <그림 3-17>에 보인 바와 같이 2004년 기준 약 4200억원의 시장으로 판단되고 있으며, 연평균 성장률 약 86%를 유지하여, 2009년에는 약 9조원의 시장이 될 것으로 예측하고 있음.⁽¹⁸⁾

20 나노패턴의 제조와 레이저에의 응용

<그림 3-17> 나노포토닉스 기술시장예측



- 이 시장 예측은 photonic crystal 뿐만 아니라 평판형 디스플레이에 사용되는 nanodiodes로 표현된 light-emitting diodes의 시장까지 포함하고 있으므로 정확한 시장은 아닐 수 있음. 그러나 최근의 light-emitting의 기술변화가 photonic crystal과 lasing으로 대변되는 나노화, 기능화를 추구하고 있는 것을 미루어 볼때, 비교적 정확한 예측으로 판단할 수 있음.
- light-emitting 다이오드의 시장이 역시 나노포토닉스 시장의 대부분을 점유할 것이며, 나노구조를 응용하는 solar cell 이나 integrated nanophotonic device의 시장은 당분간은 극히 제한적일 것으로 판단됨. 그러나 photonic crystal 및 그의 집적에 대한 꾸준한 연구의 결과로 광결정을 사용한 광집적회로의 일반화가 앞당겨진다면 빠른 시일안에 상당한 시장을 잠식할 가능성이 있음.

제4장 결론 및 제언

○ 기술적 파급효과

- 광자결정은 광통신 광컴퓨팅분야에서 새로운 기존의 기술의 한계를 극복할 수 있는 기술로서 기존의 광케이블의 신규설치를 방지하면서도 광통신 정보통신의 양을 매우 증가시킬 수 있는 기술임. 또한 나노기술의 발전과 함께, 기존의 실리콘 반도체 공정과의 결합에 의하여 차후의 광컴퓨팅기술과의 접목의 근간을 이루는 핵심기술로서 부상할 것이 예상됨.

○ 경제적 파급효과

- 전자통신 분야, 인터넷 분야 및 나노포토닉스등 새로운 산업군의 출현이 예상되며, 그 시장규모는 현재는 비록 여타의 IT 분야에 비하여 작은 규모이나, 연평균 성장률이 약 90%에 가깝게 급격히 성장할 분야 이므로

○ 사업매력도 평가

- 성장 가능성 : photonic crystal을 응용한 나노포토닉스 분야는 성장 잠재성이 무궁한 연구분야이며, 특히 차후 광컴퓨팅 등 기존의 실리콘 반도체공정으로 실현할 수 없는 빠른 속도를 가지는 컴퓨팅 기술로 발전될 전망이다. 또한 1/2/3차원 나노구조의 입체규칙성을 구현할 수 있는 연구는 포토닉스분야 뿐만 아니라 디스플레이, 솔라셀등 광전분야에서의 다양한 응용이 기대됨.

22 나노패턴의 제조와 레이저에의 응용

- 경쟁상황 : 현재 국내의 경우 외국 특히 미국의 선진연구소나 대학에 비하여 연구가 뒤쳐져 있어 향후 세계시장이 확대되는 경우 특허나 기타 기술의 상용화 등의 시장진입에 어려움이 있을 것으로 판단됨.

○ 국내 기술개발의 방향성 제시

- 나노구조의 구조 규칙성을 재현하는 여러 가지 방법론에 대한 다양한 연구지원이 필요함. 차세대 통신 산업이나 컴퓨팅, 반도체 산업은 광을 이용한 분야로 전환될 가능성이 매우 높으며, 따라서 이의 기반기술이 되는 나노구조의 규칙성 제어 및 제조분야에 대한 과감한 투자가 요구됨. 또한 이 나노구조의 규칙성 제어 연구분야는 생명, 환경, 에너지 등 다양한 연구분야에의 응용이 기대되는 연구분야임.
- 이러한 나노구조의 규칙성 제어는 "system-on-a-chip"의 형태로 집적화된 소자의 형태로 개발될 것으로 판단됨. 따라서 기존의 반도체 제조공정에서 축적된 다양한 소자제작 기술을 바탕으로 새로운 형태의 광집적회로의 제조에 대한 연구투자가 요구됨.
- 특히, 현재 우리나라가 반도체와 디스플레이 분야의 세계시장을 석권하고 있다고는 하나, 그 부품이나 소재에 대한 선진 연구가 미흡하여 상당한 양의 국부가 소재선진국인 일본과 미국에 유출되고 있는 것이 사실인 만큼, 새로운 패러다임의 차세대 IT 분야가 될 광전 소재 분야에 대한 기술 선점의 시도가 필요함.

○ 제도, 정책적 제언

- emerging technology 인 photonic crystal 분야와 이의 기반 기술이 되는 나노구조의 입체 규칙성 재현, 그리고 이의 응용분야가 될 광전, LED, solar-cell, 광집적회로, 광통신 기술 등의 다양한 연구분야의 co-work 과 협력, 공조가 요구되는 시점임. 또한 산학연의 연구공조도 요구되며, 연구조합, 생산 기술연구조합등의 기구를 중심으로 미래를 내다보고 차근차근 단계를 밟아 미래를 준비하는 것이 요구됨.

○ 종합 평가 및 결론

- photonic crystal과 이를 이용한 LED의 lasing 및 laser의 응용, 그리고 tunable laser등의 연구분야는 현재의 광통신 기술과 컴퓨팅 기술분야의 한계를 뛰어 넘을 수 있는 "break-thru" 기술이 될 것임. 또한 이 분야는 연평균 약 90 퍼센트의 성장률이 예측되는 매우 유망한 연구분야임. 따라서 10년 내지 20년 후의 대한민국의 성장엔진이 될 이 연구 분야에 대한 과감한 투자가 요구됨. 또한 지금부터 체계적인 산학연공조와, 다양한 학제의 연구자들이 공조하여 미래의 국부창출을 위해 노력해야 한다고 판단됨.

24 나노패턴의 제조와 레이저에의 응용

참고문헌

1. K. M. Ho, C. T. Chan, and C. M. Soukoulis, *Phys. Rev. Lett.* 65, 3152 1990
2. F. Garcia-Santamaria, H. T. Miyazaki, A. Urquia, M. Ibisate, M. Belmonte, N. Shinya, F. Mesequer, *Adv. Mater.* 14(16), 1144, 2002
3. S. Y. Lin, J. G. Fleming, D. L. Hetherington, B. K. Smith, R. Biswas, K. M. Ho, M. M. Sigalas, W. Zubrzycki, S. R. Kurtz, J. Bur, *Nature* 394, 251, 1998
4. S. Noda, K. Tomoda, N. Yamamoto, A. Chutinan, *Science* 289, 604 2000
5. K. Aoki, H. T. Miyazaki, H. Hirayama, K. Inoshita, T. Baba, K. Sakoda, N. Shinya, Y. Aoyagi, *Nature Materials* 2 (2), 117 2003
6. J. G. Fleming, S. Y. Lin, I. El-Kady, R. Biswas, K. M. Ho, *Nature* 417, 52 2002
7. B. H. Cumpston et al., *Nature* 398, 51 1999
8. Y. A. Vlasov, X. Bo, J. C. Sturm, D. J. Norris, *Nature* 414, 289 2001.
9. H. T. Ng, J. Li, M. K. Smith, P. Nguyen, A. Cassell, J. Han, M. Meyyappan, *Science*, 300, pp1249, 2003
10. B. P. Zhang, N. T. Binh, Y. Segawa, K. Wakasuki, N. Usami, *Appl. Phys. Lett.*, 83(8) pp 1635-1637, 2003
11. X. Wang, C. J. Summers, Z. L. Wang, *Nano Letters*, 4(3) pp 423-426, 2004
12. K. Kempa, B. Kimball, J. Rybczynski, Z. P. Huang, P. F. Wu, D. Steeves, M. Sennett, M. Giersig, D. V. G. L. N. Rao, D. L. Carnahan, D. Z. Wang, J. Y. Lao, W. Z. Li, Z. F. Ren, *Nano Letters*, 3(1) pp

26 나노패턴의 제조와 레이저에의 응용

13-18, 2003

13. S. Muthukumar, H. Sheng, J. Zhong, Z. Zhang, N. W. Emanetoglu, Y. Lu, IEEE trans. nanotechnol., 2(1), pp 50-54, 2003
14. H. Finkelmann, S. T. Kim, A. Munoz, P. Palffy-Muhoray, B. Tahheri. Adv. Mater. 13(14), pp 1069-1072, 2001
15. J. Schmidtke, W. Stille, H. Finkelmann, S. T. Kim, Adv. Mater., 14(10). pp746-749, 2002
16. M. Ozaki, M. Kasano, D. Ganzke, W. Haase, K. Yoshino, Adv. Mater., 14(4), pp306-309, 2002
17. www.wips.co.kr
18. Nanotechnology of Photonics, Global Information Inc., 2005

요약

- 반도체 제조공정의 선평축소는 곧 한계에 봉착하게 되며 따라서 반도체 칩, 특히 CPU의 성능향상 속도는 둔화될 것으로 보인다. 또한 정보통신에 대한 일반의 수요는 계속 증가하게 되어 기존의 광통신 방법에 대한 획기적인 성능 변화가 요구되고 있다. photonic crystal은 기존의 광통신이나 컴퓨터등이 가진 이러한 문제점을 해결할 수 있는 획기적인 발견으로 판단되고 있다.
- Photonic crystal이란 인위적으로 만들어진 나노구조의 주기적인 교호구조이며 이러한 구조를 사용하여 빛을 포함하는 electromagnetic wave를 효과적으로 조절할 수 있음이 최근에 알려졌다. 이를 이용하면 매우 좁은 영역의 특정주파수의 빛만 통과시키는 것이 가능하며, (lasing) waveguide 나 광스위칭등 광소자로의 획기적인 응용이 기대되고 있다.
- 이러한 photonic crystal을 제조할 수 있는 나노공정, 나노구조의 규칙적 제어 등의 연구분야와, 이의 이론의 바탕인 물리학 분야, 소재 분야, 시스템분야등 다양한 연구분야의 협동연구와 산학연의 공동연구를 바탕으로 한 체계적인 국가차원의 연구투자가 요구된다.