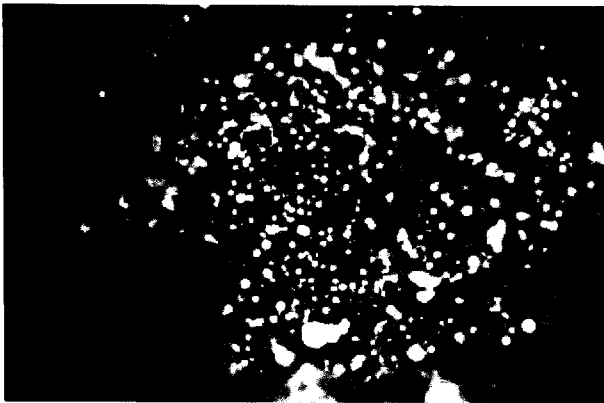


Optical Communication

광통신

색깔과 모양을 바꾸는 광자



〈관련논문〉 Physical Review Letters, DOI: 10.1103/physrevlett.107.083602

X-맨은 잊어라. 슈퍼영웅은 광자다. 광자는 우주에서 가능한 가장 빠른 속력으로 이동할 뿐만 아니라, 이제는 색깔과 모양을 모두 바꾸도록 만들어졌다. 이번 성과로 인해 초고속 양자 컴퓨터라는 꿈에 한 걸음 더 다가서게 되었다.

광자는 다양한 파장, 즉 색깔로 나타나는 전자기파 에너지로 이루어진 파동이다. 이 파동 패턴은 그들이 어떻게 태어나게 되었는지에 따라서 모양 또한 다양하다. 레이저에 의해서 생성된 광자의 모양은 벨 곡선을 닮았지만, 전자가 에너지를 잃을 때 원자에 의해서 자연방출된 광자는 빠르게 상승하고 천천히 감소하는 첨두치를 가진다. 모양은 광자가 충돌할 때 어떻게 상호작용을 하는지에 영향을 줄 수 있다.

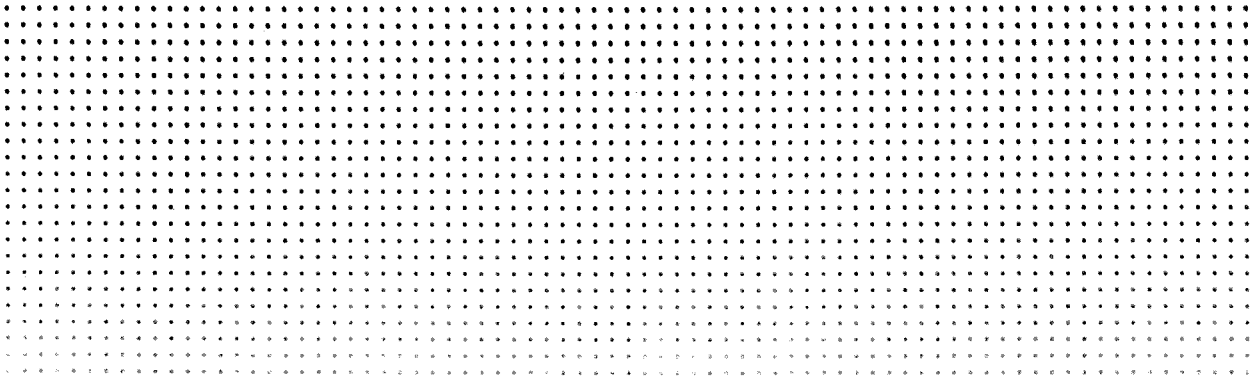
일반적으로 광자는 물질에 흡수될 때까지는 자신의 크기와 모양을 유지한다. 그런데 NIST(National Institute of Standards and Technology)의 매튜 라커(Matthew Rakher)는 광자를 모양을 바꾸는 카멜레온처럼 거동하도록 만들었다. 연구진은 1,300nm 파장의 적외선 광자를 결정 속으로 집어넣고, 그 속으로 1,550nm

파장의 레이저에서 나온 광자를 펌핑했다. 각각의 모양은 서로 달랐다. 결정은 도파로처럼 작용하여 광자들을 특정한 각도와 위치에서 서로 부딪히도록 흘려보냈고, 서로 혼합되어 레이저 광자와 동일한 모양을 가진 710 nm 파장의 광자를 형성하도록 만들었다.

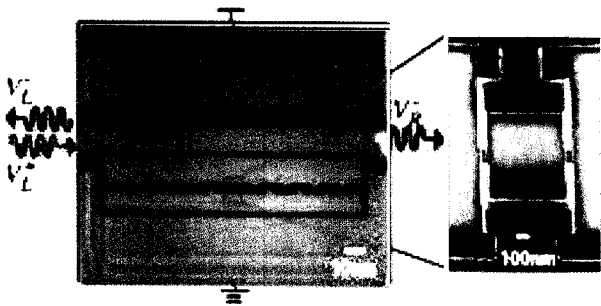
이러한 변형은 네트워크 양자 컴퓨터를 개발하는데 결정적으로 중요할 것이다. 이것은 2진 비트를 동시에 여러 양자상태로 존재할 수 있는 큐비트로 대체함으로써 동시에 다수의 계산을 가능하게 만든다. 양자 컴퓨터는 편광과 같은 광자의 양자적 성질을 이용하여 데이터를 전송하고 저장할 수 있을 것이다. 편광은 광자의 각운동량에 대한 척도이다. 문제는 컴퓨터 간에 광자를 전달하는 광섬유 케이블이 적외선 파장에서 가장 효율적으로 작동하지만, 광자를 흡수할 원자들로 이루어진 양자 메모리 장치들은 주어진 모양의 가시광선 광자에서 가장 잘 작동한다는 점이다.

이번 새 연구는 변환 과정에서의 데이터 손실을 최소화할 것이라고 라커는 말했다. “우리의 연구는 통신대역의 단일 광자들을 잡아서 그들의 파장과 모양을 바꿈으로써 가시광선 파장의 양자 메모리에 저장될 수 있도록 만드는 방법을 제공한다.” 라고 그는 말했다. 오리건대(University of Oregon)의 헤이든 맥귀니스(Hayden McGuinness)는 이번 연구를 ‘2가지 서로 다른 문제를 해결하는 영리한 방법’ 이라고 말했다.

(www.newscientist.com)



단일 광자 라우터



〈그림〉 초전도 큐비트의 미세장치는 단일 광자 라우터에 인공 원자로 사용된다. 확대 사진은 원자의 주파수를 조정하는 데 사용되는 “스퀴드(SQUID) 루프” 이다.

전송 라인에 내장되어 있는 인공 원자들이 단일 광자의 루트를 하나의 입력 포트에서 두 개의 출력 포트 중 하나로 정하게 할 수 있다는 것을 입증함으로써, 처음으로 과학자들이 단일 광자 수준의 라우터를 구축하였다. 단일 광자 라우터는 장차 양자 정보 네트워크에서 양자노드로 사용되어 데이터 기본 선별 및 처리를 제공할 것이다.

스웨덴 예테보리에 있는 찰머스 기술 대학의 과학자인 Per Delsing과 Chris Wilson이 이끄는 연구진은 스페인 마드리드 국립 연구소의 연구진과 함께 Physical Review Letters 저널 최신호에 그들의 연구를 게재했다. 이 과학자들에 의하면, 광자를 제어하고 지시하는 것은 오늘날 대부분의 라우터에서 사용되고 있는 전자를 제어하는 것보다 어렵다고 한다. 이 어려움의 원인은 광자가 전자와는 달리 서로 강하게 상호 작용하지 않기 때문이다. 그러나 양자 채널에서 중요하게 요구되는 것 중의 하나는 먼 거리까지 정보를 배포할 수 있는 능력이다. 광자는 원자와 같은 다른 양자 시스템의 어떤 것보다도 더 먼거리를 일관성있게 이동할 수 있기 때문에, 양자 정보 네트워크에서 정보 전달자로서 광자를 사용하는 것은 일리있는 일이다.

단일 광자 라우터를 구축하기 위하여, 과학자들은 “인공 원자” 로 초전도 큐비트를 사용하였다(비록 큐비트가 실제로는 여러 개의 원자로 만들어졌지만, 그것은 실제 원자와 같은 이산 에너지 상태를 가지고 있다). 그후 과학자들은 마이크로파 광자가 이동하는 일차원적 전송 라인에 큐비트를 결합하였다. 다음으로 그들은 약하고 지속적인 광자 프로브를 적용하고, 때때로 강한 제어 펄스를 가했다. 강한 제어 펄스를 가하지 않으면, 인공 원자는 들어오는 광자를 반사시켜서, 그들을 출력 1로 이동시킨다. 강한 제어 펄스가 가해지면, 그것은 전자기 유도 투명성(ETI) 현상을 이끈다. ETI는 원자를 약한 프로브 광선에도 투명보여서, 광자가 원자를 지나쳐서 출력2로 이동하게 한다. 이러한 방법으로, 과학자들은 들어오는 광자를 두개의 출력 포트 중 하나로 이끌 수 있다. “단일 원자에 기반을 둔 전자기 유도 투명성은 광학 도메인에서 입증되었지만, 그것의 효율성은 매우 낮았다. 마이크로파 도메인에서는, 90%가 일본 연구진에 의해서 성취되었지만, 라우터로 만들어지지는 않았다. 따라서 이것은 단일 광자 수준에서 처음으로 작동하는 라우터라고 할 수 있다. 또한 이것의 효율성은 99%이며, 매우 빠르다.” 라고 Delsing이 말했다. 연구진이 성취한 99.6%에 이르는 효율성은 광자가 인공 원자에 효율적으로 결합했다는 것과 광자를 더 잘 제어할 수 있다는 것을 보여주었다. 이 장비의 스위칭 시간(하나의 출력 포트로부터 들어오는 광자를 다른 쪽으로 전환하는 데 걸리는 시간)은 단지 몇 나노초이다. 과학자들은 라우터를 여러 개의 출력 포트를 가진 것으로 쉽게 확장할 수 있다고 했으며, 이것은 양자 노드로 사용하기 위해서는 필수적이다. “우리는 몇 가지 새로운 실험을 계획하고 있다. 하나는 논문에 묘사했던 것과 같은 다중 포트 라우터의 구현이며, 다른 하나는 같은 전송 라인에 여러 개의 인공 원자를 내장하여 상호 작용하는 ‘원자’ 와 광자의 수를 증가시키는 것이다. 우리는 양자 개체의 대규모 통합을 구상하고 있다.” 라고 Delsing이 말했다.

Optical Communication 광통신

양자 채널의 응용에 있어서, 연구진은 이곳에서 사용하고 있는 마이크로파 광자 대신에 광학 광자를 사용하는 것이 나올 것이라고 설명했다. 이러한 장비는 또한 연구에 중요한 응용이 될 수 있다. "이 라우터는 같은 칩에 있는 광자를 단일 광자 소스에서 여러 실험들로 배포하는 것과 같은 연구에 매우 유용할 것이다. 마이크로파 광자는 훨씬 작고 통합적인 실험에 사용할 수 있다." 라고 Delsing이 말했다. "광자는 양자 정보에서 이상적인 전달자이다. 이 라우터를 이용하여 우리는 양자 정보를 운반하는 마이크로파 광자를 배포하고 이끌 수 있다. 미래의 양자 컴퓨터에서, 이것은 다른 양자 컴퓨터와 소통하는 데 매우 유용하게 쓰일 것이다. 먼 미래에 어떤 이는 이것을 양자 인터넷이라고 칭할 것이다. 그러나 이것은 아마도 양자 중계기라고 불리는 광학과 마이크로파 광자 사이의 양자 인터페이스 같은 추가 장비가 필요할 것이다."

(www.physorg.com)

유럽의 스마트 그리드 전략

1. 총론

유럽에서는 태양광과 풍력 등 재생 가능 에너지의 보급에 따라 전력 공급의 불안정성 등을 어떻게 극복할 지가 큰 과제가 되고 있다. 도시 전체에서 에너지 효율화를 추진하기 위해 에코 시티 개발 및 축전지로 전기 자동차 (EV)의 이용, 소비자가 사용 전력의 수치를 실시간으로 파악할 수 있는 스마트 미터 설치 및 고기능화 등의 대책이 유럽 각 도시에서 시작되고 있다.

(1) 재생 가능 에너지의 보급에 따라 전원 관리가 시급

EU27개국의 신재생 에너지 비율은 2009년 9.0%에 달하고 10년 전에 비해 거의 두배가 되었다. 태양광, 풍력 등의 재생 가능 에너지는 발전 규모가 소규모로 분산되었고, 계절, 날씨, 시간에 출력량이 크게 변동한다. 불안정한 전류가 대량으로 전력망으로 유입되면(역조류) 전압과 주파수에 혼란이 생겨 전력망 전체에 장애를 일으킬 위험이 생긴다. 재생 가능 에너지의 실용화는 역조류를 잘 제어 관리하고 적은 전력을 어떻게 효율적으로 사용

할 수 있을 지가 중요하게 된다.

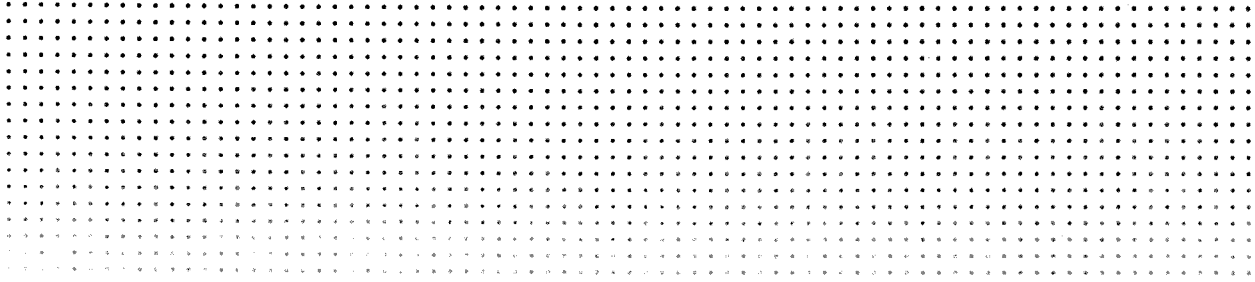
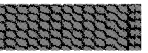
스마트 그리드는 재생 가능 에너지의 안정 공급에 필수적이며, 저탄소 사회 실현의 열쇠로 자리매김하고 있다. 스마트 그리드는 "IT를 이용하여 전력의 흐름을 공급 측면과 수요 측면 모두에서 제어, 모니터링 및 최적화할 수 있는 전력망"의 총체를 의미한다. 공급 측면에서는 송전 설비를 고기능 제품으로 교체하여 전력 공급의 안정화를 도모한다. 수요 측면에 대해서는 최종 소비자에게 통신 기기 조작 능력을 가진 고기능 전력 계량기(스마트 미터)를 설치하여 전력 소비를 제어하는 것이다. 유럽위원회는 2011년 4월, 스마트 그리드의 보급을 위한 계획을 발표하고 현재 EU 전체에서 10%정도에 그칠 스마트 미터 (고객이 전력 소비량을 실시간으로 파악할 수 있는 기기) 설치율을 2020년까지 국내 전체 가구의 80%이상으로 확대시킬 계획이다.

또한 2012년까지 송전망과 스마트 미터 설치뿐만 아니라 전기 자동차(EV)의 충전 시스템도 이 계획에서 언급하고있다. 재생 가능 에너지의 이용 효율화를 추진 중인 유럽 주요 국가와 도시의 노력을 개관하면 (1)에코 시티 (2)잉여 전력을 이용한 EV의 이용, (3)스마트 미터의 고기능화 세 유형으로 나뉜다.

(2) 에코 시티

스마트 그리드를 사용한 환경 친화적인 에코 시티, 즉 스마트 시티 구축이 진행되는 선진 도시가 있다. 2019년까지 전체 가구의 스마트 미터 설치를 목표로 영국의 지방 도시에서도 적극적인 보급망의 정비가 이루어지고 있다. 런던 동부 잉글랜드 등 약 800만호의 고객과 배전 사업자 UK Power Networks는 런던의 저탄소 사회 실현을 목표로 '저탄소 런던 프로젝트'를 시작했다. 새로운 저탄소 기술과 요금 체계가 어떻게 소비자의 전력 소비 행동에 영향을 미치는지를 검증하기 위해 ①풍력 발전, ②분산 발전, ③EV & 히트 펌프, ④스마트 미터, ⑤디맨드 사이드 관리(전력 공급에 따라 수요를 조정하는 것) 다섯 가지 측면에 초점을 맞추고 실험을 실시하여 미래의 똑똑한 전력망을 위한 국가 차원의 "청사진"을 만드는 것이 목적이다.

암스테르담은 "25년까지 시 최종 에너지 소비의 20%를 재생 가능 에너지, 90년 대비 CO₂ 배출량을 40% 절감"을 목표로 2009



년 '암스테르담 스마트 시티 프로젝트' 가 시작되었다. "지속 가능한 ①생활, ②노동 ③교통, ④공공공간"의 4개의 세그먼트로 나누어 계획이 진행되며, 스마트 미터를 설치하거나 환경 친화적인 오피스 빌딩의 건설, 전기로 움직이는 선박을 위한 충전 시설의 정비, 공공 시설의 재생 가능 에너지의 이용이 진행된다. 스톡홀름시 또한, 도시의 동쪽에 위치한 시 소유 땅에 최첨단 국제 항만과 환경 친화적인 1만호의 주택 3만명 분의 사무실 공간을 건설하는 "로알 항구"계획이 진행 중이다. 사무실, 상업지구, 주거지역으로 복합적인 개발계획, 입주는 2012년부터 시작, 모든 프로젝트 완성은 2030년 예정이다. 풍력이나 태양광, 하수 및 폐기물 처리 과정에서 얻은 재생 가능 에너지를 주택과 사무실의 조명과 난방에 활용하는 것 외에 IT 기술을 구사한 시스템에서 전원과 축전지, 주택이나 사무실, 전기 자동차 및 선박, 버스 등을 연결, 발전, 송전, 배전, 소비자의 각 단계의 전력 수급 정보를 분석하고 그것에 따라 전력량을 조절한다. 지역에 건설하는 건물은 에너지 절약성이나 거주성을 중시하고 있다. 또한 발트해 교통의 허브로, 선박용충전 시설을 갖춘 환경 친화적인 에너지 공급 항구와 계획도 있다.

(3) 잉여 전력을 이용한 EV의 이용

스페인, 덴마크는 풍력 발전이 한창이며, 발전량의 변화가 심하기 때문에, 잉여 전력의 이용 및 전력 시스템의 부하를 줄이기 위해 EV를 활용하는 움직임이 한창이다. 스페인에서는 야간에 공급 과잉이 되는 전력을 이용하여 650 만대의 EV를 충전할 수 있다. 09년부터 EV 보급 촉진 계획 'Plan Movele' 가 시작, 14년까지 25만대의 EV 플러그인 하이브리드의 보급을 목표로 한다. 10년 12월 세계 최초의 양산 모델 EV '리프' 를 발매한 닛산 자동차도 차체 인프라 쌍방의 보급을 목적 많은 지자체에서 판매를 계획하고 인프라 설치를 위한 협정을 맺기 시작했다. 덴마크에서는 총 발전량의 20%를 차지하는 풍력 발전의 이용 뿐만 아니라 EV 신차 등록세 면제(일반적으로 180%로 매우 높음)는 면세 조치가 EV 보급에 유리하다. 또한 환경 차량으로뿐만 아니라, 잉여 전력을 축적 전력망 취소, 충전지로 EV의 실증 실험이 이미 진행되고 있다. 발트해의 보른 홀름(덴마크)에서 행

해지고 있는 'EDISON 프로젝트' 는 섬 전체에 스마트 그리드 망을 구축하고 풍력 발전에 의한 잉여 에너지를 EV에 사용하는 실증 실험이 진행 중이다. 스위스는 일찍부터 EV를 환경 친화적인 차량으로 인정하고, 이탈리아 국경에 가까운 관광지, 체르마트에 1931년부터 가솔린 자동차의 진입을 금지하고, 1947년 EV를 도입, 현재 동네 전체 약 500대가 운행하고 있다. 전국에는 700개소 이상 충전 스탠드가 설치되었다. 단, 인프라 측면의 정비가 손조롭게 진행된 반면 EV 자체는 그다지 보급되지 않았고, 2010년말 등록된 EV는 700대, 하이브리드 카의 수는 1만 7,100대에 머물고 있다. 보급의 가장 큰 걸림돌이 되고 있는 것이 EV 가격과 공급량 부족이다. 이것은 스위스뿐만 아니라 유럽 전체의 문제라고 할 수 있다.

(4) 스마트 미터의 고기능화

독일에서 행해지고 있는 스마트 시티의 실증 실험에서는 가전의 자동 제어를 위한 고성능 스마트 미터의 개발과 실험 참가자에 의한 전력의 직접 거래 등을 할 예정이다. 만하임시에서는 실험 대상의 가정에 '에너지 버틀러' 라는 전력 이용 도움을 위한 제어 장치가 설치된다. 전력 요금 체계는 만하임시가 직접 설정하고 기후 조건에 의한 재생 가능 에너지 발전량의 변동에 따라 매 시간 변동한다. '에너지 버틀러' 는 다음날 시간 당 전력 요금을 고객에게 통지한다. 고객은 예고된 가격을 보면서 '가장 전력 싼 때 지정한 가전제품 가동' 등의 행동을 자동 스위치 시스템에 의해 제어할 수 있다. 북동부 라인 Ruhr 지역에서 추진되고 있는 프로젝트는 고객이 가정에서 생산한 전력의 잉여 전력 회사와 거래하는 시장의 검증을 실시하고 있다. 고객 한사람 한사람이 전력 '생산자(producer)' 이며 '소비자(consumer)' 이다, 라는 의미로, 고객을 'prosumer(프로슈머)' 라는 이름으로 말단 소비자가 전력을 생산하여 적극적으로 전력 시장에 참여하는 것을 유도하고 있다. (www.jetro.go.jp)

ISSUE **광통신** 신기술, 신제품

광통신에 유용한 새로운 빛 저장 방법



〈그림〉 빛을 저장하고 파장 변환을 할 수 있는 광기계적 공진기

높은 데이터 수송 능력과 낮은 손실로, 빛은 이상적인 정보 전달자 역할을 한다. 그러나 전파하는 속도가 매우 커서 빛은 저장하기가 어렵다. 빛을 저장할 수 있는 능력은 광네트워크 뿐만 아니라 장거리 양자 통신 네트워크를 위해서도 매우 중요하다. 따라서 연구자들은 다양한 광저장 기술을 연구하였다. 이전의 연구가 빛이 음향 여기, 스핀 여기 및 원자 여기로 저장될 수 있다는 것을 보였는데, 이제 미국 오레곤 대학의 연구진은 여기에 기계적 여기로 빛을 저장할 수 있다는 것을 보였다.

이들은 광학적 정보를 기계적 여기로써 저장할 수 있는 연구 결과를 최근 피지컬 리뷰 레터스 저널에 발표하였다. 물리학자들은 실리카 마이크로구 내부에 기계적 여기로써 광학 정보를 저장할 수 있다는 개념 증명 실험을 수행하였다. 마이크로구는 과학자들이 기계적 여기를 생성할 수 있도록 해주는 공명하는 공동을 가진 광기계적 공진기 역할을 한다. 오렌곤 대학의 하일린 왕 교수(Hailin Wang)는 이 기계적 여기는 구형 공진기의 숨쉬기 모드(breathing mode)라고 말하였다.

연구진은 조울 가능한 레이저를 사용하여 정보를 쓰고 읽었다. 쓰기 위해, 쓰기 펄스는 공동 공명에서 신호 펄스가 기계적 여기를 발생시키는 기계적 모드에 결합한다. 광학적 정보는 비교적 긴 기계적 여기의 붕괴 시간에 의존하는 시간동안 기계적 여기로써 저장될 수 있다. 정보를 읽기 위해, 정보 읽기 펄스가 기계적 여기에 맵핑되고 광학적 펄스로 돌아가는 가역적 프로세스가 수행된다.

연구진은 저장 수명이 3.5 마이크로초라고 말하였다. 그것은 원칙적으로 기계적 손실 또는 제동을 줄임으로써 훨씬 더 길어질

수 있다고 연구진은 덧붙였다. 이런 저장 기술의 특성으로 인해서, 그것은 또한 특정한 크기의 파장을 다른 크기로 변환시킬 수 있다. 이런 기술은 다른 광저장 기술에 비해서 독특한 장점이 있다. 이 파장 변환 능력은 기계적 모드가 방사 압력에 의한 모든 광학적 공명에 결합될 수 있는 능력에 기인한다. 저장과 읽기 프로세스는 방사 압력에 강하게 의존하기 때문에, 신호 펄스 파장은 쓰기 및 읽기 펄스의 세기를 변화시킴으로써 개정할 수 있다. 파장 변환의 능력은 정보를 원래 파장에서 장거리 통신에 적합한 파장으로 변환시킴으로써 통신 네트워크에서 중요한 역할을 할 수 있을 것으로 보인다. 양자 네트워크에 대해서 이 능력은 하나의 양자 시스템으로부터 방출된 포톤들을 다른 형태의 양자 시스템에 결합할 수 있는 포톤과 연관시키는데 사용될 수 있다. 전반적으로 장시간 저장 수명을 위한 가능성과 결합된 파장 변환의 능력은 광정보 네트워크를 위한 다양한 응용에 사용될 수 있다.

비록 기계적 진동의 열적 여기는 현재 양자 영역에서 광기계적 광저장에 사용될 수 없게 만들고 있지만, 최근 냉각 기계적 진동 실험은 이 문제를 극복하게 해 줄 수 있을 것으로 보인다. 이런 연구로 광저장을 위한 새로운 방법을 이용하여 양자 메모리 및 다른 양자 시스템을 개발할 수 있을 것이다. 연구진은 광파장 변환을 시연하기 위해 광기계적 상호작용의 이런 형태를 이용하는데 관심을 가지고 있으며, 하나의 파장으로부터 다른 것으로 광펄스를 연관시키는 것에도 관심을 가지고 있다고 말하였다. 연구진은 또한 빛의 양자 역학적 상태를 보존하면서 양자 영역에서 이런 것을 수행할 수 있기를 희망하고 있다. 이들의 연구 결과는 "Storing Optical Information as a Mechanical Excitation in a Silica Optomechanical Resonator." 라는 제목으로 피지컬 리뷰 레터스 저널에 발표되었다.

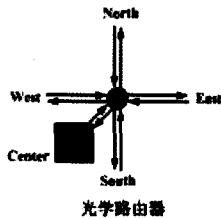
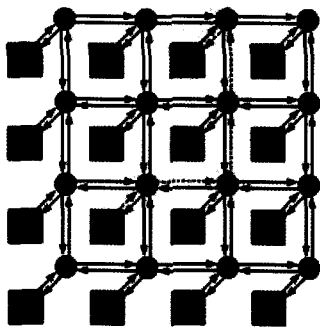
(www.physorg.com)

중국, 고속처리가 가능한 5개 포트의 광학네트워크 라우터 노드를 구현

중국과학원 반도체연구소에서 Optical network on chip node에서 광학라우터(optical router)를 사용하는 연구에서 중요한 진전을 얻었다.

할당영역 지배주파수(Dominant frequency)을 높임으로 마이크로 공정(Microprocessor)의 성능을 높이는 방식이 “에너지 낭비”란 제한을 받은 후 다중 병렬공정(Multi core parallel processing)의 구조가 점차 고성능 Microprocessor 성능을 계속하여 높이는 중요한 수단의 하나로 되고 있다.

■ 处理器 ● 节点 → 光波导



<그림> Optical network on chip network node에서 optical router을 사용하는 구조도와 고속 data 전송 실험결과

Multi core processor을 볼 때 그 전체적 성능은 그 집성적 처리 핵심의 성능 및 수량과 연관이 있고 또한 각 처리 핵심 사이의 통신 효율의 제한을 받고 있다. 현재의 Multi core processor은 금속 연결선으로 구축된 network on chip을 이용하여 Multi processing core사이의 data교환을 구현하고 있다.

국제반도체 기술발전로드맵은 될수록 빨리 Electrical interconnection network on chip를 대체할 수 있는 새로운 기술을 찾아야 한다고 명확히 밝히고 있다.

중국과학원 반도체연구소 광전시스템 실험실은 2009년부터 시작하여 Optical network on chip network node에서 optical router을 사용하는 연구를 하였고 혁신적으로 종합성능(부품 소모, Chan-

nel crosstalk, Channel uniformity 및 Scalability)이 국제 동종분야의 Optical router보다 탁월한 Topological structure을 제기하였다. 2년 동안의 연구를 통하여 이 연구팀은 2011년 5월에 우선적으로 국제적으로 Optical network on chip network node에서 Five port optical router을 사용하는 것을 구현하였다.

그 데이터 처리량(Data throughput)은 50Gbit/s(그 전에는 오직 미국 Cornell University와 Columbia University의 연합팀과 반도체연구소의 연구팀에서 Four port optical router을 실현하였다)이다. 관련된 연구성과는 유명한 광학저널지인 Optics Express의 9월 저널에 연속적으로 두번 발표되었다.

(www.cas.ac.cn)

PHOTONICS INDUSTRY NEWS

www.kapid.org

