

## 光通信 技術中心의 光波 및 量子電子技術의 發展 展望

姜 玫 鎬

韓國電氣通信研究所 전송연구부장(博士)

### I. 머릿말

첨단기술을 거론할 때마다 단골손님으로 모셔지는 광통신기술은 여러가지 얼굴을 갖고 있다. 좁은 의미로는 일상통신에 사용되는 구리줄대신에 유리줄을 써서 전화국과 전화국사이를 이음으로써 보다 효율적으로 통신고속도로로서의 역할을 수행하는 대용량 전송 기술과 전화국 또는 정보센터로 부터 각종의 가입자사이를 이음으로써 전화뿐만 아니라 광대역 TV, 각종 데이터등 특성이 전혀 다른 정보들을 효율적으로 주고받는 복합통신기술을 들 수 있겠다. 넓은 의미의 광통신기술은 빛을 이용한 각종 정보의 인식, 축적, 교환, 합성기술 등이 종합되어 인공지능 광컴퓨터의 실현을 가능케 하는 광정보처리 기술이 포함된다. 또한, 통신고속도로로서의 대용량 광전송, 다양한 가입자 응용의 복합광통신 및 광정보처리가 가능하기 위해서는 새로운 기능을 수행할 수 있는 광소자의 개발이 필수적이다.

이러한 기술들이 완속되면 모든 정보의 가공, 축적, 전송, 교환이 빛의 형태에서 시작되어 빛의 형태로 끝나는 전 광통신 시스템(totally optical information communication system)의 실현이 가능하며 오늘날의 전자기술(electronics)이 앞으로 광자기술(photonics) 전성시대로 발전할 것이다.

여기서는 광파 및 양자전자공학의 집합체인 광통신 기술을 대용량 복합전송 시스템기술, 광소자기술, 광정보처리기술로 나누어 국내외의 기술수준을 분석하고 발전 방향을 전망해 보겠다.

### II. 광전송 시스템

시스템으로서의 광통신기술은 광신호 전송에 사용되는 광섬유의 특징을 최대한으로 살리는 방향으로 발전하고 있다. 1966년 Kao 박사가 제안한 오늘날의 광섬유는 10,000 회선의 전화신호를 반도체 레이저 하나로

변조하여 직경 0.1mm 정도로 머리카락처럼 가늘고 유연한 광섬유를 통하여 100km 이상의 무중계 전송할만큼 즉 저손실(0.2dB/km)과 초광대역(100GHz km) 특성을 갖고 있다. 뿐만 아니라 파장이 다른 여러개의 레이저 빔을 광섬유 한 가닥을 통하여 주고 받을 수도 있는 파장분할 다중화가 가능하며 전자파의 유도현상이 없으므로 유연한 광케이블을 전력케이블과 같이 포설할 수도 있고 방사능 또는 화재시에도 오래 견딜 수 있는 안전통신의 좋은 수단이 된다.<sup>[1]</sup> 이러한 장점으로 인해 광통신기술은 앞으로 정보화 사회의 기반 네트워크인 종합정보통신망(ISDN)의 가장 합리적인 구현 수단으로서 중계시스템 및 가입자망 시스템으로 활용될 것이다. 현재 광섬유의 주저손실, 초광대역 특성을 더욱 발전시키기 위한 노력으로 실리카 광섬유의 초광대역 파장영역을 현재의 1.3 $\mu$ m에서 1.1~1.7 $\mu$ m의 넓은 파장영역으로 넓혀서 앞서 언급한 파장분할 다중화방식을 고도화하는 광섬유 제조방법들이 연구되고 있다. 이렇게 되면 현재의 광섬유 1가닥당의 전송용량이 10배 정도는 늘어나게 되며 10종류의 전혀 다른 정보를 대역폭의 제한없이 전송할 수 있을 것이다. 광통신시스템의 무중계 거리를 더욱 넓히기 위해서는 광섬유의 손실을 현재의 0.2dB/km정도보다 훨씬 줄이는 방법과 강도변조된 광신호를 직접 검출하는 현재의 변·복조방식 대신에 편광, 위상 또는 주파수 변조된 광신호를 헤테로다인 또는 호모다인 검파함으로써 수신기의 감도를 높이는 방법을 생각할 수 있다. 주저손실 광섬유의 제조를 위해서는 이론적인 한계손실까지 접근한 1 $\mu$ m 파장영역의 실리카 광섬유대신에 5~10 $\mu$ m 파장영역에서 전송손실이 이론적으로 실리카보다 100 이하인 10<sup>-3</sup>~10<sup>-4</sup>dB/km까지 줄일 수 있는 플루오라이드, 철파이드, 중금속산화물 등의 비실리카계 광섬유에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다.<sup>[2]</sup> 이러한 중적외선 광섬유의 제조현황을 살펴보면, 일본의

Furukawa Cable Works사에서  $\text{GeO}_2$  광섬유를 제조하여  $2\mu\text{m}$  파장에서 5dB/km의 광손실을 갖는다고 발표하였고, 또 일본 NTT의 Ibaraki ECL에서는 플루오라이드 유리를 재료로 하여  $2.55\mu\text{m}$  파장에서 12dB/km의 광손실을 갖는 광섬유를 제조한 바 있다. 아직 중적외선 광섬유의 제조공정에 대한 연구가 확립되지 못한 상태이기 때문에 이론적 최저손실과 비교하면 큰 차이를 보이고 있다. 이러한 중적외선 광섬유는 일반통신외에도 레이저 가공, 레이저 수술, 광전력 전송 등에서 그 응용이 기대된다.<sup>1)</sup>  $\text{CO}_2$  레이저 광을 전송할 목적으로 제조되는 중적외선광섬유는 주로 KRS-5와 같은 다결정재료로 제조되고 있는데 현재 최저 손실이 20dB/km까지 감소되었다.

라디오파의 경우처럼 광파도 그 코히런트한 전자파로서의 특성을 이용할 수 있으면 광통신의 성능을 더욱 증대시킬 수가 있다. 현재의 광통신방식은 강도변조/직접검파 방식으로서 시스템 구성은 비교적 간단하지만 레이저광이 갖는 우수한 특징인 코히런트가 이용되지 않고 있다. 이에 비해, 코히런트 광통신에서는 ASK, FSK, PSK 등의 방식으로 변조된 레이저광을 단일모드 광섬유를 통하여 전송한 다음 수신측에서 국부발진기의 레이저 광신호와 합성시킨 후 검출한다. 국부발진기에서는 주파수를 제어하는 헤테로다인 방식과 위상을 제어하는 호모다인 검파방식이 연구되고 있다. 믹서를 통과한 후 광검출기의 출력은 (국부발진기의 광진폭)·(신호의 광진폭)에 비례하므로 신호의 광출력만을 검출하는 것보다 10~30dB 정도의 수신감도 개선을 얻을 수 있다.<sup>1)</sup> 이러한 고도 광통신기술이 실용화되면 현재의 무중계 가능거리(100~200km)가 50~150km정도 늘어나게 되므로 부산-제주도간에 중계기 없는 해저 광케이블 전송이 가능하게 될 것이다. 하지만 이를 위해서는 많은 기술적 과제들이 선결되어야 한다. 헤테로다인 검파시 중간 주파수는 0.2~2GHz 정도로 잡고 있는데 이것은 반송파주파수(~200THz)의  $10^{-6}$ ~ $10^{-5}$ 배이므로 주파수 안정도가 극히 높은 반도체 레이저(5~10MHz 정도)가 요구된다. 또 송신용 및 국부발진용 광원의 스펙트럼폭이 넓으면 중간주파신호의 위상흔들림이 크게 되어 부호오율(BER)이 증가한다. 400Mb/S FSK 또는 PSK 전송시스템에서 BER을  $10^{-9}$ 이하로 하기 위해서는 반도체 레이저의 스펙트럼선폭이 500KHz 이내여야 한다. 그리고 수신단에서 신호광과 국부발진광의 편광상태가 정합되어야 하므로 편광상태 보정장치, 편광유지 광섬유등을 개발할 필요가 있으며 아울러 광대역, 고능률의 변조기술이 개발

되어야 한다. 현재, 중심파장이 장기간 변하지 않고 1MHz 정도의 스펙트럼선폭을 갖는 반도체 레이저의 개발, 단일모드·편광유지 광섬유의 개발, 헤테로다인 광검파 방식의 개발 등이 초보적으로 진전을 보이고 있다.

광통신 시스템은 단파장에서  $1.3\mu\text{m}$ 의 장파장으로 발전해 왔고 가까운 장래에  $1.2\sim 1.7\mu\text{m}$ 의 저손실 영역으로 사용파장이 확대될 것이며, 초장거리 전송등의 특수응용으로 중적외선( $5\sim 10\mu\text{m}$ )까지 확장시키려는 연구가 진행되고 있고 광섬유의 구조로는 다중모드에서 단일모드 및 편광유지 광섬유쪽으로 발전이 기대된다. 전송 속도면에서도 꾸준한 진전이 있어 초기의 100Mb/S 정도 이하에서 현재는 400Mb/S 그리고 수 Gb/S까지의 높은 전송속도에 대한 연구, 개발이 진행되고 있으며 파장분할 다중화 장치의 특성도 꾸준히 개선되고 있다.

응용분야로서는 시내, 시외중계망 응용 시스템은 이미 국내외에서 대단위 상용이 활발히 진전되고 있으며, 가입자 응용시스템, 사무실, 공장자동화 시스템 등이 초기 실용화 단계에 있고, 해저케이블 시스템도 '88년까지는 대단위 상용이 예상된다. 각 가정까지 광섬유로 연결될 90년대 후반에는 통신이 지향하는 종합 정보통신 시스템의 신경조직으로서의 역할이 기대된다.

### Ⅲ. 광소자 기술

광통신 시스템에 직접 사용되는 광소자로는 전기신호를 광신호로 바꾸어 주는 반도체 레이저와 발광다이오드, 전송된 광신호를 다시 전기신호로 바꾸어 주는 광검출기와 광섬유를 연결하는 광 코넥터, 합파기, 분파기 등이 있다. 이들중 그 응용성 및 시장성으로 보아 가장 큰 비중을 차지하는 반도체 레이저의 경우 1982년도 일본의 생산실적은 43억엔 정도이고 연간 8%의 성장률을 보이고 있는데 반도체 광소자 전체의 생산실적은 640억엔으로서 2000년까지는 12조엔의 광산업 시장중에서 약 22%인 2조 6천억엔에 달할 것으로 예측하고 있다. 발광소자도 앞서의 광통신 시스템의 발전 추세와 같이 단파장에서 장파장, 다중모드에서 단일모드(SLM), 나아가서는 스펙트럼선폭이 더욱 축소된 단일파장 레이저등으로 발전되고 있다.

광통신용 레이저로 처음 사용된 반도체 재료는 파장이  $0.85\mu\text{m}$ 인 GaAlAs/GaAs계이다. 1970년에 이들 단파장 레이저의 실은 연속발진이 처음 보고되었을 때에는 수명이 겨우 한 시간 미만의 것이었다. 그러나 스트라일 제작기술의 개발 오음접촉 기술의 향상, 결정

구조 결합의 해명등에 힘입어 레이저의 수명은 눈부시게 향상되었고 현재는 100만 시간을 넘고 있다. 한편 전송손실의 개선을 목적으로 광섬유의 사용 파장이 1.3  $\mu\text{m}$  및 1.55  $\mu\text{m}$ 의 장파장 영역으로 변화하면서 반도체 레이저도 GaAlAs/GaAs 계에서 GaInAsP/InP계로 바뀌게 되었다. 이들 III-V족 4원화합물은 그 조성비를 변화시킴으로써 발진파장을 조절할 수 있다.

1.3  $\mu\text{m}$ 에서는 색분산이 없기 때문에 현재 장파장 광통신에서는 주로 이 영역을 이용하고 있다. 그러나 광섬유의 최저손실 파장인 1.55  $\mu\text{m}$ 에서 동작하는 단일주파수 반도체 레이저가 개발되면 색분산의 우려없이 중계기 거리를 더욱 연장할 수 있을 것이다.

단일주파수(즉, 단일중모드 및 단일횡모드) 동작을 실현시키기 위한 방법으로<sup>[5]-[7]</sup>는 회절격자를 공진기 외부 또는 내부에 가지고 있는 구조(DBF, DBR)를 들 수 있는데 이들 격자구조는 원하는 파장만을 레이저 공진기 내부로 쉼시키는 역할을 한다. 또 다른 방법으로는 레이저 공진기의 길이를 짧게 한 short cavity laser를 들 수 있는데 이는 통상적인 레이저 공진기의 길이가 250~400  $\mu\text{m}$  정도인 것에 비해 50  $\mu\text{m}$  정도로 작게 만들어 공진모드 간격을 넓혀서 이들 폭안에 1개의 모드만 남게 한 것이다.

C<sup>3</sup>-레이저(cleaved-coupled-cavity laser)는 비슷한 크기의 공진기 두 개가 인접하여 배열된 구조를 하고 있는데 두 공진모드 조건을 동시에 만족하는 것만 최종 출력으로 나오게 되므로 공진기가 하나인 경우보다 모드간격이 넓어지게 된다. 두 공진기는 각각 독립적인 전원에 의해 구동되는데 주입전류에 따라 최대 이득파장이 바뀌는 것을 이용하여 고속 변조시에도 특정 주파수의 선택 및 조절을 용이하게 할 수 있다. 이러한 단일파장 레이저에서 중요한 것은 고속변조시에도 단일모드 상태를 유지해야 한다는 것과 온도변화에 대해서도 안정된 단일모드 특성을 나타내야 한다는 것이다. 반도체 광소자도 일반 반도체소자와 비슷한 발전 과정을 보이고 있다. 진공관, 트랜지스터, IC, LSI, VLSI 등으로 발전된 실리콘 반도체에 비유하면 현재의 광소자는 트랜지스터와 IC의 중간단계에 와 있다. 그러나 현재로서는 광소자만의 집적화보다는 전자소자와 광소자를 hybrid 형태로 집적화하는 소위 광/전 집적소자(OEIC)의 실현이 훨씬 실질적이라는 생각이 일반적이다. 실리콘은 발광기능이 없기 때문에 OEIC는 주로 III-V 화합물로 구성된다. 레이저와 트랜지스터, 광검출기와 LED 또는 트랜지스터 등이 동일 칩 위에 제조되고 있으며 이들은 좀더 복잡한 구조의

OEIC 예를 들면, 광송신기, 광수신기, 광중계기 등으로 집적화될 전망이다.<sup>[8]</sup> 그런데, 이러한 OEIC는 근본적으로 서로 다른 기능을 갖는 소자를 그 제조공정상 상호 영향을 주지 않고 동일 칩위에 집적해야 하므로 많은 어려움이 있다. 예를 들면, FET소자는 반절연성 기판을 필요로 하는 반면, 레이저는 캐리어 농도가 높은 기판이 요구된다. 또 FET공정에는 이온주입과 아닐링단계가 들어 가는데 레이저 제조에는 이것이 필요치 않다. 레이저 구조를 위한 결정성장단계와 트랜지스터 구조를 위한 결정성장단계가 일치하지 않는 것도 OEIC 제조공정을 복잡하게 하는 요인중의 하나이다. 이러한 기술적인 문제를 해결하기 위해서는 정밀한 두께 제어기능 및 연속적인 다단계 결정성장기능을 갖는 epitaxial 성장 방법이 개발되어야 한다.

GaAlAs/GaAs 계에 대해서는 현재 MBE(molecular beam epitaxy)가 가장 우수한 제어기능을 보이고 있으며 양산화에도 유리하고 GaInAsP/InP 계에도 다양하게 적용될 수 있는 VPE(vapor phase epitaxy), MO-CVD(metal-organic chemical vapor deposition) 방법 등이 개발되고 있다.

#### IV. 광정보처리

문자, 그림, 사진 등의 시각정보를 광학적으로 인식, 분류, 변형, 축적, 처리하는 광영상 처리 기술은 광소자 기술과 병행하여 미래의 종합정보 통신 시스템에서 큰 비중을 차지할 것으로 예상된다. 이러한 영상정보의 효율적인 처리 기술은 통신뿐만 아니라 로봇시각, 광기억장치, 광입출력장치 등 산업전반에 응용될 것이며 광소자기술, 광신호처리기술과 함께 광컴퓨터의 실현에 크게 기여할 것이다.

광정보처리는 광영상 인식과 광신호 처리 그리고 광컴퓨팅 분야로 분류될 수 있다. 광영상인식<sup>[9]</sup>에는 광학적 정합필터를 사용하는 방식과 어레이 광검출기를 사용하는 회절패턴 샘플링 방식이 주로 쓰이고 있다. 정합 필터링 방식은 1964년 Vander Lugt가 2차원 영상스펙트럼의 강도 및 위상 정보를 동시에 기록하는 방법을 제시한 이래 많은 기법이 개발되었으며 특히 CGH(computer generated hologram) 방식에 의해서는 임의의 2차원 영상에 대한 정합필터제작이 가능하게 되었다. 그러나 이 방법은 인식하고자 하는 물체의 크기 변화와 각도 변화에 대해서 매우 민감하기 때문에 그 사용범위가 제한되고 있다. 이를 위해 크기 변화에 무관한 인식특성을 갖도록 하는 Mellin변환과 각도변화의 영향을 줄이기 위한 중첩홀로그램방식이 고안

되었으나 아직 완전한 광인식 시스템은 구성되지 못하고 있는 실정이다. 한편 회절패턴 샘플링 방식에 의한 광영상 인식 방법은 2차원 영상의 푸리에스펙트럼분포상에서 특징점들을 추출하여 양자화한 다음 디지털 영상인식처리기법을 사용한다. 정보량의 축소가 가능하고 광학적인 구성과 전자회로적 구성의 조합이 용이하므로 로보트시각 혹은 광컴퓨터의 영상신호 입력 장치로 사용될 수 있을 것이다. 광신호처리<sup>11)</sup>에는 연속적인 전기신호를 1차원 공간분포를 갖는 광신호로 쉽게 변환시킬 수 있는 acousto-optic 소자를 많이 쓰고 있다. 최근의 A-O신호처리 분야는 소자의 병렬연산 기능의 장점을 최대한 얻을 수 있는 백터 및 행렬 연산의 실현에 집중되고 있으며 이러한 산술적인 연산 처리 기능을 활용한 영상인식, '위상어레이 레이더, 방향탐지, 스펙트럼 분석이 연구되고 있다. 다양한 알고리즘의 개발, LED 및 LD와 같은 변조가 용이한 광원의 개발, CCD 등과 같은 신호 검출소자의 개발로 인해 푸리에변환, convolution, correlation 등 렌즈에 의한 종래의 제한된 연산영역을 벗어나 이제는 보다 일반적인 연산까지 가능하게 되었다. 광컴퓨팅<sup>12)</sup>은 일반적으로 영상신호가 아닌 광신호 혹은 전기신호에 대해서 광학시스템을 사용하여 논리 및 수치적인 연산 처리를 행하는 일에 대한 통칭으로 사용되고 있으며 최근 하드웨어 및 소프트웨어에 관해 다양한 연구가 진행되고 있는 분야이다. 광컴퓨팅은 이제까지 아날로그 방식에서의 처리가 대부분이었다. 그러나 이러한 아날로그 시스템은 푸리에 변환, convolution, correlation 등의 제한된 연산능력 밖에는 갖지 못하며 연산 처리 횟수의 증가에 따라 잡음이 커지며 무한대 혹은 무한소에 가까운 값의 표현능력이 부족한 것이 큰 결점으로 지적되고 있다. 이러한 단점들은 대부분 2진 디지털 컴퓨팅 방식에 의해 극복될 수 있다. 이 방식의 구현을 위해서는 2진법에 근거한 논리, 기억, 연산처리 기능을 모두 행할 수 있는 광소자가 개발되어야 한다. 현재 비선형 광소자를 이용한 논리기능 수행과 광창 안정소자(optical bistable device)를 이용한 스위칭기능의 수행이 실현되고 있다.

광정보인식 기술과 광신호처리 기술이 합해진 인공지능형 광컴퓨터가 실현되기 위해서는 빛이 갖는 병렬 처리 능력을 잘 살린 시스템 구성 방식과, 이러한 시스템 구성에 적합한 새로운 계산 알고리즘의 개발이 필수적일 것으로 보인다. 이러한 컴퓨터를 6세대 컴퓨터라고 부를 수도 있겠다.

## V. 맺는말

지금까지 광파 및 양자전자공학분야의 기술현황을 광통신 시스템, 광통신용소자, 광정보처리 기술로 나누어 살펴보고 밝은 미래를 전망하여 보았다. 정보용량과 전송거리를 극대화시키기 위해 광섬유 및 송수신 방식에 대한 새로운 각도의 연구가 진행되고 있으며 광소자의 특성을 개선시키려는 노력과 함께 광집적화도 이루어지고 있다. 광소자기술의 발전에 힘입어 광컴퓨터의 실현을 목표로 광정보처리 분야도 큰 진전을 보이고 있는데 궁극적으로 이러한 기술들이 완속되는 2,000년대에는 빛의 속도로 원하는 모든 정보를 주고 받을 수 있는 고도정보화 사회로 진입할 것이다.

## 參 考 文 獻

- [1] 강민호, 신상영, 광섬유통신개론, Ohm사, 1981.
- [2] T. Miyashita and T. Manabe, "Infrared optical fibers," *IEEE J. Quantum Electron.*, vol. QE-18, 10, pp. 1432, 1982.
- [3] 오명, 강민호, 레이저 응용, 청문각, 1984.
- [4] Y. Yamamoto and T. Kimura, "Coherent optical fiber transmission systems," *IEEE J. Quantum Electron.*, vol. QE-17, pp. 919, 1981.
- [5] T.E. Bell, "Single-frequency semiconductor lasers," *IEEE Spectrum*, vol. 12, pp. 38, 1983.
- [6] Y. Suematsu, S. Arai, and K. Kishino, "Dynamic single-mode semiconductor laser with a distributed reflector," *IEEE J. Lightwave Tech.*, vol. LT-1, pp. 161, 1983.
- [7] W.T. Tsang, *The C<sup>3</sup>-Laser* Scientific American, pp. 126, Nov., 1984.
- [8] N. Bar-Chain, S. Margalit, A. Yarw, and I. Ury, "GaAs integrated optoelectronics," *IEEE Trans. Elect. Dev.*, vol. ED 29, pp. 1372, 1982.
- [9] D. Casasent, *Optical Pattern Recognition*. EOSD., pp. 39, March, 1981.
- [10] D. Psaltis, "Two dimensional optical processing using one-dimensional input devices," *IEEE Proc.*, vol. 72, pp. 962, 1984.
- [11] A.A. Sawchuk and T.C. Strand, "Digital optical computing," *IEEE Proc.*, vol. 72, pp. 758, 1984. \*