

정보통신용 광전부품의 기술동향

金得寧, 申東浩, 林永敏, 尹大源
電子部品綜合技術研究所 光電部品研究室

要約

본 논문에서는 차세대 유망산업으로 떠오르고 있는 광전산업 중 정보통신용 광전부품의 소개 및 시장전망, 그리고 주요 부품들의 기술개발 동향에 관하여 개괄 하였다. 광전산업이라는 용어가 다소 생소하기는 하지만 해외 기술선진국에서는 이미 이 분야에 막대한 기술력을 투입 상당한 수준의 기술을 확보하여 후발국을 상대로한 기술위협을 가하고 있다. 우리나라에서도 수년 전 부터 정보통신, 정보처리산업이 크게 일어나기 시작하면서 이 분야 핵심요소기술이라 할 수 있는 광전자 기술의 중요성이 부각, 부분적으로는 상당한 기술이 확보되어 있으나 아직도 해결해야 할 요소 기술들이 산적해 있다. 광전부품의 종류와 그 응용범위는 매우 다양하지만 본고에서는 정보통신용 광전부품에 국한하여 주요 부품들을 소개하고자 한다.

1. 서론

1. 광전산업의 중요성

현재 우리나라의 산업구조에서 光電産業이라는 용어 자체가 다소 생소하거나 또는 이질적인 표현으로 받아들여질 수도 있다. 아직은 전자산업을 구성하는 지엽적인 분야로 해석하여도 무방하다는 견해가 지배적일 수도 있을 것이다. 분명 우리나라의 산업여건 및 주변환경으로 보아 광전산업을 전자산업에서 분리 독립시킨다는 것은 무리이기는 하다. 그러나 현재 국내외적으로 과학기술 및 산업기술의 변천추이를 조망

할 때 광전산업의 중요성과 그 잠재적 부가가치는 능히 짐작할 만하다. 초고속 정보통신망 구축, B-ISDN 구현, 광 CATV 방송, 한-러 광케이블 포설, 한국-일본-홍콩(K-J-H) 광케이블 포설 등과 같은 국가적 차원의 [사진] 들은 차치 하고서라도 레이저 디스크, 광자기디스크, 콤팩트 디스크, 광LAN, 평판 디스플레이... 등과 같은 광관련 기술(산업)들이 이미 우리 눈 앞에 전개되고 있는 것이 현실이다.

본래 광전기술은 전자 고유의 기술 한계를 극복하고자 물질의 광학적 특성을 이용 신기능을 창출하고, 고성능, 고품위, 고속성등을 지향하는 새로운 차원의 기술분야이다. 따라서 응용분야는 현재의 정보처리분야와 정보통신분야에만 국한되는 것이 아니고 에너지 분야, 의료기 분야, 계측기 분야 및 정밀 가공분야에 이르기 까지 다양한 응용 잠재성을 가지고 있다.

2. 광전기술의 분류

광전기술을 분류하는 방법으로는 제품의 성격에 따라 광전재료기술, 광전부품 및 소자기술, 광전응용기기 및 장치기술등으로 대별 할 수 있으며 또한 이들을 다시 응용분야에 따라 정보처리용 광전기술, 정보통신용 광전기술 및 에너지 관련 광전기술 등으로 분류 할 수 있다. 그러나 이러한 기술(제품)외에도 실제에 있어서는 그 이상의 기술들이 있을 수 있으며, 기술이 진보 발전됨에 따라 새로운 기술들이 추가될 수도 있을 것이다. 본고에서는 이러한 종류의 광전자 기술 모두를 다룰 수는 없고 정보통신용 광전부품 및 소자에 집중하여 그 기술들의 개발동향및 그 시장개황에 관하여 서술하고자 한다. 특히 시장분석과 관련하여서는 분류된 기술들의 세계 전체 시장 규모를 예

측하기 힘들어 일본의 시장 자료를 많이 참고하여 정리하였음을 첨언한다.

II. 정보통신용 광전부품의 기술개발동향

1. 광 능동부품 및 소자

외부로 부터의 입사에너지가 소자자체의 기능에 의해 광에너지를 전기에너지로 또는 전기 에너지를 광에너지로 변환하여 출력시키는 부품 및 소자를 말한다. 이때 입사에너지가 증폭되어 출력될 수도 있는데 능동부품 및 소자에는 레이저 다이오드, 발광다이오드, 수광소자 및 광증폭 소자 등이 포함된다.^[1] 이러한 소자들은 B-ISDN에 있어서 핵심 광부품이며 미국, 일본, 영국 등 선진국에서는 이미 설계, 공정, 조립, 평가 기술이 실용화되어 있는 반면 국내의 경우에는 ETRI 및 금성, 삼성, 현대 등에서 연구개발 중이다.

1) 레이저 다이오드

레이저다이오드(LD)는 소형이면서 높은 효율을 가지고 있으며 수 V 및 수십 mW의 저전압 저소비전력에서 동작한다. 특히 발광 스펙트럼선폭이 수 nm로 가간섭성(coherence)이 높아 출력광을 높은 정밀도로 집광할 수 있고, 전류에 의한 광출력 변조시 GHz대의 직접변조가 가능한 특징을 가지고 있다. 레이저다이오드의 종류는 발광면에 따라 표면발광형과 단면발광형, 파장에 따라 단파장과 장파장, 광출력에 따라 저출력과 고출력으로 구분하거나 용도에 따라 광정보처리용과 광통신용으로 구분하기도 한다. 여기서는 광통신용 레이저다이오드에 대해 소개 하기로 한다.

광통신용 레이저다이오드의 재료는 광화이버의 저손실파장대의 특성을 가지는 화합물반도체로서 GaAs계와 InP계가 이용된다. 광통신의 경우에는 파장이 1.3 μm 대 및 1.55 μm 대의 GaInAsP/InP계가 주로 이용되고 있다. 최근에는 광섬유의 최저손실 파장이 1.3 μm 대에서 1.55 μm 로 뒀에 따라 1.55 μm 대역의 레이저다이오드의 연구개발 및 실용화되고 있다. 그러나 아직은 가격면과 신뢰성 면에서 1.3 μm 대의 레이저다이오드의 상용화도 함께 추진되고 있는 실정이다. 초고속, 장거리 광전송이 실현되기 위해서는 기본적으로 스펙트럼 선폭의 증가에 의한 파

장분산을 제어하여야 하기 때문에 고속변조시에 단일 모드 동작을하는 안정된 레이저다이오드가 필요하다. 이를 위해서 단일주파수 레이저다이오드 또는 동적단일모드(DSM : Dynamic Single Mode)로 불리는 레이저다이오드의 연구가 꾸준히 되어 왔다.^{[2][3]}

동적단일모드 레이저다이오드는 파장선택성을 가지는 공진기와 좁은 스트라이프구조를 이용하여 종모드 및 횡모드를 안정화하여 고속변조시의 동적상태에서도 단일모드 동작을 한다. 이러한 레이저에서는 종모드간에 손실차 및 이득차를 가지고 있어서 특정 종모드를 선택하여 단일모드화한다. 대표적인 DSM레이저로는 분포캐환형인 DFB(Distributed Feedback)와 분포브래그반사형인 DBR(Distributed Bragg Reflector)레이저가 있고, 이외에도 외부공진기형 레이저, 복합공진기형, 단공진기형 등이 있다. 현재 광통신용 레이저다이오드는 DFB구조의 것이 가장 널리 이용되고 있다. DFB 레이저다이오드는 칩내에 요철의 주기 구조를 갖는 회절격자를 만들어 브래그 반사에 의한 파장선택성을 가지게 하여 하나의 특정한 종모드를 발진하도록 되어 있다.

광통신용 레이저다이오드는 1.55 μm 대의 동적단일모드발진, 장수명, 초고속동작이 가능해야 하며 이러한 설계요구 특성 외에도 고기능화에 대한 고려가 되어야 한다. 이러한 특성을 만족시키기 위해서 DC-PBH(Double Channel Planer Buried Heterostructure) 및 양자우물(QW)구조 등이 이용되고 있다. 최근에는 소자의 신뢰성 및 수명이 우수한 QW 구조를 복합적으로 가지고 있는 장거리 대용량의 광통신용 DFB-DC-PBH 레이저다이오드의 구조 등이 개발되고 있다. 이러한 구조들을 복합적으로 이용하여 전기적 특성, 광학적 특성 및 신뢰성을 향상시키고 있다. 특히 고속화와 함께 양자우물구조를 이용한 각종 특성 개선과 DBR구조 등을 이용한 파장 가변 레이저, 광증폭을 위한 펄핑용 레이저의 개발 및 상용화가 추진되고 있다. 또한 고집적, 고기능화를 위한 광학적 집적화(OIC)와 전기, 광학적 집적화(OEIC)의 개발도 꾸준히 되어오고 있다. 이외에도 저가격화, 고신뢰성화, 패키징 등 칩외적인 문제도 매우 중요시 여기고 있으며 특히 패키징기술은 상품화에 있어서 중요한 문제이다.

그림 1은 광통신용에서 널리 이용되는 DFB-DC-PBH구조의 레이저다이오드로서 이러한 구조에서는 동특성이 우수하고 전류와 광의 효율적인 감금이 가

능하다. 특히 레이저다이오드는 B-ISDN의 실현을 위해서 가장 중요한 핵심부품이며 광소자의 발전에 따라 통신 방식 및 기능이 향상 될 것으로 기대된다.

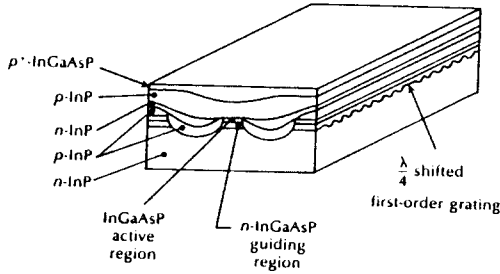


그림 1. 광통신용 DFB-DC-PBH 레이저 다이오드(T. P. Lee and C. Zah)

2) 발광다이오드

발광다이오드(LED)는 반도체 PN접합에 순방향전압을 인가하여 소수캐리어를 주입하고 주입된 캐리어들의 재결합발광현상을 이용하는 소자이다. 발광다이오드의 종류는 크게 적외선영역의 광통신용 발광다이오드와 가시광영역의 표시용 발광다이오드로 나눌 수 있다. 광통신용 발광다이오드 재료는 LD와 마찬가지로 석영계 광섬유의 최저분산 최저손실 대역에서 금지대역 폭을 갖는 InP계가 주로 쓰인다. InP계 통신용발광다이오드는 레이저다이오드에 비해서 저속 저출력이지만 온도변화에 대하여 안정되고 동작수명이 길며 가격이 저렴한 장점이 있다. 이러한 장점으로 인하여 수백 Mbps급 이하의 저속 저용량의 경우에는 레이저다이오드 보다는 발광다이오드가 주로 이용되고 있다.

광통신용 발광다이오드는 응답속도가 빠르고 고출력이 가능하여야 하며 발진파장이 광섬유의 최저손실 파장과 일치하여야 한다. 또한 광섬유와의 결합효율이 우수하고 제작이 용이하며 경제적이어야 한다. 통신용 발광다이오드의 재료에는 직접천이형구조를 만족하는 InP계가 주로 이용되고 있다. 통신용 발광다이오드의 발진파장은 1.3 μm 및 1.55 μm 대가 이용되고 있다. 또한 고출력을 위해서는 접합구조가 싱글헤테로(SH)구조 보다는 더블헤테로(DH)구조가 유리하다. DH 구조에서는 캐리어를 활성층 내에 갇금함으로써 고출력화 및 고속화가 가능하다. 광섬유와의 결합효율은 표면발광형 구조 보다 단면발광형 구

조에서 우수하다.³⁾

광통신용 발광다이오드는 특성이 우수한 DH구조의 1.55 μm 대 단면발광형의 구조가 이용될 것으로 보여진다. 단면발광형에서 스트라이프 구조 등을 이용하여 발광빔의 공간분포 및 소비전력 등을 향상시키는 연구가 되고 있다. 그림 2는 통신용 단면발광다이오드의 외관 및 칩의 구조를 보여주고 있다.

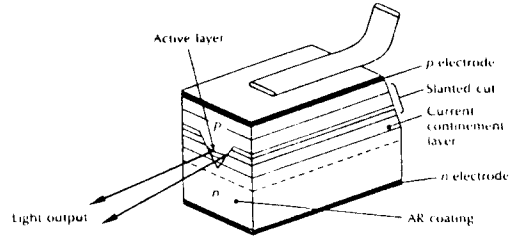


그림 2. V-groove형 통신용 면발광다이오드 (T. Ohtsuka 등)

3) 수광소자

수광소자는 널리 알려진 포토다이오드 외에도 포토 트랜지스터, 태양전지 및 수광집적회로 등이 있다. 수광소자는 소형, 경량, 저전압 동작, 적당한 수광면적, 취급의 용이성 및 저가격의 장점을 가지고 있다. 응용 분야는 광출력 측정, 변조된 광의 검파(변조) 및 광펄스 파형 관측, 태양전지에 의한 에너지 변환 등 그 활용 범위가 넓다. 수광소자의 재료는 Si, Ge, InGaAs 등 주로 반도체 재료가 이용된다. 특히, InP계 포토다이오드(PD)는 고속의 광전변환이 가능하고, 광섬유와 매칭이 되는 1.3 μm ~ 1.6 μm 대에서 수광감도가 우수하여 광통신용 수광소자로 적당하다. 포토다이오드는 구조에 따라 PN형, PIN형, 쇼트키형 및 APD 등이 있으며 여기서는 광통신용 수광소자로서는 InP계 PIN형과 APD형 포토다이오드가 많이 이용된다.

PIN PD는 비교적 흡수계수가 적은 광의 침출을 위해 의도적으로 공핍층을 확장하여 광전변환효율 및 응답속도를 개선시킨 구조의 포토다이오드이다. PIN 포토다이오드에는 일반적으로 0.8 μm ~ 1 μm 의 단파장 영역에서는 Si계 재료가 사용되며 1.3 μm ~ 1.6 μm 대의 장파장영역에서는 Ge 및 InP계 재료가 사용된다. 한편 APD(Avalanch PD)는 고전계중에서 캐리어수를 증배시키는 현상에 의한 전류증

폭작용을 이용한 포토다이오드이다. APD는 수광감도가 좋기 때문에 고감도가 요구되는 장거리 광통신에 적합한 구조이다.

광통신용 포토다이오드는 검출광의 파장에 대한 광전변환 효율이 높아야 하고 필요한 응답속도를 만족해야 하며 잡음이 적어야 한다. 장거리 광통신용 포토다이오드는 광원의 파장인 $1.55 \mu\text{m}$ 대에서 양자효율이 높고 차단주파수가 높아야 한다. 고속 및 장파장 특성이 우수한 InGaAsP/InP계 PIN 구조의 포토다이오드는 실용화 수준이고, 최근에는 보다 고감도 고속동작을 위한 APD의 연구개발이 이루어지고 있다. 고감도 고속동작 외에도 전자소자(고속소자)와 집적화에 대한 연구가 꾸준히 이루어지고 있다. 그림 3은 장거리 광통신용 수광소자로서 적합한 InGaAs계 APD 구조의 예이다.

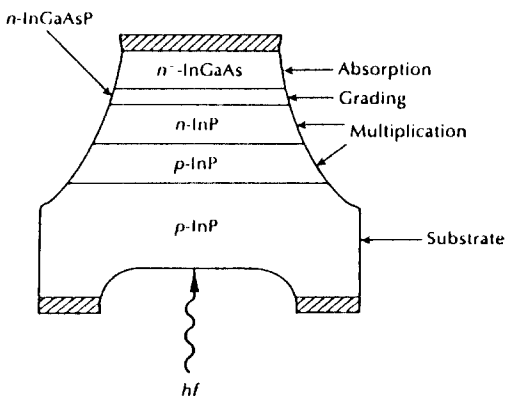


그림 3. InP계 APD의 구조(G. E. Stillmaln)

2. 광 수동소자 및 부품

광 수동소자의 정의는 능동소자의 반대 의미를 갖는 소자라고 생각하면 가능하다. 즉, 입사하는 광에너지를 다른 형태의 에너지로 전환시키지 않으며, 이때 출력된 광에너지의 총량은 입사 광에너지의 총량보다 크지 않다. 이러한 수동소자류에는 광변조기, 가변광필터, 광커플러, 광감쇠기, 광섬유, 광콘벡터, 광스위치 및 광아이슬레이터 등이 포함된다.

1) 광변조기

광변조란 광의 진폭, 위상, 파장, 편광상태 등을 화상이나 음성 같은 정보신호에 의해 제어하여 광에너지를 싣는 조작을 말하며, 이와같은 동작을 수행하는 소자를 광변조기(Optical Modulator)라 한다.

광통신의 경우 레이저 광원의 고속직접변조에 한계가 있어 초고속변조를 위한 외부변조기가 요구되고 있다. 외부변조기는 주로 광의 강도를 변조시키는 광세기변조기가 널리 사용된다. 변조기에서는 광대역고속 정보전달 매체로 레이저를 사용하며, 광통신 시스템에서 사용되는 변조방법에 따라 반도체레이저와 같이 주입전류를 직접 제어하여 변조하는 직접변조 방식과 변조신호를 외부형 변조기를 통해서 인가하는 간접변조방식이 있다. 외부변조방법으로는 기계적 또는 자기광학적 효과를 이용한 변조기의 경우 응답속도가 상대적으로 느린 단점이 있으며, 전기광학효과를 이용한 경우에는 넓은 대역폭을 가진 고속변조기로 적합하며 수십 GHz까지 실용화 되고 있다. 전기광학변조는 넓은 대역폭과 낮은 광손실 그리고 큰 전기광학계수를 갖는 매질을 이용하여 제작된 Mach-Zehnder 간섭계형 광변조기가 기대를 모으고 있다. Mach-Zehnder 간섭계형 광변조기는 그림 4와 같은 구조를 하고 있으며, 최대전기광학효과를 얻어내기 위해서는 각 매질의 결정구조에 따른 전기광학계수가 가장 큰방향을 이용하도록 설계되어야 하는데, 일반적으로 진행파형 전극구조를 사용하며 광신호와 변조신호가 같은 방향으로 진행하면서 광신호의 위상변화가 축적되어 변조가 이루어진다. 광변조기에 있어서 가장 중요한 성능은 optical-3dB bandwidth와 구동전압이며, 변조대역폭과 구동전압 사이에는 trade-off 관계가 있어서 두인자를 모두 만족하는 구조가 요구된다.

변조기의 응용분야는 광대역 종합통신망을 비롯한, 광신호처리 시스템, 광계측, 광컴퓨터 등의 여러분야로 기대를 모으고 있다. 최근 상품화된 광변조기의 현황을 보면 미국 Bell Lab.에서 22GHz인 광변조기를 제작하였고, 일본 NTT에서는 차폐전극구조를 이용하여 20 ~ 40GHz 이상을 얻고 있는 것으로 보고되고 있으며, 전극구조 및 도파로구조 그리고 이들의 최적화를 통해서 최대의 변조대역폭과 낮은 구동전압을 이룩하고자 개선된 형태의 광변조기가 속속 보고되고 있는 실정이다. 현재 이와 관련된 외국기업들은 다양한 형태의 변조기를 개발하는 중이며, 광기술 관련 국제시장이 성숙되는 시점을 기다리고 있다. 그림 5는 광변조기의 변조대역폭(B)가 향상되어온 과정을 나타낸 것이다. 선진국에서는 미국의 Photonics, Synchronous Communication, Philips 및 AT&T 그리고 일본의 NTT 등을 중심으로 활발한 연구가 진