초고속 광네트워크 연구센터(UFON)의 소개

백 운 출

광주과학기술원 정보통신공학과 교수 및 초고속 광네트워크 연구센터 소장

1. 머리말

광통신이 발전해오면서 그 전달 매체인 광섬유의 종류와 기능이 통신방식, 즉 광원의 파장 및 채널 수, 전송속도, 전송거리 등에 따라 복잡해지고 다양해지고 있다. 특히 최근에 와서는 광섬유가 단순히 광신호의 전송매체의 기능뿐만 아니라 광소자 및 sub-system으로까지 그 기능이 확대되고 있다. 그 대표적인 예가 광섬유 증폭기, 광섬유 격자, 분산 감쇄기 등이다. 광섬유 증폭기는 현재 활발히 연구가 진행되고 있는 파장분할 방식의 전송시스템을 구현하는 데 결정적인 역할을 하였으며 그 이득 대역폭을 증가시키고 또한 이득 파장 대역을 기존의 1.5 마이크론 대역 외로 옮기려는 노력이 Lucent, Corning, NTT 등에서 세계적으로 진행되고 있다. 광섬유 격자에 대한 연구는 다양한 수동소자의 개발 가능성 때문에 현재 Lucent, 3M 등에서 진행 중인데 수동소자로서 요구되는 특성, 채널간의 Low Cross Talk, High Isolation, Temperature Insensitivity를 만족하기 위해서는 용도별 특수 감광 광섬유가 설계 제작되어야 한다. 초고속 장거리 통신을 위해서는 기존의 광섬유가 갖는 분산을 상쇄해주는 분산 보상기가 필요한 데 이를 위해 광섬유의 기하구조와 재료를 최적화한 분산 보상용 광섬유의 개발이 진행되어 현재 상용화된 상태이다. 그러나 보다 완벽한 분산 보상을 위하여 가변적 분산 보상, 분산 기울기 보상 등 여러 기능이 추가로 요구되고 있다. 이와 같이 눈부신 광통신 기술의 발전은 저손실 광섬유가 출현한 1970년을 시점으로 하여 그 기술에 대한 연구개발이 급속도로 진전되었으며 1980년 실용화를 통하여 그 성능의 우수성과 경제성이 충분히 입증되었다. 특히, 최근 장거리 전송 시스템 실험에서 보여준 Terabit 실험은 21세기 정보화 시대의 장을 여는 중요한 기술적 혁신으로서 그 시사하는 바가 매우 크다고 본다. 이는 전자통신의 한계를 벗어나 광통신에서만 가능한 영역인 Terabit 세계로의 진입을 의미하는 것이다. 따라서, 앞으로 Voice, Data, 유무선 방송망, 무선가입자망 등이 모두 통합된 광대역 종합통신망의 구축을 위해 그 Backbone으로서 초고속 광네트워크의 조속한 실현이 요구되고 있다. 이런 관점에서 광주과학기술원의 정보통신공학과에서는 초고속 광정보통신망과 관련된 핵심기술의 연구를 중점적으로 추진하기 위하여 연구집단을 형성하여 관련 연구를 수행해 오던 중 한국과학재단의 우수연구센터 지원 프로그램으로 초고속광네트워크 연구센터(Research Center for Ultra-Fast Fiber-Opitc Networks: UFON)가 선정되어 작년 6월초부터 본격적인 연구활동을 시작하게 되었다.

본 연구센터의 연구개발 상황을 분야별로 나누어 소개하면

(1) 광섬유의 설계 및 제조, 기능성 광섬유 소자, 평면 광집적 회로 등을 연구하는 광섬유 및 광회로 소자 그룹

(2) 광기반 광대역 광가입자망 구조, 유/무선 통합 가입자망 시스템 개발, 광대역 가입자망 접속 기술 개발 등에 대한 연구와 개발을 하는 광대역 Access망 그룹

(3) 광ATM 스위치 구조 및 방식, 공간-파장분할 스위치 기술개발 등을 연구하는 광스위칭 그룹

(4) Femto초 펄스생성 및 전송기술, 초고속 전광논리 소자 개발, 초고주파 광전 정합기술 등에 대한 연구를 하는 Femto초 광전기술 그룹의 4개의 그룹으로 이루어져 있다.

이 4개의 연구그룹에 속해 있는 12개의 세부과제를 수행하기 위해서 광주과학기술원과 외부 5개 대학의 20명의 교수와 78명의 대학원생들이 연구책임자와 연구원으로 참여하여 과제를 수행하고 있다. 이외도 앞으로 국내 및 국외의 기업체, 연구소와 광기술 Consortium을 형성하여 기술정보교환 뿐만 아니라 기술교류 및 산업화를 적극 시도할 준비를 하고 있다. 첨단 광통신 기술에 대한 연구개발의 우수 연구센터인 UFON 내의 실험실과 연구활동 상황을 소개하면 다음과 같다.

2. UFON 연구실 구성

2.1 광섬유 연구실

광섬유 연구실은 광섬유 인출실과 광섬유 모재 합성실로 된 2개의 실험실로 구성되어 있다. 광섬유 인출실에는 Silica 광섬유를 고속으로 뽑을 수 있을 뿐 아니라 동시에 2종의 Polymer Coating을 할 수 있도록 장치되어 있어 그 높이가 8 m 정도의

그림 1. 고속 광 인출기(High-Speed Fiber Draw Tower).

대형 장비로 초당 m까지 Silica 광섬유를 뽑을 수 있다(그림 1).

광섬유 인출시에 그 직경의 변화율을 최소화하기 위하여 Closed Loop Feed-Back System으로 운영되어 125 μm의 Fiber 직경의 변화가 2% 이내로 유지되어 매우 균일한 직경으로 우수한 광전송 특성과 광섬유의 고강도를 보장할 수 있는 인출 장비이다.

또한 광섬유 모재를 제작하는 Modified Chemical Vapor Deposition System이 설치되어 있으며 이를 통해 각종 기하구조의 광섬유를 개발하고 있다.

또한 제조된 광섬유 모재의 기하구조를 측정할 수 있는 Preform refractive index profiler를 보유하고 있으며 다양한 기하구조에 대해 분산 특성, Mode Field Radius, Cut-off Wavelength 등을 계산하는 Simulation Package를 자체 개발하여 임의의 분산 특성에 대해 최적의 기하구조를 설계 제작할 수 있다. 또한 능동소자용 광섬유로서 희토류 첨가 광섬유 및 광증폭기, 라만 광섬유 및 광증폭기에 대한 연구가 진행되고 있는데 그 기초 기술

그림 2. 광섬유 모재 제작 시스템(Modified Chemical Vapor Deposition System).

인 희토류 첨가 기술이 개발된 상태이다. 광섬유 격자용 특수광섬유로서 채널간 저잡음을 유지하는 Bragg 격자용 광섬유, 온도 보상된 장주기 격자용 광섬유 등에 대한 연구가 진행되고 있다. 이외에 편광유지 광섬유 및 센서용뿐만 아니라 광증폭기인 EDFA용 광섬유를 비롯하여 DSF, DCF, Grating용 광섬유 모재를 만들 수 있다. 이 모재들은 광섬유 인출기에서 섭씨 2000도 이상 가열하여 광섬유로 뽑아서 각종 실험에 사용하게 된다. 이 두 실험장비를 사용하여 진행되고 있는 연구개발 과제는 여러 가지 있으나 몇 가지만 예를 들어서 설명하고자 한다.

현재 장파장을 사용하여 단일 모드 광섬유로 많은 정보량을 장거리로 전송할 때에 발생하는 비선형 현상 연구에 대하여 중점적으로 연구하여 비선형 현상을 억제할 수 있는 새로운 광섬유를 설계하여 DWDM 등에 의한 Four Wave Mixing의 비선형 현상을 방지하는 새로운 광섬유 구조에 대한 연구, 그리고 Polarization Mode Dispersion(PMD)의 최소화에 대한 연구가 진행되고 있다. 또한 보통 광섬유 표면에 Plastic 표피를 입혀서 광도를 유지하고 있으나 궁극적으로는 수분의 침투를 막을 수 없기 때문에 광섬유의 표면에 이상을 야기 시킬 가능성이 없다고는 할 수 없다. 따라서 광섬유에 Hermetic Coating을 하는 것이 가장 이상적이다. 이 목적으로 각종 Metallic Coating에 대한 연구가 진행되고 있으며, 이외에도 EDFA용 광섬유 설계 및 제조 연구도 활발하다.

광섬유의 신뢰성 및 강도 그리고 최종 광학 특성은 광섬유 인출 공정에서 결정되어 인출공정에 대한 이해가 필요하며 이를 바탕으로 System Up-Grade에 대한 연구 개발이 중요하다. 특히 광섬유 인출 속도의 향상을 위한 연구는 광섬유 생산성과 직결되는 연구로서 현재 Lucent, Corning, Sumitomo 등 대형 광섬유 회사에서 사활을 걸고 추진하는 과제 중의 하나이다. 본 연구실에서는 광섬유 인출시 고려되어야하는 광섬유 냉각 공정에 대한 연구로서 특수냉각 현상을 이용한 광섬유 냉각장치를 개발하여 그 성능 및 효과를 분석 중에 있다. 냉각 공정은 바로 광섬유 인출 속도와 직결되어 이 장치의 개발이 성공할 경우 그 생산성이 향상되어 저렴한 광섬유 제조가 가능하여 진다.

2.2 광집적 회로 연구실

평면형 광소자의 제작과 각종 수동광소자를 포함하는 광모듈의 연구를 위한 집적광학 연구실이 있다. 광도파로 이론에 의한 체계적 설계에 의하여 현재 Silica-on-Silicon Technology에 기반을 둔 다양한 수동광소자와 Thermo-Optic Process에 의한 능동소자의 개발에 주력하고 있다.

제작공정은 현재 Flame Hydrolysis Deposition 화염가수분해

증착장치를 자체적으로 설계 제작하여 운영하고 있다. 이는 액상의 $SiCl_4$, $GeCl_4$, $POCl_3$, BCl_3 등의 화합물을 산소와 수소의 적정한 비율로 혼합하여, 화염에서 SiO_2, GeO_2, P_2Os, B_2O_3 등의 Silicon 기판위에서 Soot의 상태로 증착시킨 다음 Furnace 안에서 Sintering Process를 거쳐 굴절율의 차이가 있는 Layer를 차례대로 쌓아올린다.

중간의 과정으로서 Photo-Mask를 이용한 선택적인 식각을 통하여 각종 수동광소자들을 평면상에 구현하게 되는데, 이를 위하여 반도체 공정연구실에서 SiO_2 식각 공정을 위한 Spin Coater, Mask Aligner Reactive Ion Etching System, Alpha-Step Surface Profiler, E-beam Evaporator 등이 사용된다. Computer Control에 의한 4대의 Mass-Flow-Controller(MFC)와 두 개의 Tylan Source V는 Chemical Delivery System과 각종 Torch를 설치 사용할 수 있는 Modularized Reaction Chamber와 폐가스를 중화처리하는 Scrubber System으로 이루어져 있다. 특히 FHD Reaction Chamber는 청정도와, 내부성, 그리고 외부원격 작동을 고려하여 심혈을 기울여 제작하였다. 제작된 평면형 도파로의 특성조사를 위하여 Metricon사의 Model 2010 Prism Coupler가 있어 도파로의 두께와 굴절율의 정밀한 측정이 가능하다.

실험실에서는 평면광학소자 이외에도, 광섬유 연구실의 협력으로 특수한 구조의 EDFA 설계와 제작 등과 같이 각종 도파관 이론을 이용한 광소자의 구현과 Simulation을 통한 최적 설계와 광네트워크에서의 성능예측에 관한 연구를 진행하고 있는데, Group내에서 운용하는 두 대의 Ultra Sparc Workstation이 수치해석을 위해 사용되고 있다. 이를 위하여 980 nm와 1550 nm 파장의 빛을 가르기 위한 소수의 Fiber Coupler와 980nm의 High-Power 반도체 Laser와 이의 구동을 위한 Newport사의 Driver Module Series 740이 구비되어 있다.

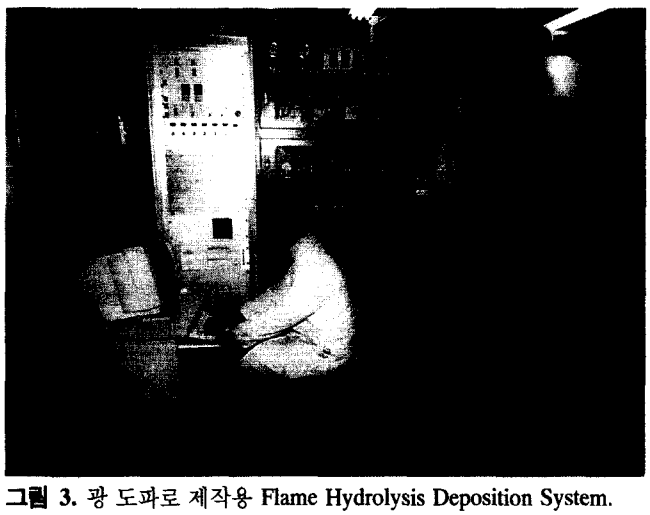


그림 3. 광 도파로 제작용 Flame Hydrolysis Deposition System.

2.3 광섬유격자 연구실

최근 전세계적으로 네트워크를 통한 정보 교환에 대한 관심이 급속히 증가함에 따라 현재의 정보 통신망 수용능력으로는 한계에 다다르고 있는 실정이다. 이러한 문제를 해결하기 위해 거의 무한대의 대역폭을 가지고 초고속 전송이 가능한 광 전송 기술이 활발히 연구되고 있으며, 그 중에서 파장분할 다중화 전송방식(WDM-Wavelength Division Multiplexing)은 전송용량의 확장이 용이하고 네트워크 구성에 있어 많은 다양성을 제공하기 때문에 향후 전송 기술의 핵심 기술로 자리잡게 될 전망이다. 파장분할 다중화 전송방식(WDM)은 광신호의 파장 영역을 여러 채널로 다중화하여 여러 파장대의 신호를 동시에 전송함으로써 전송용량을 증가시키는 방식이다. 파장분할 다중화 전송방식의 성능을 좌우할 수 있는 핵심기술 중 하나는 광분기/결합 장치(Optical ADD/DROP Multiplexer, OADM)이며 광섬유 격자를 이용한 광 분기/결합 장치가 높은 안정성과 경제성 그리고 네트워크 시스템에도 많은 유연성과 확장성을 가지고 있으므로 활발히 연구되고 있다.

광섬유 코어의 굴절률을 주기적으로 변화시켜 그 주기에 해당하는 파장의 빛을 반사시키는 광섬유 격자(Fiber Bragg Grating)는 광통신 시스템에서 삽입 손실이 적고 파장 선택도(Wavelength Selectivity)가 높으며 편광(Polarization)에 영향을 받지 않는 특성을 가지고 있어서 광통신용 소자나 광섬유 센서 등으로 활발히 연구되고 있다.

이러한 광섬유 격자를 이용한 소자는 높은 반사율과 좁은 통과 대역 특성을 가지는 우수한 필터를 제조할 수 있고, 브래그 격자를 이용한 광 커플러는 높은 반사성과 좁은 선폭(Linewidth)을 가지므로 레이저의 내부 정공 반사경 소자로 사용할 수 있고, 간단하고 전기적 잡음에 영향을 받지 않는 다는 특성 때문에 센서에서도 활용 범위가 많다.

광섬유 코어의 굴절률을 변화시키는 수단으로써 자외선 빔이 많이 사용되며 현재 본 연구실에서 사용되고 있는 KrF 엑시머 레이저는 248 nm에서 강력한 자외선 펄스를 생성한다. 엑시머 레이저는 가스 레이저의 일종으로서 엑시머(Excimer)는 2분자 여기(Excited Dimer)를 의미한다. 여기된 KrF* 분자의 형성은 다음 관계식에 따른다.

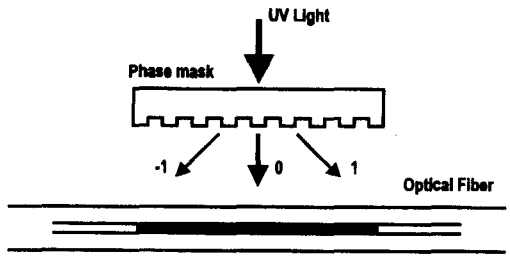
$$e^- + F_2 \Rightarrow F^- + F$$
$$e^- + Kr \Rightarrow 2e^- + Kr^+$$
$$Kr^+ + F^- + Ne \Rightarrow KrF^* + Ne$$

고에너지를 가지는 전자는 가스 방전이나 전자빔을 이용한다. KrF 레이저의 경우 대략 6%의 Kr, 0.2%의 F_2 그리고 나머

지 Ne를 버퍼로 사용하는데 3차 충돌효과를 얻기 위해 총 압력은 2~3 bar 정도이다.

100 mJ에서 1 J이며 평균 파워는 200 W이다. 펄스 지속 시간은 10~40 ns이며 최대 반복률(Repetition Rate)는 200 Hz이다. UV 빔을 이용하여 광섬유 격자를 만드는 방법에는 여러 가지가 있으나 위상 마스크(Phase mask) 방법과 빛의 간섭(Interference)을 이용하는 방법이 주로 이용되고 있다.

레이지 빔이 위상 마스크를 투과하면서 중앙의 0차 빔과 좌우의 고차 빔들로 분리되는데 이중에 특히 ±1차 빔들의 상호 간섭으로 인하여 아래 그림에 보인 것처럼 밝고 어두운 무늬들이 주기적으로 나타나게 된다.



이러한 성질을 이용하여 격자를 만들려는 광섬유를 위상 마스크에 매우 가까이 놓게 되면 광섬유가 공간적으로 주기적인 레이저 빔에 노출되게 되어 코어 내의 게르마늄(Ge)의 광민감성(Photosensitivity)으로 인해 굴절률이 주기적으로 변하게 된다. 본 실험실에서도 위상 마스크 방법을 사용하고 있으며 위상 마스크는 크기가 25 mm×10 mm 이고 Center Pitch가 1060 nm, Substrate Size가 30 mm×25 mm이며 248 nm 자외선 레이저에 간섭 현상이 잘 일어나도록 설계되어 있다. 이를 이용해서 현재 진행중인 광섬유 격자에 대한 연구를 보다 자세히 하고 광섬유 격자의 성질에 대한 시험과 실험 장치를 위한 검사 등의 목적으로 쓰고 있다.

그림 4. 광섬유 격자 제조 및 측정 장비.

위상 마스크를 사용하지 않고 빛의 간섭을 직접적으로 이용하여 광섬유에 격자를 생성하는 것이 가능하다. 이 방법은 자외선 레이저빔을 beam splitter에 의하여 두 개의 빔으로 나눈 후에 입사각 θ로 광섬유의 코어에서 만나게 하면 두 빔이 간섭현상을 일으켜 광섬유 위에 간섭무늬를 만들게 되고 이 간섭무늬를 이용하여 광섬유 코어에 주기적인 굴절률 변화, 즉 광섬유 격자를 생성할 수 있다. 생성된 광섬유 격자의 주기 Λ는 간섭무늬의 주기와 같은데 두 레이저빔의 입사각 θ에 따라

$$\Lambda = \frac{\lambda}{2\sin\theta}$$

로 주어진다. 따라서 입사각 θ를 조절하면 광섬유 격자의 주기를 변화시킬 수 있는데 이러한 성질을 이용하여 주기가 규칙적으로 변하는 Chirped Fiber Grating을 제작할 수 있다.

긴 광섬유 격자를 제작하려면 광섬유를 입사하는 자외선 빔에 대해 상대적으로 이동할 필요가 있는데 이를 위하여는 nm 단위의 높은 분해능, 정확도 및 안정성을 가지고 위치를 제어할 수 있는 소자와 이를 위한 Interface 통합 시스템 구축이 요구되며 본 실험실에서는 초정밀 광섬유 격자의 제작과 연구 수행을 위해 필요한 자동 제어를 실현하기 위해 시스템을 구축하였다. 이러한 시스템은 모두 전자적으로 제어되며 여러 방향의 복잡한 동작도 제어가 가능하다.

광섬유 코어에 도핑된 Ge의 광민감성을 증가시키기 위해서 수소 처리(Hydrogen Loading)를 하는데 광섬유에 아무런 결함을 일으키지 않으면서 광민감성을 증가시킬 수 있고 Ge이 도핑된 일반 광섬유에 비하여 수소 처리된 광섬유는 그 광민감성이 약 100~1000배 정도 증가한다. 수소 처리를 하기 위해서는 광섬유를 약 100°C, 100기압 상태의 수소가 들어있는 용기에 넣어두고 일주일 정도 지나면 광섬유 코어 내로 수소가 확산(Diffuse)된다. 이러한 실험을 위해서 약 100°C, 100 기압에서 견딜 수 있는 고압용기가 필요하다. 현재 보유하고 있는 고압 기기의 용량은 100 ml이고, 350°C에서 1900 PSI까지 견딜 수 있도록 제작되었으며 최대 온도는 350°C이다. 온도는 자동 조절기에 의해 유지되며 원하는 온도를 원하는 시간만큼 유지할 수 있다.

장주기 광섬유 격자는 브래그 혹은 단주기 광섬유 격자에 비하여 격자의 주기가 100~500 μm로 매우 길다. 따라서 자외선 레이저의 간섭을 이용하여 제작하기는 어려우며 진폭 마스크(Amplitude Mask)를 이용하여 제작할 수 있다. 장주기 광섬유 격자는 센서, EDFA 이득 평탄화 등의 응용에 주로 이용되고 있다. 일반적으로 장주기 광섬유 격자 역시 광섬유 코어의 자외선 광민감성을 이용하여 제작할 수 있으나 최근 10.6 μm 파장의 CO_2 Laser Pulse를 광섬유에 직접 노출시켜 열 스트레스

를 이용하여 제작하는 방법이 시도되고 있다. 이 방법을 이용하면 자외선 광민감성을 향상시키기 위한 수소 처리도 필요하지 않고, 클래딩(Cladding)을 물리적으로 변형시키지 않으면서도 광섬유 코어의 굴절률을 변화시킬 수 있다. 이러한 연구를 위하여 Coherent사의 DIAMOND CO_2 레이저를 설치하여 실험을 위한 준비를 하고 있다.

2.4 비선형광학 실험실

초고속 광통신에서의 비선형광학의 효과는 매우 다양하다. Four-Wave Mixing(FWM), Stimulated Raman Scattering(SRS), Self Phase Modulation(SPM) 등 광섬유 안에서의 비선형 효과들은 초고속 광신호의 장거리 전송을 방해하는 주요 요인으로 작용한다. 특히, 최근 들어서 도입되기 시작한 파장분할방식(Wavelength Division Multiplexing, WDM)에서는 FWM의 효과가 매우 크게 나타나므로 이를 줄이기 위한 여러 가지 방법들이 세계 여러 유명 광통신 관련 연구소에서 연구되고있다. 또한 이들 비선형광특성을 이용하면 전광스위치(All-Optical Switching) 소자 등의 초고속 광소자를 개발할 수 있다. 이곳에서는 초고속 광통신에서의 광섬유의 여러 가지 비선형 특성에 의한 효과를 조사하고 측정하여 그 효과를 줄이거나 크게 하는 방법을 개발한다. 이를 위해 다음과 같은 네개의 프로젝트를 수행중이다.

2.4.1 광파이버를 이용한 레이저 개발(Fiber Laser)

어븀을 첨가한 광섬유(Erbium Doped Fiber, EDF)를 이용하여 초고속광통신에 필요한 극 초단 펄스 소스를 설계하고 제작한다. 특별히 고리형 광섬유 거울(Fiber Optical Loop Mirror)을 이용한 팔자형 광섬유레이저(Figure Eight Laser)를 개발하고 이를 이용한 극 초단 광펄스와 그 반복율을 높이는 연구를 중점적으로 수행하고 있다. 새로운 레이저의 설계와 새로운 펄스 생성 방법 등을 연구하여 초고속 광통신에 필요한 초고속 광펄스 소스의 개발을 목표로 한다.

2.4.2 Frequency Resolved Optical Gating (FROG)

초고속 광펄스는 그 생성기술에 따라서 그리고 그 투과매질에 따라서 그 안에 시간에 따른 스펙트럼 변화 또는 처핑(Chirping)이라고 하는 위상 값의 변화를 포함한다. 이 처핑 값에 따라서 광파이버를 통과한 후 광펄스의 퍼짐의 정도가 결정되므로 초고속 광통신에 있어서 펄스의 폭이 적을 뿐 아니라 처핑이 적은 광펄스 소스의 개발이 매우 중요하다. FROG는 비선형광학을 이용하여 극 초단펄스의 폭뿐 아니라 그 처핑의 크기를 측정하는 최근에 개발된 기술이다. 광섬유레이저의 구성방법에 따른 만들어진 극 초단펄스의 폭과 그 처핑 정도를 측정하여 더욱 짧은 펄스 폭과 더욱 적은 처핑을 갖는 초고속 광소스를 개발하는데 꼭 필요한 측정 기술이다. FROG을 이용하여 장거리 광섬유를 통과한 후의 광펄스의 퍼짐 정도와 그 처핑 정도를 측정할 수 있으므로 장거리 광통신에 필요한 특수 광섬유의 개발에도 FROG는 매우 중요한 측정 기술이다.

2.4.3 광파이버의 광 분산 측정

초고속 광통신 시스템과 초고속 광 소스의 개발에 있어서 그 구성 요소들의 광 분산 측정은 필수적으로 요구된다. 최근에 개발된 WDM방식에서도 비선형 효과를 줄이기 위한 방법으로 광섬유의 분산율을 조정하는 방법이 사용된다. 매질의 광분산을 측정하기위해서 간섭계를 이용한 푸리에 변환 분광계(Fourier Transform Spectroscopy, FTS)가 사용된다. FTS를 이용하면 복잡한 분광계나 레이저가 필요 없고 측정시간도 매우 빠른 이점이 있다. FTS를 이용한 새로운 광 소스와 새로운 측정방법을 개발하는데 연구 목표를 둔다.

2.4.4 전광스위치(All-Optical Switching) 개발

차세대의 광통신 시스템에서는 초고속 정보처리를 위하여 전광스위치가 필수적으로 요구될 것으로 예상된다. 이를 위해서 우리는 주로 특수 폴리머광섬유 그리고 폴리머 평면형 도파로등을 개발하고 이를 이용한 전광스위치의 개발을 중점적으로 연구하고있다. 고리형 광섬유 스위치소자(Fiber Loop Mirror), Nonlinear Directional Coupler, Four-Wave Mixing 소자, Soliton-Dragging 논리소자 등을 이용한 새로운 전광스위치의 설계와 개발을 목표로 한다.

2.5 반도체 공정연구실 (Clean Room)

센터의 주요 연구시설로서 반도체 공정을 위한 공동연구실이 있다. 공정연구실에는 센터의 목표인 초고속 광네트워크의 구축을 위해 소요되는 각종 초고속 수동 광부품(Planar Lightwave Circuitry, Arrayed Waveguide Grating, Mach-Zender Optical Filter 및 Modulator 등), 능동 광부품(초고속 장파장 레이저, 고출력 펌프레이저, 반도체 광증폭기 등), 광전 및 전광 부품(초고속 광전 및 전광 모듈레이터, 레이저 변조기, 초고속 광검출기, 수신기 등), 밀리미터웨이브 소자(Heterojunction Bipolar Transistors, High-Electron Mobility Transistors) 및 밀리미터웨이브 대역 MMIC(LNA, Mixer, VCO, SSPA 등)를 제작할 수 있는 기본 장비 및 시설이 구비되어 있다. 공정연구실은 약 120평 규모의 항온 항습실로서 공정의 요구사항에 따라 Class 100인 지역으로

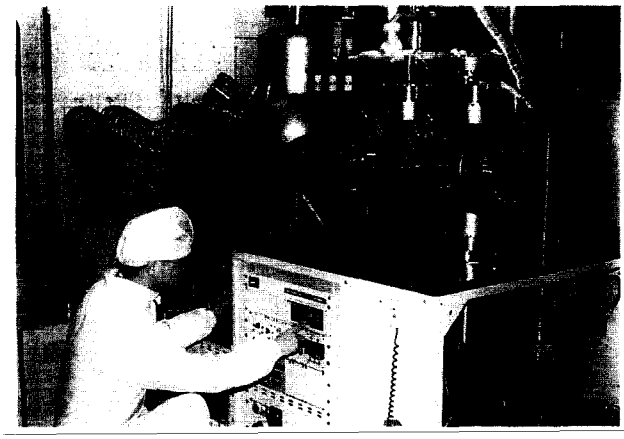


그림 5. Chemical Beam Epitaxy 결정성장 시스템.

부터 Class 10,000인 지역으로 구분되어 있다. 이 연구실이 갖추고 있는 주요 연구 장비로서는 초고속통신부품제작용 Epi Wafer의 성장과 특성 측정을 위한 V80H Chemical Beam Epitaxy (CBE) 시스템과 Double-Crystal X-ray 시스템, Photolithography 용 Karl Suss Jirset Photoresist Spin Coater, Karl Suss MJB3 Mask Aligner, Leica Optical Inspection Microscopes, JEOL 5800LV SEM, Raith SEM-based E-beam Lithography System, 반도체 및 유전체 식각용 Oxford Plus 80 Reactive Ion Etching 시스템, Alpha Step Surface Profiler, 유전체 증착용 Oxford Plus 80 PECVD 시스템, 금속 공정을 위한 BOC MJB1800 E-beam Evaporator, Wet Chemical Station 등이 있다. 추가적으로 설치될 주요 장비로서 초고속 전광 및 광전 소자, 밀리미터대역 소자 및 MMIC의 제작용 Epi wafer 성장을 위해 현재 구매중인 Gas Source Molecular Beam Epitaxy(GSMBE) 시스템과 Chemically-Assisted Ion Beam Etching(CAIBE) System, Sputtering System 등이 있다. 기본적으로 이 공정연구실은 10Gbps급 이상의 초고속 정보통신용 부품을 개발하고 산업화 이전 단계의 연구 개발을 추진할 수 있는 Pilot Plant 역할을 수행할 것이다.

2.6 반도체 물성 연구실

반도체 물성연구실에서는 화합물반도체 결정 및 소자구조의 특성의 측정 및 분석에 관한 기술을 연구한다. 이 연구실에서는 초고속 광통신용 화합물반도체 Heterostructure 및 소자 구조의 Band Structure, Impurity, 구조적 성질 등을 광학적인 측정들을 통하여 구명하는 연구를 수행하고 있으며 이러한 연구의 결과들을 고품위의 통신용 소자의 개발에 응용하는 것을 기본 목표로 하고 있다. 또한 최근 정보처리 및 디스프레이용 광소재로 각광을 받고 있는 GaN 관련 물질 시스템의 광특성을 집중적으로 연구하고 있다. 이 연구실은 주요 연구장비로 화합

그림 6. Photoluminescence[PL] 측정 시스템.

물반도체의 광특성을 200 nm부터 5,000 nm까지의 Spectral Range에서 측정할 수 있는 Photoluminescence(PL), Photoreflectance(PR) 측정 시스템을 갖추고 있다.

측정을 위한 광원으로는 Argon(454-514 nm), He-Ne(632.8 nm), He-Cd (325 nm) 레이저들이 있으며, He을 이용한 Two-Cycled 온도조절기를 이용하여 샘플의 광특성을 7-300K의 온도구간에서 측정할 수 있다. 이와 함께 Photoluminescence Excitation Spectroscopy (PLE) 시스템을 이용하여 화합물 반도체를 이용한 Quantum Well, Superlattice, Quantum Wire, Quantum Dot의 광 및 계면 특성 등을 연구하고 있다. 또한 각종 화합물 반도체의 Deep Level의 특성을 측정할 수 있는 Deep Level Transient Spectroscopy(DLTS) 시스템을 이용하여 화합물반도체 물질 또는 소자 구조에 존재하는 Deep Level들의 광학적 특성을 연구하고 있다.

2.7 광전자 연구실

광전자 연구실에서는 반도체 레이저, 광검출기, 광모듈레이터, 광스위치 등과 같은 초고속 광통신용 부품을 설계 및 제작하는 연구를 수행하고 있다. 또한 광통신을 위한 광신호처리 관련 연구로서 Optical Time-Division Multiplexing(OTDM) 시스템을 위한 초고속 반도체 레이저 변조, 초고속 광펄스 생성 등의 연구와 Wavelength-Division Multiplexing(WDM) 시스템을 위한 Optical Switching, Optical Frequency Tuning, Stabili-

zation 등의 연구를 수행하고 있다. 현재 집중적으로 수행되고 있는 연구분야로서 WDM 시스템의 일종인 Wavelength-routed Optical Network의 핵심부품인 All-Optical Wavelength Converter(AOWC)의 개발을 CBE를 이용한 선택적 결정성장 방식을 응용하여 수행하고 있으며, OTDM 시스템용 Optical Gating Device(OTD)와 Mode-Locked Laser Diode(ML-LD)의 결정구조 성장과 소자 제작 연구가 진행되고 있다. 또한 Tbps급 초고속 전광 네트워크의 핵심 기술인 Femto초 극초단 광펄스의 생성, 전송 및 측정 방식의 연구 개발이 진행되고 있다.

2.8 초고속 집적회로 연구실

초고속 집적회로 연구실에서는 주로 초고속 광정보통신 및 밀리미터웨이브 대역의 멀티미디어 무선통신용 소자, 부품, 서브시스템의 설계, 제작 및 특성 측정에 관한 연구를 수행하고 있다. 이 실험실은 현재 이러한 초고속 소자 및 부품의 설계 및 측정을 위하여 Semiconductor Parameter Analyzer, Work Station, Silvaco Device Simulation Software, HP Microwave Design Software, HSPICE, Spectrum Analyzer, Low-Noise Amplifier 등의 장비 및 설계 소프트웨어를 구비하고 있으며 조만간 50 GHz 주파수 대역의 Vector Network Analyzer, Microwave Noise Measurement System, Power Measurement System과 HP ICCAP 소프트웨어 등을 구비하게 될 것이다. 현재 활발히 진행중인 연구로서는 40 GHz 대역의 초고속 양방향 멀티미디어 무선통신 시스템인 MVDS용 MMIC(LNA, Mixer, SSPA) 기술의 연구, 30 GHz 대역의 Power Transistor 기술의 연구, 광통신과 밀리미터웨이브 대역의 무선통신을 통합하는 유무선 통합시스템용 광전 및 전광소자 기술 연구 등이 있다. 세부적인 연구 주제로는 CBE 시스템을 이용한 화합물 반도체 Epi 성장, 반도체 공정연구실을 이용한 수 십 GHz에서 사용될 수 있는 밀리미터웨이브 소자(HEMT, HBT, Detector, Modulator 등)의 제작, 소자 및 회로의 측정과 모델링, 초고속 광전송용 집적회로 및 MMIC 설계 및 제작, 소자 또는 MMIC의 신뢰도에 관한 연구들이 있다.

2.9 디지털통신 연구실

디지털통신 연구실은 여러 가지 통신 채널에서의 일반적인 디지털 통신 시스템의 디자인, 성능 분석, 그리고 이의 구현에 관한 연구를 수행한다. 디지털 통신 시스템은 소스 코딩, 암호화, 모뎀, 다중 접속, 채널 코딩으로 나누어지는데, 이 중 모뎀 부분과 다중 접속 기법, 그리고 채널 코딩이 본 연구실의 주 관심 분야이다. 디지털 통신 연구실은 크게 다양한 변복조 방식, 여러 가지 채널에 적당한 시그널링 기법과 채널 코딩 기법을 연구하는 모뎀 연구 파트와, 다양한 다중 접속 방식, 시스템의 성능 분석, 통신 프로토콜에 대한 연구, 그리고 시스템 사이의 연동 방법에 대하여 연구하는 이동 통신 연구 파트, 그리고 통신 알고리즘과 모뎀, 다중 접속 방식의 구현에 대하여 연구하는 하드웨어 디자인 파트로 나누어진다.

디지털통신 연구실에서 현재 수행중인 연구 과제로는 정보통신부의 주관 아래에 차세대 무선 CATV 시스템인 디지털 LMDS 시스템에 대한 개발 과제가 있으며, 이와 함께 차세대 이동 통신 시스템인 IMT-2000 시스템에 대한 기초 기반 기술 및 응용 기술에 대한 연구가 진행 중이다. 그리고, 기존의 이동통신 시스템과 ATM 망과의 상호 연동을 위한 기반 기술에 대한 연구가 시작 단계에 있다.

이와 같은 연구를 진행하기 위하여 본 연구실에는 각종 소프트웨어와 하드웨어 등의 장비를 보유하고 있다. 대표적인 시뮬레이션 장비로는 디지털 시스템의 신호 처리 전방에 이용되는 SPW, 디지털 시스템의 고주파 부분에 대한 모의 실험을 할 수 있는 EEsof, 디지털 통신 시스템의 하드웨어로의 구현에 필요한 Compass, SYNOPSYS, CADENCE, COSSAP, OpNet, LODECAP, SUMMIT, BoNes 등의 사용 환경을 갖추고 있다.

2.10 영상통신 연구실

영상통신 연구실은 디지털 신호처리 기술과 응용을 연구하기 위해 1995년 가을에 만들어졌으며, 주요 연구 분야로는 디지털 신호처리, 디지털 영상과 비디오 부호화, 디지털 TV와 고선명 TV(High-Definition Television, HDTV), 그리고 멀티미디어 시스템을 들 수 있다.

영상통신 연구실의 디지털 신호처리에 관한 연구 주제는 디지털 필터 구조, 신호의 표본화와 양자화 이론, 양자화 오류 분석, 다차원 신호처리 기술, 디지털 영상복원 기술, 디지털 시스템 설계, 그리고 VLSI 설계를 포함하고 있다. 즉, 디지털 신호처리에 관한 이론적인 연구뿐만 아니라, 실제적인 응용을 위한 개발 작업도 수행하고 있다. 현재 IC 칩 설계를 위한 환경도 만들어 가고 있다.

영상통신 연구실에서는 다양한 영상 부호화 기술과 멀티미디어 데이터 압축 기술도 연구하고 있다. 데이터 압축을 위한 정보 이론을 기반으로, 영상 저장과 전송을 위한 효과적인 데이터 압축 방법을 연구하고 있다. 이 분야에 대한 관심 연구 주제로는 정보 및 부호화 이론, 데이터 압축 알고리즘, 디지털 TV와 HDTV 시스템, 낮은 비트율의 비디오 부호화 알고리즘, 영상과 비디오 분할 기법, 움직임 예측 및 움직임 보상 기술,

그림 7. 멀티미디어 통신 시스템 전시실.

비트율 제어 방법, 전처리 및 후처리 기술 등이다. 이 분야에 대한 연구는 H.263, MPEG-2, 그리고 MPEG-4와 같은 국제 표준화 작업과 깊은 관계를 맺고 있다.

영상통신 연구실에서 현재 수행하고 있는 멀티미디어 시스템 분야의 연구 주제로는 디지털 음향 신호 처리, 디지털 오디오 신호 처리, 3D 영상 모델링과 표현 기술, 내용 기반의 신호 조작과 비트열 편집, MPEG-4 SNHC(Synthetic and Natural Hybrid Coding), 계층적인 신호 표현 기술, 내용 기반의 계위, 압축된 데이터의 다중화와 패킷화, 다중화된 비트열에서 각 성분 신호들의 동기화 동작, 오류 검출 및 복원 등 다양하다. 본 연구실에서는 다채널 오디오 시스템, 고해상도 비디오 디스플레이 시스템, 그리고 3D 영상 표현 시스템을 포함하는 멀티미디어 실연 환경을 만들어 가고 있다.

현재 영상통신 연구실에는 실시간 비디오를 재현하여 분석할 수 있는 Multi-standard Video Sequence Processor, 다양한 형식의 디지털 비디오 신호를 디스플레이 할 수 있는 Multi-Synch 고선명 TV 모니터, 그리고 알고리즘 개발과 실험을 위한 수대의 Workstation과 PC들을 갖추고 있다. 본 연구실에서는 H/W 설계와 구현뿐만 아니라, 컴퓨터 시뮬레이션도 수행하고 있다.

2.11 통신망 연구실

통신망 연구실에서는 ATM(Asynchronous Transfer Mode)을 기반으로 한 광대역 통신망에 대한 연구를 수행하고 있다. ATM 스위치는 고정된 크기의 셀을 광대역 디지털 통신에 적합한 고속으로 교환한다. 정보량의 증가에 대처하기 위해 ATM 스위치는 다양한 트래픽 환경에 적합한 스위칭 수율 뿐만 아니라, 높은 외부 연결 속도를 제공해 줄 수 있어야 한다. 현재 이 분야에서는 스위치 구조의 간단화, 버퍼 관리 알고리즘과 그와 관련된 수학적 분석 등에 관한 연구를 수행하고 있다.

무선 ATM은 유선 ATM과의 원활한 연동을 위해 유선 망에서 제공해 주는 많은 서비스를 제공해 줄 수 있는 기능의 제공을 궁극적인 목표로 한다. 현재 본 연구 그룹에서는 핸드오프, 매체 접근 제어(MAC) 프로토콜과 무선 QoS(Quality of Service)에 대한 연구를 수행하고 있다. 통신망 관리에 있어서 가장 중요한 요소 중의 하나가 입력 트래픽의 특성이다. 본 연구 그룹에서는 트래픽의 특성 분석과 이를 바탕으로 ATM망에서의 최적화된 관리 방법에 관하여 연구 중이다. 현재 IP와 ATM의 연동, IP over ATM을 위한 트래픽 관리, TCP/IP over ATM, RSVP over ATM을 이용한 QoS 제공과 멀티캐스팅에 대한 연구가 진행되고 있다. 광소자의 발전과 기술의 성숙에 따라 WDM에 기반을 둔 광대역 광 통신망이 요구되고 있다. 본 연구실에서는 이와 관련하여 광 스위치 개발에 관한 연구를 수행하고 있다.

통신망 연구실에서는 ATM 스위치, 무선 ATM, 트래픽 관리, IP over ATM, 광 통신망 설계 등 5개 분야에 걸쳐 연구가 진행되고 있다. 본 연구실은 ATM스위치로 구성된 네트워크가 구축되어 있으며, 이 스위치와 25Mbps로 연결된 ATM 인터페이스를 갖춘 PC와 VOD 서버를 갖추고 있다. 또한 ATM Cell Generator/Analyzer, Spectrum Analyzer 등의 장비와 OPNET과 BONES 등의 시뮬레이션 툴을 보유하고 있다.

3. 기대효과

이상 설명한 바와 같이 UFON 내에 있는 여러 실험실에서는 광통신과 무선통신에 필요한 소자 · 부품 및 서브 시스템 등에 관한 연구를 포함하여 초고속 정보통신망의 경제적이고 효율적인 구축을 위한 유/무선 통합 Access Network 시스템 연구 등에도 역점을 두고 있다. UFON의 장기적인 목표로서 미래의 정보화 시대에 도래할 초고속 정보통신망의 중심이 될 광통신 시스템을 사용하여 각종 Multimedia 정보를 원활히 운영할 수 있는 초고속 Network의 Test-bed를 구축하여 선행연구를 수행하고자 한다. 또한 초고속 광네트워크 관련 기술 개발과 함께 수준 높은 연구를 통해서 새로운 기술을 습득한 경쟁력 있는 우수인력을 양성하고 연구인력과 연구 개발된 기술을 효율적으로 산업계에 지원하여 연구결과가 실용화될 수 있는 산업체 지원 체계를 구축하고 있으며, 이와 관련된 산학연 공동 연구 사업 등도 적극적으로 추진하고 있다. 본 센터의 정보통신분야의 경쟁력 있는 연구를 통해서 국내 고유기술을 확보함으로써, 앞으로 다가올 개방 기술 경쟁시대에 외국의 기술에 의존하지 않고 기술자립을 할 수 있는 기술경쟁력을 확보할 수 있는 기반이 갖추어질 수 있기를 기대한다.