

《主 題》

미이용 주파수자원 개발방향과 소요기술

김 인 석

(경희대학교 전파공학과)

□ 차 례 □

- | | |
|-------------------------|-------------------------|
| I. 서 론 | V. mm-파의 이용방안 |
| II. mm-파 기술의 역사적 배경 | VI. 미이용 주파수 자원개발을 위한 기술 |
| III. mm-파 주파수할당의 역사적 배경 | VII. 결 론 |
| IV. mm-파의 특징 | |

I. 서 론

약 100년전 인간의 행동을 자유롭게 하여주는 새로운 인공자원을 개발하였다. 이러한 대발건은 하나님에 의해 이 세상에 제일 먼저 창조된 전자파의 존재를 독일의 물리학자인 Hertz에 의해서였다. 전자파를 발견했을 초기에는 주파수자원의 이용에 관한 필요성을 느끼지 못했었고, 기술적인 내용도 이해하지 못했었으므로 주파수 이용에 대해 인간의 능력으로 이해하기 힘들었던, 많은 제한성이 있었던 시절이었다. 그러나 지난 50여년 동안 이러한 상황은 급격히 변화하여 현재는 주파수 자원을 좀 더 깊게 연구하고 기술적인 특성도 많이 이해하게 되어서, 위에서 언급한 제한성이 물리적인 법칙으로부터 인지 또는 인공적인 것으로부터 기인되는 것인지도 이해하게 되었고, 주파수 스펙트럼상의 매우 높은 부분 즉 광파대에서와 극초단파대 이하의 주파수대에서 동작되는 장비들이 개발되어 복잡하게 이용되고 있어 효율성을 고려하는 단계에 와 있는 것이다.

주파수 스펙트럼 자원은 농부와 농지의 경작의 예로써 설명되어 질 수 있다. 농지를 상속받은 자는 이미 소유하고 있는 농기구와 기술을 가지고 토지를 경작하는데, 곧 농부 가족의 필요가 커짐에 따라, 농부는 남아있는 여분의 토지를 경작하기 시작할 것이다.

어떤 지역에는 새로운 기술이 필요하다는 것과 토양 조건에 따라 새로운 형태의 수확에 많은 영향을 준다는 것을 알게 된다. 또한 여러 농지를 자손에게 분할하게 되므로 모든 농지가 할당되고 부분적으로 이용이 되는 시기가 도래하면 수요증가를 만족시킬 푸른 농지는 점점 없어질 것이다.

본 논문은 농부가족의 필요가 증대됨에 따라 여유분의 토지를 어떻게 분할 경작할 것인가와 분할경작할 수 있도록 하게 하는 농기구를 생산하는 기술은 무엇인가에 초점을 맞출 것이다.

전자파의 이용은 많은 편익을 가져오므로 최근 수요급증을 초래하여 기존에 이용하고 있는 주파수 자원이 고갈되어 가고 있다. 왜냐하면 주파수 자원은 무한한 것이 아니고 한정되어 있기 때문이다. 주파수 자원의 이용상황을 보면, 저주파수대로부터 cm-파 대역까지 매우 복잡하게 할당되어서 이용되고 있고, 광파대역 또한 여러 용도로 이용되고 있는 실정으로서 주파수 스펙트럼상 cm-파와 광파대역 사이에 위치한 mm-파대역은 다른 주파수대에 비하여 이용도가 매우 낮은 실정이다. 한정된 주파수 자원을 효율적으로 이용하기 위해서는 기존에 할당이용되고 있는 주파수 대역에서는 [4]에서 제시한 바와 같이 주파수대역을 고밀도화하는 기술이 필요하고, 역사적으로 주파수자원의 개발이 계속 높은 주파수대를 개척해 왔듯

이 아직 이용되고 있지 않는, cm-파와 광파대 사이에 위치한 mm-파 대역은 상대적으로 미이용대역이므로 혼잡한 주파수자원의 개발을 위한 자연적인 돌파구라고 할 수 있다. 이러한 점을 일찌기 간파한 선진각국에서는 이용이 한가한 mm-파의 주파수자원 개발을 매우 활발히 전개하고 있는 반면 국내에서는 거의 전무하다고 할 수 있다.

mm-파대의 주파수 자원개발은 주파수대의 할당만을 하는 매우 소극적인 방법도 있었지만, 기술패권주의, 기술경제시대에 우리는 낙후되고 말 것이다. 그래서 본 논문에서는 좀 더 광의의 주파수 자원개발의 의미를 가지고 접근했다.

즉, mm-파대의 주파수자원을 개발하기 위해서는 전파특성이 파악되어야 하고, 주파수를 발생시키는 주파수원, 정보를 함유하고 있는 주파수대에서 정보를 뽑아낼 수 있는 검파기, 증폭기, 주파수 변환기등의 필수능동 소자, 전송매체 기술 및 수동소자들을 생산할 수 있는 4가지 기술여건이 이루어져야 한다. 이렇게 되었을시 다양한 용도로 주파수 자원의 특성에 맞게 이용할 수 있는 시스템 응용이 가능하게 되어 할당된 주파수 자원 중심으로 RF 시스템설계가 가능하게 된다.

국제화, 개방화시대에 선진국들의 mm-파 주파수 자원의 개발 및 이용동향의 주시와 이와 관련된 시스템의 개발에 소요되는 기초기술을 파악하여 이에 능동적인 대응을 할 필요가 있다.

주파수 할당은 위에서 언급한 바와 같이 그 나라의 전파기술 및 산업 더 나아가 경제를 유도하는 매우 중요한 요소이므로 우리도 국제화에 따른 주파수 할당이 되어 있지만 전파특성, 수요예측, 해외동향(특히 자동차 충돌방지 레이다와 도로 정보 시스템의 경우)을 파악하여 능동적인 대처를 하여야 할 것이다. 우리의 기술력(특히 소자생산 기술력)을 갖추는 방향으로 mm-파 대의 주파수 자원 개발이 되어야 할 것이다.

II. mm-파 기술의 역사적 배경

전파통신이 시작되면서 계속 높은 주파수대를 개척해서 이용해 왔는데 새로운 높은 주파수대의 개척은 새로운 통신기술의 개발이 이끌어 왔지만, 기술이 발전되는 것은 큰 수요에 의해서 있었으므로 산업쪽으로도 큰 영향을 미쳤다. 이것은 주파수가 높아질 수록 정보통신용량이 증가되는 장점으로부터 기인되었

었다. 그런데 실지로 이용된 주파수는 계속해서 연속적으로 높은 주파수대로 올라간 것은 아니었다. VHF대의 TV방송이 실시될 때까지는 그러하였었는데 UHF대의 RF 소자기술이 어려워 cm-파대역으로 뛰어들었고, mm-파대역 또한 광파대의 이용으로 뛰어넘었던 대역이다. 최근 UHF대는 이동통신용으로 많이 사용되고 있고 다양한 용도로 확산되어 혼잡스럽게 이용되고 있지만, mm-파대역은 한가한 대역이다. mm-파 기술의 태동은 2차대전후 4~6GHz대의 cm-파 통신이 성공했으므로 새로운 가능성을 좀 더 높은 주파수대에서 찾는 자연적인 경향에서부터 시작되었다.

ㄱ. 1960년대

대용량의 가능성을 mm-파는 가지고 있었지만, 큰 선과손실이 대표적인 결점으로 인정되었던 시대였다. 도파관 모드해석에 관한 연구가 1950년대에 원형도파관이 아주 적은 전송 손실을 갖는다는 특성을 mm-파에 적용시키기 시작해서 장거리 대용량쪽으로는 30~110GHz시스템 접근이 있었던 시대였다.

ㄴ. 1970년대

미국과 일본에서 통신방식이 매우 발전되고 실험대이타도 집적된 시기이다. 회로부품들도 대부분 개발되었는데 특히 통신위성이나 방송위성에 쓰이는 고출력 진공관식 증폭기인 TWTA도 이 당시 개발이 완료되었었고, 대부분의 mm-파대의 회로설계기술도 거의 완성되었었다. 회로 성능면을 보아도 현재와 별 차이가 없다고 할 수 있다. 그러나 최근 볼 수 있는 FET 또는 HEMT 소자와 같은 고정밀의 반도체는 없었고, Diode가 있었으므로 저잡음 수신기 일단에 저잡음 증폭기대신 다이오드 믹서가 이용되었었던 시기였다. 그러나 경기의 후퇴와 광섬유의 출현으로 인해 mm-파대의 장거리 대용량 통신은 개발의 선두주자가 되지 못하였다.

ㄷ. 1980년대

80년대 초반에는 연구인구는 감소했으나 연구는 세계각지에서 계속되었고, 그리고 수요도 전파천문, 센싱, 레이다 등에서 mm-파가 꼭 필요했던것과 같이 무선기, 위성통신의 수요가 증가했다. 또한 이동통신의 Microcell, PCN등에서 mm-파의 주파수대를 채택하는 시도가 1980년대 말경부터 시작되었었다.

FET등의 반도체 기술이 발달하여 MMWIC 부품들이 선보이기 시작했다. 80년대 이전 군사적인 용도에

서 추진되었던 mm-파대의 개발이 주춤하다가 80년대 후반에 대용량의 시스템이동이 가능한 자동차 충돌방지 레이더와 교통감시 시스템쪽으로 방향이 전환되어 이 경우 저가의 시스템 접근이 가능한 MMWIC 개발에 선진국들이 박차를 가하고 있다. 독일의 경우 Fin Line 전송매체를 기반으로 한 반도체 소자를 부착시킨 Hybrid Approach 또한 교통감시 시스템 집적에 적용시키고 있다.

2. 1990년 이후

mm-파대의 다양한 소자 개발과 전송매체의 설계 기반등의 기술등이 축적되어 mm-파의 응용에 대한 연구 개발이 최근 수년간의 mm-파 전용 국제 Conference등이 매년 개최되는 등 활발한 움직임이 보이고 있다. 60GHz대의 PCN쪽으로는 연구개발이 세계 여러곳에서 활발히 진행중이다.

III. mm-파 주파수할당의 역사적 배경

1959년도의 세계전파통신주관청회의에서, 2차 세계대전후의 전파기술의 발달, 무선전파이용의 증가, 새로운 이용분야의 개척, 실제 운용의 경험등을 밑바탕으로 전파통신규칙 및 추가전파통신규칙을 전면적으로 개정을 하였다. 종래의 10 kHz-10.5 GHz의 주파수 범위를 개정한 규칙에서는 10kHz에서 40GHz까지 확대하고, 당시 c/s의 주파수 단위를 Hz로 변경하였다. 이것이 최초로 mm-파대의 국제적인 주파수 할당이라고 할 수 있다.

1971년의 우주통신에 관한 세계전파통신주관청회의에서 주파수할당의 상한을 275GHz까지 확대하였고, 그 후 1979년의 세계전파통신주관청회의에서 전파통신규칙의 대폭적인 개정작업이 수행되어 할당의 상한선이 275GHz에서 400GHz까지 또 한번 확장되었다. 동시에 각 주파수대에 분배된 업무계획을 다시 검토하기로 하였다. 그리하여 지구탐사위성과 같은 종류의 신규업무에 대한 주파수자원 이용이 활발하여졌었다.

그리고 1992년 WARC-92에서는 표 3.1에서 보는 바와 같이 세계공통적으로 이용할 새로운 우주업무용 주파수를 할당하기로 확정되어 현재에 이르고 있다. 우리나라에서도 국제적인 주파수 할당에 따라 mm-파대가 매우 복잡하게 할당되어 있지만 현재 외국시스템을 수입 이용하고 있는 38GHz를 제외하고는 전무한 실정이다.

[표 3.1] WARC-92에서 확정된 새로운 우주업무용 주파수 분배결과.

주 파 수 대	목적업무	사 용 조 건
24.45~24.65GHz	위성간 업무	1차업무
25.25~27.50GHz	위성간 업무	1차업무
28.50~30.00GHz	지구탐사위성	2차업무(상향)
31.80~32.30GHz	우주업무	1차업무(심우주, 하향)
34.20~34.70GHz	우주연구	1차업무(심우주, 상향)
37.00~38.00GHz	우주연구	1차업무(하향)
37.50~40.50GHz	지구탐사위성	2차업무(하향)
40.00~40.50GHz	우주연구	1차업무(상향)
40.00~40.50GHz	지구탐사위성	1차업무(상향)
74.00~84.00GHz	우주연구	2차업무(하향)
156.00~158.00GHz	지구탐사위성	1차업무(능동)

IV. mm-파의 특징

mm-파는 주파수 대역이 30~300 GHz를 차지하는 전자파로서 cm-파와 적외선 사이의 주파수 대역에 위치한다. mm-파는 cm-파, 적외선등 다른 주파수대의 전자파와 비교해볼 때 다른 독특한 특성을 가지고 통신, 레이더, 전파천문등에 활용되고 있다. mm-파는 세가지의 주요한 특성을 지니고 있는데 단파장, 대기상황과의 민감한 상호작용 그리고 광대역성이 그것이다. 이러한 특성은 mm-파를 활용하는데 있어서 때로는 장점으로 때로는 단점으로 작용한다. cm-파와 광파대의 특성을 mm-파와 비교해 볼 때 아래와 같은 장단점을 나열할 수 있을 것이다.

(1) 단파장

ㄱ) cm-파에 비해 주파수가 높으므로 cm-파에 비해 파장이 짧다. 그러므로, 각종 소자의 크기를 줄일 수 있으며 시스템의 소형, 경량의 집적화가 가능하여 항공기, 위성등에 유용하게 활용될 수 있다. 기기의 소형경량화는 기술의 진보를 촉진시킬 것이다. 기기가 작다는 것은 도시나 사무실등의 미관에도 좋을 뿐만아니라 공간활용에 많은 장점이 있다.

MWMIC(Millimeter Wave Monolithic Integrated Circuit) 기술을 이용하면 1mm² 보다도 작은 회로도 가능하므로 손목시계 크기의 송수신기도 실현될 수 있을 것이다. 또한 좁은 빔폭을 만들수 있으므로 높은 해상도와 정밀성을 요구하는 목표물 추적과 탐지에 활용할 수 있다.

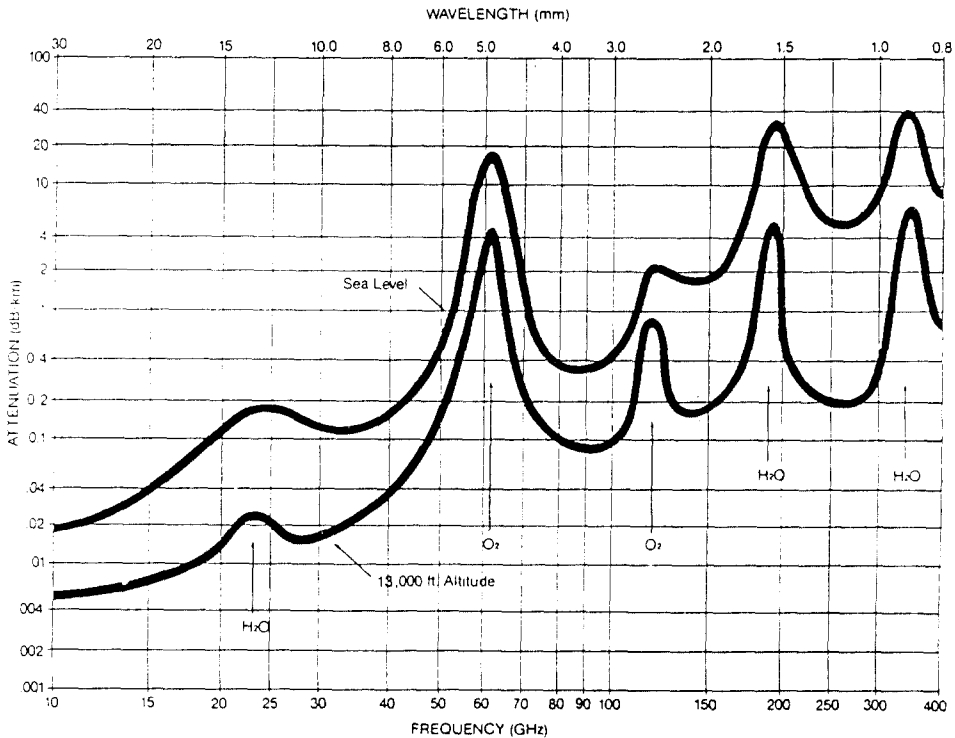
나) 크기가 작은 소자의 제작으로 인해 정밀도가 요구되며 이로 인한 제작 단가가 비싸지게 된다. 그렇지만 MWMIC 기술로 인한 대량생산이 가능해지면 상황은 달라질 것이다. 반도체의 성능은 주파수의 상승에 따라 3~6dB/Octave로 나빠지므로 mm-파대에서는 출력이 큰 반도체 발진기를 제작하기 어렵다. 고출력의 경우 진공관식의 발진기를 이용해야 한다. 좁은 빔폭으로 정확도, 해상도와 지향성을 높일 수 있으나 장거리 검색이나 목표물의 포착에는 용이하지 않기 때문에 일단 광각의 레이더로 포착한 후에 mm-파를 사용하여 정밀도를 높이는 시스템이 요구된다. 안테나의 Aperture 크기가 작아지므로 RF 에너지 포획량도 작아지고 따라서 수신기의 감도도 떨어지게 된다. 큰 도플러 편이로 수신대역폭을 벗어나는 경우가 있어 수신에 불가능해 지는 단점도 있다.

(2) 대기상황에 대한 민감성

mm-파 대역에서는 수증기, 산소, 강우, 그외의 기체분자에 의해 전자파에너지가 흡수되어 일반적으로

전파손실이 큰 것이 큰 결점이라 할 수 있다. 확실히 장거리 통신에서는 고출력이 필요하므로 고출력의 진공관식의 다양한 발진기들이 개발되었다. 소출력의 반도체 발진기를 이용할 경우 근거리용에 적합하다. 개인통신, 무선 LAN 등은 적은 지역내의 통신쪽의 적용에 대한 수요가 폭증할 것으로 보인다. 이러한 높은 전파손실의 단점은 다른 시스템에 혼신등의 영향을 미치지 않게되므로 응용분야에 따라 오히려 장점이 되는 경우도 있다.

ㄱ) 적외선 및 광파대역에 비해 비교적 낮은 감쇄를 가지므로 연기, 먼지, 안개등의 시야가 불량한 상태에서의 활용이 가능하다. 지표면에서 적은 산란특성으로 다중경로의 간섭을 줄일 수 있다. 대기에서는 높은 흡수성으로 인해 특정한 주파수를 사용한 통신의 경우는 기밀유지가 가능하다. 또한 높은 고도에서는 감쇄가 매우 적고 해면고도로 내려올수록 감쇄가 커져서 지구표면 근처에서의 검파와 혼신의 가능성이 매우 작으므로 위성간의 기밀통신등에 사용되고



[그림 4.1] mm 파대의 전자파가 수평진파시 평균 대기감쇄 특성

있다.

ㄴ)[그림 4.1]과 같이 대기에 의한 감쇄로 인하여 통신거리에 제한을 받게 되는 것은 물론 눈, 비등의 강우에 의한 감쇄가 매우 크므로 출력과워, 안테나, 적절한 변복조, 데이터처리등을 이용하여 이를 극복하여야 한다. 강우에 의한 후방 산란으로 인해 목표물 포착에 방해받을 수도 있으므로 좁은 빔폭, 운용주파수의 적절한 선택, 이동목표물 표지(Moving Target Indicator, MTI)등을 활용하여 강우에 의한 산란을 극소화하여야 한다. 숲이 무성한 곳에서는 전파의 전파가 제한을 받는다.

(3) 광대역성

주파수는 높아질수록 많은 정보량을 취급할 수 있다. 광대역보다는 적은 정보량을 운반하지만 mm-파대의 주파수 대역폭은 270 GHz로 지금까지 개척해 온 주파수를 30GHz 이하로 볼때 9배의 정보량을 취급할 수 있다. 이렇게 많은 정보량을 처리할 수 있어 레이더시스템에서 좁은 필스나 광대역 FM에 의한 목표물의 정확한 탐색이 가능해진다. 광대역의 분산 스펙트럼(Spread Spectrum)으로 인해 다중경로와 클러터를 줄일 수 있다. 많은 주파수를 사용할 수 있으므로 재밍(Jamming)이나 간섭을 파악하는데 유리하여 복사레이다와 같은 시스템쪽으로 활용이 가능하다. 레이더 시스템에서 목표물의 정밀 추적과 탐지가 가능하며, 복사계(Radiometer) 시스템에서는 높은 민감도를 얻을 수 있다. 넓은 대역폭을 가지므로 도플러편이 측정이 정확해진다.

또한, Coherent 위상특성이 좋아서 고성능의 통신이 가능하다. 주파수대가 높아도 위상의 Coherent 성질이 좋아서 위상제어가 정확히 이루어지는 것이 mm-파대의 특징중의 하나이다. 그래서 위상변화에 대한 정보를 얻을 수 있으므로 저주파수대와 같은 밀도로 정보를 얻기가 어렵지 않아 S/N 비가 좋은 통신 매체로 사용하기에 적합하다고 할 수 있다.

파장이 짧은 특징으로부터 단점이 발생된다. 반도체 소자들의 경우, 그 성능이 주파수의 상승에 따라 3-6dB/Octave정도로 성능이 저하된다. 유전체 붕괴 등의 문제로 출력이 큰 반도체 발진기를 설계하기가 어렵다. 회로소자 또한 정밀하게 가공되어야 하므로 회로제조에 비용이 높아진다. 그러나 대량의 수요가 있을 경우는 가격이 내려갈 수 있으므로 위와 같은 단점을 극복할 수 있을 것이다.

V. mm-파의 이용방향

ㄱ) mm-파의 수요발생

전파의 이용에 관한 사고방식이 변해왔다고 생각한다. 공중통신을 예로 들면, 1970년대까지는 한 개의 전파에 많은 정보를 실어서 먼곳으로 운반하는 것을 목표로 대용량 장거리 회선을 구축해하였다. 이것은 전파의 전송손실은 Cable (당시는 동축 Cable)의 그것과 비교해 작고, 유선(Cable)과 무선과의 병용에 의한 재해 등에 대비한 신뢰성을 확보하기 위해서였다.

그러나, 광섬유의 출현이래 사정이 변했다. 광섬유는 거의 손실이 없고, 주파수 대역도 넓다. 다른 루트의 광섬유 네트워크를 시설하면(나 Route화), 유선·무선 병용은 반드시 필요하지는 않다.

무선통신의 “선으로 연결하지 않아도 좋다”라는 장점을 살리는 이 사용법은 매우 다양하게 발전하여 와서 mm-파대보다 낮은 주파수대는 스펙트럼이 이미 혼잡하여져서, 효율성을 깊이 있게 고려하는 새로운 이 사용법을 수용할 여지가 많지 않다. 전파를 손쉽게 사용하기를 원하게되므로, 역사적으로 높은 주파수대를 사용해 왔듯이 mm-파대는 전파손실이 큰 특성을 가지고 있어, 이 특성을 이용하면 계속해서 장소를 바꾸어 몇 번이라도 주파수재사용을 할 수 있다. 왜냐하면 다른 사람과 다른 시스템에 방해가 되지 않기 때문이다. 이러한 특성이 요구되는 곳에는 mm-파가 적당한 대역이다.

ㄴ) 특징을 살리는 응용

mm-파의 특징을 살리는 용도는 다양하게 있으나, 대표적으로 극히 작은 Area 통신, 실내 LAN, 개인통신, 무선 데이터 등이 있다. 이들은 설치와 철거가 간단하다. 설치·철거가 용이한 것은 재해 등의 비상사태시의 통신확보에 극히 중요하다. 근거리 고밀도 Sensing(자동차등에 탑재하는), 비접촉 ID Card와 매표·회수권, 택시 뿐만 아니라 우주에서의 이용도 생각할 수 있다.

ㄷ) 광섬유와의 결합

광섬유는 무손실에 가까운 우수한 전송매체이다. 현재, 도심지역에는 전화를 위해 급속 케이블이 뽁뽁히 매설되어 있지만, 미래에는 그것이 광섬유로 대체될 것이다. 광섬유의 선단에서 mm-파를 사용하는(광을 반송파로써, mm-파를 중간주파로 하는) 통신은,

케이블과 전파의 양쪽의 이점을 살리는 응용방안이라 할 수 있다.

ㄹ) 분자구조와 mm-파와의 상호작용

mm-파대에서는 기체분자 등에 의한 흡수특성이 있다. mm-파는 물질의 미시적인 구조와 우주의 관측(Plasma 관측과 전파천문)에 유용한 주파수이다.

최근에는 전파수요가 다양화되고 있다. 사회의 고령화, 생활양식의 다양화에 수반해 보다 손쉽고, 보다 편리한 통신(언제라도, 어디에서라도, 누구라도, 어떤 정보도)을 원하고 있다. 이것을 충족시키기 위해, 주파수가 낮은 대역은 이미 거의 사용되었고, mm-파에 대한 관심이 증가해 왔다. mm-파를 손쉽게 얻고, 손쉽게 취급할 수 있다면 앞에 기술한 여러가지 특징을 살리는 것이 가능할 것이다.

mm-파의 사용방안을 생각할 때에 비록 자신이 주체가 아니더라도 다른 시스템의 장점과 연결시키는 발상이 필요하다. 무선통신은 "선으로 연결하지 않아도 좋다"라는 유선통신에 비해 결정적인 이점을 가지고 있다. 이러한 장점을 부가한 유선통신방식, 또는 유선통신방식의 이점을 살린 무선통신방식, 어느 쪽이 주체이고, 어느 쪽이 부가기능이라도 결과는 마찬가지이다.

수요가 기술의 진보를 촉진하고, 그것이 또 새로운 수요를 창출하기 때문에 mm-파의 기술의 진보는 당연히 기존의 cm-파 기술의 발전과 전파의 새로운 사용법 개척에 기여할 것이다.

VI. 미이용 주파수 자원개발을 위한 기술

mm-파 대역 개발도 마찬가지로 타주파수대역 개발을 위한 4가지 필수요소를 만족시켜야 한다. 즉,

- 1) 원하는 주파수대의 전파특성이 파악되어야하고,
- 2) 원하는 주파수대에서 동작하는 발진기(주파수원), 검파소자, 증폭소자, 주파수변환소자 등의 능동소자가 있어야하고,
- 3) 원하는 주파수대의 전자파를 Guide 할 수 있고, 능동소자와 수동소자를 연결시킬 수 있는 전송매체가 있어야하고,
- 4) 원하는 주파수대의 전송매체를 이용하여 필터, 방향성 결합기, 안테나 등의 수동소자가 있어야 결과적으로 주파수 자원을 이용하는 응용시스템을 설계·제작할 수 있다.

본 논문에서는 mm-파의 주파수자원개발을 위한 요소기술을 전파특성 파악, 전송매체와 수동소자 등을 제외한 소자와 시스템차원의 두 부분으로 나누어 소개한다. 지면 관계상 자세히 다루지 못하고 소자 부분은 MWMIC, Diode, 트랜지스터, 안테나등만을 다룬다. 시스템부분은 이동통신, 통신, 방송, 레이더, Radiometer, 기타로 나누어 고려한다.

6.1 MWMIC(Millimeter Wave Monolithic Integrated Circuits)

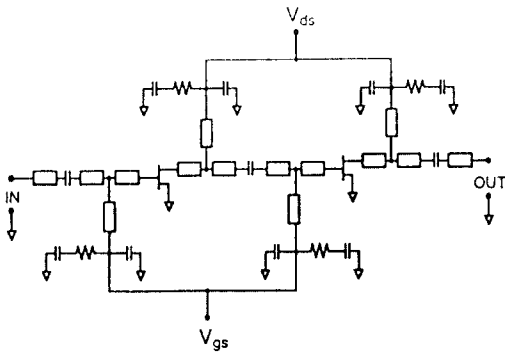
높은 정밀도를 요구하는 mm-파소자의 가격은 고가이므로, 저가의 mm-파 소자를 제작하기 위해서는 대량생산이 요구되는 곳에 MWMIC(Millimeter Wave Monolithic Integrated Circuit) 기술에 의해서만 가능하므로 미국방성에서는 MMWIC(Microwave & Millimeter Wave Monolithic Integrated Circuit) 계획에 9년동안 5억불을 쏟아넣었다. 이러한 노력은 GaAs 기술개발에 집중되었다. 새로운 GaAs 기술은 2300 GHz대에서 동작하는 Schottky 다이오드, 70 GHz대에서 동작하는 Varactor 다이오드와 MESFET를 하나의 Chip에 집적을 가능하게 했다. 이런 기술을 다이오드 믹서, IF 증폭기, 국부발진기, 주 수신기의 RF회로의 중심소자들을 전부 집적할 수 있게 하였다. 또한 Molecular Beam Epitaxy(MBE)와 X 선 Lithography 기술은 고저항성의 실리콘상에 mm-파소자를 장착할 수 있게 했고, 이러한 물질위에 IMPATT와 Schottky 다이오드를 구성하여 100 GHz 정도에서 훌륭한 결과를 추출하였다. SIMMVIC(Silicon Monolithic Millimeter Wave Integrated Circuit)을 사용한 송신기는 73 GHz에서 200MW의 출력을 발생하였었다. 이외에도 수많은 응용분야에서 MWMIC 기술을 연구 개발하는데 그중 한 가지 예를 이곳에 소개한다. 독일에서 개발한 60 GHz대에서 동작하는 3단의 저잡음증폭기를 집적한 것으로 [그림 6.1.1]에서 회로토폴로지와 실지의 MWMIC를 보이고 있다.

6.1.1 MWMIC의 문제점

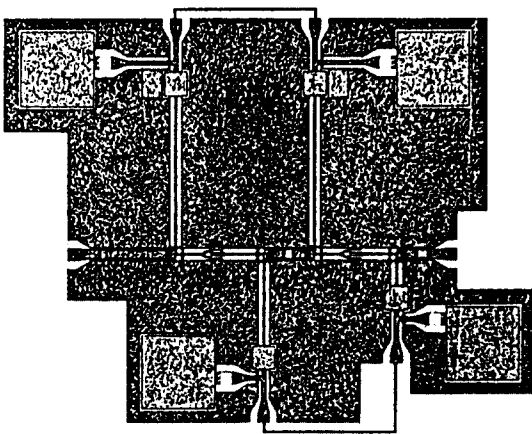
향후 MWMIC가 mm-대의 Hardware 기술에 있어서 핵심요소가 되기 위해서는 아직도 몇개의 기술적 문제를 극복할 필요가 있다.

- 1) MWMIC화에 의한 회로 소형화는 회로자체의 손실, 즉 Q가 저하되어 능동소자가 가지는 성능을 저하시킨다. 구체적으로는 잡음지수의 저하, 출력파워의 손실등으로 효율성을 잃게 된다.

- 2) 능동소자의 경우, 특히 Monolithic화에 있어서 소자 Parameter의 보다 높은 균일성이 MWMIC 제조비율의 확보를 위해 불가피하다. 또 출력 파워 특성에 대해서는 IMPATT 다이오드 등의 2단자 소자와 비교하면 MWMIC용의 3단자소자(MESFET, HEMT등)의 성능은 점점 낮아진다.
- 3) mm-파라는 고주파대에서도, 현재의 cm-파대 MMIC Level의 설계성을 실현하기 위해서는 보다 정밀한 MWMIC설계기술의 확립이 필요하다.
- 4) 더우기, mm-파대 Hardware의 가격저렴화에서 빼놓을 수 없는 것은 특성평가 경비 및 조립실장 경비이다. 특히 고주파대임에도 불구하고 이들의 비율은 점점 높아진다.



(a)



(b)

[그림 6.1.1] 60GHz의 저잡음 증폭기의 (a) 회로구성도와 (b) 집적회로의 실제사진

6.1.2 MWMIC 기술의 발전방향

앞에서 기술한 바와 같이 mm-파대 MWMIC 기술의 문제점을 극복하기 위해서, 유망하다고 볼수 있는 Uniplanar형 MWMIC 기술등을 중심으로 설명한다.

1) UNIPLANAR형 MWMIC

Uniplanar형 MWMIC는 일반에게 잘 사용되고 있는 마이크로스트립라인 대신 Slot라인과 Coplanar라인등의 평면 전송매체와 Airbridge를 적극적으로 활용한 구성을 가지고 있다. 이들의 특징은 mm-파대 MWMIC의 기술적인 문제극복으로 아주 유망하다. 예를 들면, On Wafer 고주파 측정의 특징은 mm-파대의 정밀한 특성 평가를 가능하게 하고, 그 결과 제조시 조립을 향상과 개발효율화등에 대단히 유리하다. 또, 접지도체가 동일면에 있기 때문에 고주파대의 접지가 양호하고, 불필요한 리액턴스 성분을 제거할 수 있어, 우수한 설계성과 고주파 특성이 기대된다.

2) 저손실화/소형화 기술

mm-파대에 있어서 회로의 저손실화는 특성상 대단히 중요한 과제이다. 최근의 발표된 유망한 기술로써 후막 Resister를 적극적으로 이용한 후막전송매체가 있다. 이러한 선로는 회로의 저손실화와 소형화에 효과적이다.

3) 다층화 MWMIC

다층화 MWMIC는 능동소자를 제거한 각종 수동소자를 복수적층한 유전체 박막층에 구성된 MWMIC이다. 이것은 회로의 소형화/저경비화에 우수한 구성이지만, mm-파대 MWMIC로써는 선로 길이의 단축에 의한 회로손실의 절감과 고주파 특성 향상, 저손실의 전력 합성과 회로간 Isolation특성등을 기대할 수 있는 기술이다.

4)기 타

MWMIC는 고주파 아나로그회로기술이고, 다양한 필요에 따른 특수한 제작·설계기술이 요구된다. 그렇지만 그 개발에 있어서는 양호한 설계성을 확보할 수 있어 설계기술의 확립이 불가결하다. 또, mm-파대에 적용가능한 MWMIC 실장기술, 예를 들면 임피던스 정합에 우수하면서 손실이 적은 접속, 접속수를 극히 적게 하기 위한 고집적화, 그리고 스마트카드쪽으로의 응용에 필요한 초소형, 저렴한 실장기술등이 이후에 극복할 문제점이다. MWMIC가 지닌 고정밀도의

높은 재현성, 양산성이라는 특징은, mm-파 기술의 최대 과제인 저렴화에 큰 영향을 미친다. 앞으로는 mm-파대를 이용하는 기기의 증가와 mm-파대의 능동소자기술의 발전과 병행하여 MWMIC 설계기술이 향상될 것이다. 그리하여 MWMIC가 mm-파대의 핵심기술이 될 것이 확실하다. MWMIC는 특히 mm-파대에 있어서 그 특징이 발휘되는 기술이므로, 계속적으로 연구·개발이 진행될 것이다.

mm-파대가 본격적으로 이용되기 위해서는 MWMIC 기술의 발전과 함께 mm-파대가 지닌 여러가지 특징을 살리는 방향으로 적극적으로 개척해 나아가야 할 것이다.

6.2 다이오드류

본 절에서는 mm-파대의 검파, 주파수변환, 전압조절캐패시턴스로 이용되는 Schottky Barrier 다이오드, 발진(주파수원)과 증폭용으로 이용되는 GUNN다이오드, 변조·스위칭·감쇄기용으로 이용되는 PIN다이오드, 그리고 주로 증폭용으로 이용되는 IMPATT 다이오드등이 현재 쓰이고 있고, 계속 연구·개발되고 있어 주파수자원 개발에 매우 중요한 역할을 하고 있다고 생각되는 4종류의 반도체 다이오드를 간략히 소개한다.

6.2.1 Schottky Barrier 다이오드

금속과 반도체의 접촉으로 이루어지는 Schottky Barrier 다이오드는 접촉부의 정류성 장벽이 가지는 가변저항특성(전류-전압의 비선형특성)에 의해 검파 또는 헤테로다이오드의 주파수변환을 발생시키고, 큰 역방향 바이어스에서 발생하는 공핍층에 의해 가변캐패시턴스의 특성을 가진다.

반도체 재료로는 Si와 GaAs중, mm-파대 이상에서 차단주파수를 가질수 있는 GaAs를 대부분 이용하고 있다. 최근에는 300GHz에서 3THz의 주파수대에서도 이용할 수 있는 다이오드가 개발되고 있다. 패키지 형태로는 Dot Matrix형과 Beam Lead형이 있으나, Dot Matrix형은 기계적으로 불안정하여서 Mesa 또는 Planar 구조에 Beam Lead를 붙여 평면회로에 적합하도록 제작되고 있다.

6.2.2 GUNN다이오드

GaAs나 InP와 같은 III-IV족 화합물 반도체에서는 전계가 임계값을 초과할때 Drift속도가 감소하여 이에 따라 전류도 감소하는 부정저항 특성이 발생되어

mm-파대에서 효과적인 발전과 증폭에 유용하게 쓰인다. GUNN다이오드는 두개의 저항성접촉(Ohmic Contact)사이의 GaAs나 InP와 같은 복합 반도체를 삽입한 단순벌크형 반도체이며, 100GHz이하에서는 GaAs, 200GHz이하에서는 InP를 사용하고 있다.

GUNN다이오드는 잡음이 적은 특성으로 저잡음용과 저출력용으로 많이 쓰이고 있고, 고출력이 요구될 때에는 IMPATT증폭기를 부착하여 사용한다. 많은 회사에서 상용으로 제작되고 있는 GUNN다이오드의 출력레벨은 보통 40~60GHz사이에서는 50~150mW와 75~110GHz사이에서는 20~90mW의 출력을 보이고 있다.

6.2.3 PIN다이오드

PIN다이오드는 p-i-n구조를 Mesa형 또는 Planar형으로 제작되며 바이어스 전류에 의해 반비례하는 가변저항특성을 보인다. mm-파대의 회로에서 스위치, 변조기, Phase Shifter, 변조기, 감쇄기로서 이용된다. 미국의 Hughes와 Millitech사에서 제작되는 스위치용의 PIN다이오드의 삽입손실은 40~60GHz사이에서 약 1.8dB, 75~110GHz사이에서는 약 2dB이고, Isolation은 40~60GHz와 75~110GHz대에서 각각 25dB와 20dB의 특성을 나타내고 있다.

6.2.4 IMPATT다이오드

IMPATT(IMPact Avalanch and Transit Time)다이오드는 반도체의 급격한 이온화현상과 표리시간(Transit Time) 특성에 의한 부정저항을 이용한 소자로서, 역방향의 항복사태가 일어나도록 바이어스를 가할때와 반도체의 결정구조의 격자에서 발생하는 열에 의해 발전현상이 일어나는데 전자의 특성을 이용하는 것이 보통이다. mm-파대에서 가장 높은 출력을 내는 반도체 발진원으로 회로구성에 의해 반도체 고출력 증폭기용으로 주로 이용된다. 약 200GHz이상에서도 CW발진을 할 수 있다.

6.3 Transistor

mm-파대의 소자기술의 핵심은 트랜지스터인데, HEMT(High Electron Mobility Transistor)와 HBT(Heterojunction Bipolar Transistor)가 중요한 소자이다. 소형, 고성능의 mm-파시스템을 실현케 하는 트랜지스터의 개발은 매우 빠르게 발전되어 왔다.

mm-파대의 트랜지스터에도 cm-파대의 경우와 같이 GaAs등의 화합물 반도체를 사용한 <전계효과 트

랜지스터)가 있다. 화합물 반도체를 이용한 경우 AlGaAs와 GaAs처럼 서로 다른 종류의 반도체이면서 아주 용이하게 접합(헤테로접합) 할 수 있는 다양한 조합방법이 있다. 이러한 헤테로 접합은 FET 및 바이폴라 트랜지스터가 mm-파대에서의 동작이 가능하게 하는 점 외에도 상당히 중요한 역할을 한다.

6.3.1 FET

FET는 반도체기판표면을 따라 흐르는 캐리어(mm-파에서는 정공보다 이동성이 좋은 전자 이용)의 수를 게이트에 첨가하여, 전압으로 제어한다. 게이트의 폭을 줄이는 문제와 포화속도 V_{sat} 를 향상시키는 문제를 극복하면 mm-파대의 FET의 특성을 개선시킬 수 있다. 즉, $0.1\mu\text{m}$ 의 게이트폭을 제작하면 전류이득차단주파수(전류이득이 1인 주파수)는 약 190GHz정도 된다. 그리고 전자의 이동성을 방해하는 매카니즘은 헤테로 접합기술을 이용하여 개선시킨다. 변형격자 HEMT의 경우는 기존의 GaAs FET보다 이동성이 30%이상 개선된다. 최대발진주파수, f_{max} 도 게이트 폭이 $0.1\sim 0.25\mu\text{m}$ 의 HEMT에서는 200~450GHz가 실현되고 있다. 30~60GHz에서는 PM-HEMT(변형격자 HEMT), 60GHz이상에서는 InP HEMT가 이용되고 있다.

6.3.2 HBT

바이폴라 트랜지스터의 f_T 와 f_{max} 는 근사적으로 아래와 같이 표현된다.

$$f_T = \frac{1}{2\pi(\tau_B + \tau_C)}, \quad f_{max} \cong \frac{\sqrt{f_T}}{\sqrt{8\pi C_{BC} R_B}}$$

여기서 τ_B 와 τ_C 는 베이스와 콜렉터의 캐리어의 주행시간이고, C_{BC} 는 베이스와 콜렉터 간의 커패시턴스, R_B 는 베이스 저항이다.

mm-파대의 발진과 증폭을 고려할 때 f_{max} 를 높게 할 필요가 있다. 결과적으로는 f_T 를 크게하면서 동시에 C_{BC} 와 R_B 를 낮추어야 한다. f_T 를 크게하기 위하여 전자의 이동성이 우수한 반도체를 이용한다. C_{BC} 를 작게하기 위하여 트랜지스터의 동작과는 관계없는 베이스, 콜렉터접합면을 최소로 하여야 한다. 그런데 R_B 를 작게하는 데에는 베이스층의 두께를 늘이는 것이 아니라(τ_B 의 회생을 하지 않고), 베이스의 첨가농도를 증대시킬 필요가 있다. 그러나 통상 Si바이폴라 트랜지스터처럼 호모접합(에미터와 베이스가 동일한 반도체)의 경우 베이스의 첨가농도를 높게해 가면 베

이스에서 에미터로 역주입되는 정공의 수가 현저하게 증가한다.

이러한 역주입은 모두 베이스 전류로 되기 때문에, 전류이득(I_C/I_B)이 상당히 낮게 되어 버린다. 즉 호모 접합을 사용하고 있는 한 R_B 의 낮춤에는 한계가 있으며, mm-파대에서 이용하기가 어렵게 된다.

그런데 에미터에 Band Gap이 베이스보다 큰 반도체를 사용하면 전도대에 놓을 수 있는 전자의 장벽 E_e (에미터에서 베이스로의)와 가전자대에 놓을 수 있는 정공의 장벽 E_h (베이스에서 에미터로의)간에 $\Delta E = E_h - E_e > 0$ 의 관계가 된다. ΔE 는 에미터와 베이스 반도체의 Band Gap과 동등하다.

이 경우 베이스의 첨가농도를 에미터의 첨가농도에 비해 100배이상 높이 해도 에미터접지전류이득을 100정도로 유지할 수 있다. $f_{max} = 50\sim 350\text{GHz}$ 에 달하는 각종 HBT가 시험제작된 것이 보고되어지고 있다. HEMT와 HBT를 비교하여 보면, mm-파대에서의 저잡음 증폭측면에서는 HEMT가 단연 우수하다. 즉, 60GHz에 대해서 InP HEMT로 NF(잡음지수) = 0.8 [dB], PM-HEMT에서 NF = 1.5 [dB]가 달성되고 있다. 그러나 저위상잡음발진이라고 하는 면에서는 완전히 반대이다. 이것은 재결합(저주파의 잡음원인)을 일으키기 쉬운 표면영역의 비율이 낮은 HBT의 1/f 잡음(주파수가 1/2이 되면 잡음전력이 2배되는 잡음)이 HEMT의 이것에 비해 현저히 낮기 때문이다. 발진기에서 발진주파수를 결정하는 것은 부하의 임피던스와 능동소자의 임피던스 뿐만 아니라, 이외의 모든 잡음이라는 사실을 고려하여야 한다.

가령 잡음의 주파수가 직류 근방의 저주파라도 mm-파대의 발진주파수에 흔들림을 발생시켜 주파수의 안정성에 영향을 준다. HEMT와 HBT 모두 f_{max} 와 f_T 라는 관점에서는 별 차이가 없지만, HEMT는 저잡음 증폭에 HBT는 저위상잡음발진으로 치우쳐 이용되고 있다.

6.4 안테나

mm-파대역의 안테나는 파대하게 크지 않은 안테나 Aperture(개구면)를 가지고도 좁은 빔폭을 얻을 수 있는 장점이 있어서, 높은 분해도를 가질 수 있는 특징이 있다. 그러나 안테나 Aperture 크기가 작아짐에 따라 RF에너지의 포획량도 작아져 수신기의 감도를 나쁘게 할 수도 있다. 그러므로 mm-파대에서의 안테나는 각 응용분야에 맞는 안테나 크기, 종류, 주파수대를 적절히 선택하는 것이 중요하다.

1) 선로의 전송손실

안테나의 크기는 파장에 의해 규격화된 치수로 결정하기 때문에 같은 이득의 안테나는 파장에 비례해 작아진다. mm-파처럼 파장이 짧으면 안테나는 작아지기 때문에 안테나의 형태를 선택하는 자유도는 증가한다. 다만, 예를 들면 파라보라 안테나처럼 반사경 안테나에서는 파장이 짧으면 그것만큼 표면을 매우 매끈하게 해야하기 때문에 안테나를 제작하는 것은 어렵다.

주파수가 높게 되었을 때에 문제가 되는 것은 안테나의 성능보다 안테나에 전력을 제공하는 전송선로의 손실이 증가하는 것에 있다.

마이크로스트립 라인과 트리플레이트 라인과 비교하면, 도파관은 손실이 적은 선로로써 알려져 있다. 그러나, 도파관 상하의 도체판의 간격이 작으면 감쇄는 갑자기 커지게 된다. 이것은 선로 단면의 공간속을 전력이 전송되기 때문이다. 같은 도체손실에서도 상하 도체판의 간격을 크게 하면 높은 전력을 전송할 수 있고, 전송선로로써의 감쇄는 적어지는 것이다. 다른 회로내에서의 전력문제는 도체사이클 폐쇄하여 방사에 의한 손실을 적게 해야 하는데, 무작정 상하 도체판의 간격을 크게 할 수 없기 때문에 전송손실이 커진다.

2) 전송선과 직결된 안테나

mm-파의 발진소자와 검파소자는 마이크로스트립 라인 상에서 설계되어 지는 것이 보통이다. 반도체 발진소자는 안테나의 가까이에 배치하여 발진된 전력은 짧은 전송선로를 통해서 방사시키면 좋다. 또한 GaAs 기관상에 반도체소자가 장착되어 있으므로 이 소자들이 발생시킨 전력은 마이크로스트립라인을 따라 출력되는 것이 보통이다. 그런데 이 선로를 기관에서 1/4 파장만큼 길게 하면, 1/4 파장 Monopole Antenna가 된다. Monopole Antenna 만큼은 수평방향에서 부지향성이 되기 때문에 이것을 반사판에 장치한 것이 마이크로스트립 안테나이다. 반사판의 형태를 바꾸는 것으로 각종 Beam 폭의 지향성을 얻을 수 있는 특색이 있다. 예를 들어 파라보라로 하면 좁은 Beam폭이 되고, 반대로 안테나축을 볼록한 반사판으로 하면 넓은 Beam폭이 된다. 이처럼 반사판의 형태를 바꾸어 안테나의 Beam폭을 제어할 수 있다.

3) 기타 종류의 안테나

mm-파 대는 파장이 짧아, 광학 이론에서 쓰이는

직진성, 회절성, 반사성 등의 성질을 이용하여 설계할 수 있다. 기존의 mm-파 대의 반사형 안테나, 렌즈 안테나, Slot 안테나, Horn 안테나 등의 안테나는 주로 cm-파 대에서 사용하던 기술을 이용하여 제작되었다. 그러나 최근에는 mm-파 대의 응용 시스템이 다양해지면서 이에 맞는 저가, 소형, 경량의 평면형(위에서 언급된 마이크로스트립 안테나), 유전체 봉 안테나, 리키 안테나 등이 이용되고 있다.

6.5 Tube(진공관)류

반도체 소자들으로써는 고출력이 요구되는 발진·증폭 기능의 분야에 이용이 가능하며, 특히 mm-파대에서는 진공관이 필수적으로 이용된다. 선진국에서는 제2차 세계대전 전에 Klystron과 Magnetron이 개발된 이후에도 계속 새로운 진공관을 개발하여 수 MW급의 Gyrotron이 벌써 개발되어 이용되고 있는 반면 우리나라에서는 매우 미약한 움직임만 보이고 있다.

mm-파대의 진공관은 Slow Wave와 Fast Wave 소자로 구분한다. Slow Wave 소자는 CFA(Cross-Field Amplifier), Klystron, Magnetron, TWT(Travelling Wave Tube) 그리고 BWO(Backward Wave Oscillator) 등으로 cm-파 영역에서 쓰이던 기술을 연장하여 이용하여 왔으나, 파장이 짧아 질수복 소자 크기가 감소하여 정밀하게 가공하기가 무척 어렵고, 출력 전력의 한계가 있어 새로운 돌파구를 찾기위해 연구 개발을 계속하고 있는 실정이다.

반면에 Gyrotron, Ledatron, 그리고 Penitron 등과 같은 Fast Wave 소자는 mm-파 영역에서 고출력 주파수 원으로 각광을 받고 있다.

6.5 요소기술

본장에서는 mm-파 주파수 자원 개발에 필요한 기본 요소중에 반도체소자, 안테나, 진공관류 등에 관한 개략적인 소개를 하였다. 이러한 소자들을 국내에서 생산가능하게 하기 위해서 소자의 종류에 관계 없이 필요한 요소기술을 아래에 소자별로 나열한다.

동등소자 생산을 위해서 저출력의 경우 일차적으로 소자별 필요한 반도체 재료 및 제조에 관한 연구와 개발을 지속적으로 수행을 하여야 한다. 반도체 재료 및 제조 연구를 위해서는 Clean Room시설이 필요하다. 이러한 시설도 자체적으로 설계, 제작 가능할 때 반도체 소자계의 선진국으로의 발돋움을 할 수 있다고 본다. 고출력 소자는 전부 진공관식이 이용되는데, 필수 기술을 계속 높은 진공상태를 유지 시키기

위한 진공기술, 전자장 이론, 재료기술, 특수한 제작기술이 필요하다. 지금까지 열거한 소자들은 물론 기타의 소자들도 mm-파대의 전송선 이론에 근거하여 완전한 소자를 제작할 수 있는 설계 기술이 또한 연구되어야 한다. 사실상 앞에서 제시한 소자의 설계방법들은 선진연구진들에 의해 참고 문헌등에 소개되어 있지만 독자적인 설계방법 또한 개발 할 수 있는 능력이 있어야 하겠다.

본 논문에서 생각한 전송매체의 경우, 각 시스템, 소자개발 용도에 따라 적합한 평판 전송매체를 선택하여야겠다. 다양한 형태의 평판전송매체를 국내에 제작하기 위해서는 프린트 기판에 소요되는 유전체 재료 개발이 급선무이다. 정확한 가공기술, Etching 기술은 Hybrid 방식의 집적회로에 이용된다. 그리고 반도체 Growing 기술을 이용하여 반도체 재료를 기판으로 하여, 즉 Active 소자를 적합한 전송매체와 부합시켜 여러 가지의 회로를 하나의 작은 소자로 만드는 MWMIC(Millimeter Wave Monolithic Circuit) 기술 또한 mm-파대의 주파수 자원 개발에 필요한 기술이다.

파의 진행방향에 일정한 단면의 규격을 갖는 전송매체만이 필요한 것이 아니고 각양 각태의 불연속적인 Discontinuity가 능동회로와 수동 소자를 제작하는데 필요한데 이것은 Discontinuity를 분석하는 이론 연구 또한 필요한 점을 알리는 것이다. 분석을 두가지로 나눠보면 간단한 기계적인 구조에는 정확한 산술적인 해석이 되지만 대부분의 경우 간단한 산술적 해석이 불가능하므로 컴퓨터를 이용한 수치 해석에 관한 연구 또한 엄청나게 필요한 것이다. 도파관의 경우도 마찬가지이다. 그렇지만 도파관의 경우 뿐만아니라 다른 전송매체에서도 mm-파 대에서 그 크기가 엄청나게 작아지므로 $\epsilon_r < 1$ 기판재료를 찾고 있는 중이다. 전송매체 해석, 제작 기술이 이루어질때 능동소자도 수동소자도 제작이 가능해진다. 수동소자는 대부분 위에서 언급한 Discontinuity의 해석이 이뤄지면 cm-파대와 그 이하의 주파수대에서 이용되던 설계 기술을 이용할 수 있음은 물론이고, 새로운 설계 기술개발 연구에도 박차를 가해야 할 것이다.

안테나 기술은 프린트식, Disk Reflector식, Lens 식으로 나뉘 볼 수 있다. 프린트식은 대부분 Phase Array 안테나 설계기법에 따른 위의 전송매체 제작에 이용되는 기판 제작(재료) 기술로, Phase Shifter(PIN 다이오드)를 기판에 통채로 부착하는 연구가 진행되고 있다. Disk Reflector식 안테나의 경우 안테나 표면처리 를 매끈하게 할 수 있는 기계적인 제작기술 즉 cm-파

대의 제작기술이 연장 사용되고 있고, Lens식 안테나의 경우 W-band의 레이다 안테나의 무게를 엄청나게 경량화 시키고, 안테나 성능도 거의 같은 수준으로 제작이 가능하게 되었다.

6.7 mm-파 이용 시스템

시스템적 설계는 전절에서 설명된 기본소자들을 어느 특정한 필요에 따라 조합하는 기술이라고 할 수 있다. 여기에서 필요한 응용이라는 차원에서 수요와 기술사이에 있는 부분으로서 양쪽을 연결시킬수 있을때 만족된다.

성공적인 mm-파 시스템설계를 수행하려면 문제점 도출과 필요에 따른 최적의 해답을 찾는 매우 광범위한 접근방법을 채택해야 한다. 그러나 우리의 현실은 mm-파대의 시스템 설계 경험은 물론 소자에 대한 경험이 거의 전무한 실정이므로 선진제국들이 다양한 응용분야에서 생산 및 개발하고 있는 시스템들을 통신, 레이다, 방송, Radiometer, 기타 산업용등으로 나누어 본장에서 매우 간략하게 소개하므로 해외의 mm-파 시스템의 개발과 이용 경험을 얻고자 하는 것이다.

6.7.1 개인통신(PCN)

mm-파는 대기감쇄특성이 크므로 단거리·광대역 통신용으로 적합하다. 장비도 매우 경량화·소형화가 이루어질 수 있으므로 간이무선에 적합하다 할 수 있다. 앞으로 모든 사람이 이동전화를 소지하게 되면 주파수 자원의 수요는 엄청나게 폭증하게 될 것이다. mm-파의 대기중의 산소, 수증기, 강우 등으로 인한 감쇄특성, 즉 통달거리가 짧은 특성을 이용하여 주파수자원의 재사용 효율을 높일 수 있으므로 Microcell 화를 할 수 있다. 또한 mm-파의 짧은 파장의 특성을 이용하여 휴대전화는 손목시계 크기로 소형화되는 것은 물론 위에서 언급한 광대역 특성을 이용하여 음성은 물론 화상, 데이터 통신도 가능하게 된다. 이렇게 Microcell화된 기지국에 광대역 정보를 전송하는데 광섬유가 이용될 것이다.

6.7.2 통 신

mm-파 개발 초기에는 35GHz, 94GHz, 140GHz 등의 비교적 감쇄특성이 좋은 곳을 이용하여 Point-to-point 통신에 mm-파가 이용되었지만, 앞절에서 언급한 mm-파의 특징을 이용하여, 광대역 ISDN에서 필요한 대용량정보를 이용하는 화상회의용 통신, 은행과 Point of Sale(POS) 간의 통신, 고속무선 LAN 등의

사무기간의 통신, 국지적 TV서비스를 위한 신호분배용 통신, 방재무선, 항만무선, 터널내 통신, 스튜디오 내에서의 무선 TV카메라와 조정실간의 영상통신, 초소형 휴대전화(가로등에 부착된 초소형의 mm-파 중계기에 의해 PSTN에 연결), 대용량 도로정보통신, ID-Card(Smart Card), 60GHz대의 위성-위성간의 비밀통신등 헤아릴 수 없는 다양한 응용분야가 우리를 기다리고 있다.

6.7.3 레이더

cm-파 시스템은 큰 부피의 물질을 검색하는데, 그리고 청명한 기후 조건하에서 광파시스템은 이미지를 포획하는 레이더의 경우 확실히 mm-파 레이더 시스템보다 좋은 특성을 갖는다. 그러나 mm-파 대역은 cm-파 대역의 레이더보다 협각의 빔폭을 가지므로 다중경로전파와 사이드로브 반향에 의한 스프리우스 반사가 적어서, 비행기와 미사일 쪽의 응용은 cm-파 레이더 시스템보다 성능이 우월하다. 접예의 정확도가 요구되는 경우, LASER(광파대 레이더)를 이용할때 안개, 연기, 먼지등이 존재하게 되면 mm-파 시스템은 동작하지만 광파시스템은 운영되지 않는다.

mm-파대의 협각의 빔폭을 가지는 특성은 저공방위시스템을 구성하는 데 매우 유리하다. 작은 크기, 높은 정확도, 그리고 어떤 기후조건에서도 동작가능한 성질은 미사일 가이드نس와 기폭장치에 응용성이 높다.

산업쪽의 응용분야로써 폭발적인 인기를 모으고 있는 시스템으로 차량의 충돌방지 레이더가 그것이다. 협각의 빔폭, 대기감쇄가 큰 특성을 가지는 mm-파는 차량충돌사고가 많이 발생하는 우리나라에서는 물론, 세계적으로 많은 수요를 가지고 있어 일본과 독일에서는 35GHz시스템, 영국에서는 94GHz시스템, 또 일본에서는 50GHz시스템이 상용화 단계에 와 있다. 이러한 레이더 시스템은 앞차와 앞 뒷차간의 충돌을 긴급 회피하게 해 줄 수 있고, 또한 교통상황을 운전자에게 알려주는, IVHS(Intelligent Vehicle Highway System)시스템은 예방안전운전에 많은 도움을 주는 mm-파의 좋은 응용시스템이라고 할 수 있다.

분해능력이 좋은 mm-파의 레이더 기술을 이용하여 지형관측, 교통량관측등이 용이하고, 특히 안개, 구름등이 있을시 광파시스템보다 우월하다.

6.7.4 방 송

중파 및 단파에 의한 라디오 방송, VHF대의 FM방

송, VHF와 UHF대를 이용한 지상 TV시대에서 세계는 위성방송시대에 들어섰다. 또한 기술의 발전과 정보시대로의 진입에 따라 데이터 등의 새로운 정보를 부가하는 뉴미디어방송, 다채널의 고선명 HDTV 방송이 도입되고 있어 방송에서 광대역이 필요하게 되었다. 현재 방송 주파수대의 12 GHz대의 위성방송은 고도 정보사회에서 요구되는 다양한 대량의 정보를 고속으로 서비스하는 것을 지향한 통합 디지털 방송(ISDB: Integrated Service Digital Broadcasting)을 지원하기에는 역부족으로 22 GHz 또는 그 이상의 mm-파 주파대를 필요하고 있다. 즉, 주파수 자원의 안정적인 공급을 위해 일본에서는 42 GHz 또는 84 GHz가 할당되어 있다. mm-파 대역에서는 초소형의 방송장비가 제작이 가능하므로 프로그램 취재, 중계시스템 지역방송, 쌍방향 기능을 부가한 국소적인 로컬방송등이 예측되고 있다. 프로그램 중계와 스튜디오 내에서 가진 화상전송장치에 mm-파가 많이 이용될 것으로 보인다. mm-파의 직접방송의 예로 고도 200Km 정도에서 무인 항공기를 채류시켜 이동채용 방송을 생각할 수 있다. 이렇게 될 경우 매우 협각(10° 이내)으로 서울지역 방송이 가능하게 된다. 건물밀집지역에서도 고양각의 빔이 내려오므로 큰 문제없이 도심지역에 방송서비스가 가능하다. 전파손실이 위성방송에 비해 대폭으로 경감되므로 비교적 소전력으로 mm-파(42GHz)방송을 할 수 있을 것이다.

6.7.5 Radiometer

Radiometer(Sensor)는 목표하는 물체와 그 부근지역을 스캐닝 하면서 안테나로 물체로부터 방사되는 열을 감지하는 수신기이다. 이 수신기는 낮은 입력잡음특성과 높은 이득이 요구된다. mm-파영역에서 최분이동은 "0"의 방출율(Emissivity)을 갖지만 배경지역에서는 "1"의 방출율의 특성을 가지고 있어 물체에서 나오는 열과 배경지역에서 방출되는 열과의 차이를 검출하므로 원하는 물체를 식별할 수 있다. 하늘온도(Sky Temperature)는 주파수, 기후, 또는 스캐닝 안테나의 방향각도에 민감하게 좌우된다. 말하자면 대기의 전파 경로에 따라 달라지는 것은 대기상공에 Radiometer가 위치해 있을 경우 수직향이 비스듬히 향한 정도보다 짧은 경로를 가지고 있기 때문이다. 물체에서 방사되는 온도는 주위배경에서 방사되는 온도와 실제로 혼신을 일으키고 있어 협각의 안테나 빔을 사용하므로 분해도를 증가시키고, 목표물과 정확하게 비교 검출될 수 있도록 하므로 혼신을 최소화한

로 줄여야 한다. 이런 의미에서 선진국에서는 Radiometer분야에서도 mm-파를 60년대부터 채용하여 천문관측에 이용하였다. 이러한 천문관측용으로 뿐만 아니라 상업적으로 지상의 자동차 또는 해상의 기선 등 물체를 감지하는 수동적 Sensor(안테나)로 잡음 온도(Noise Temperature)검출하는 데에서도 mm-파가 이용되고 있다. 최근 1991년에 대기관측 연구용위성(Atmospheric Research Satellite: ARS)용으로 MLS(Microwave Limb Sounder)가 발사되어 산소의 영향(63 GHz), 수증기의 영향(183 GHz), 오존의 영향(206 GHz), Chlorine Monoxide의 영향(204 GHz) 등의 분자들로부터의 열방사 특성을 측정하였다. 1992년 Space Shuttle에 의해 발사된 MAS(Millimeter Wave Atmospheric Sounder)는 mm-파 Radiometer를 이용하여 184 GHz에서 오존에 의해 방사되는 열, 183 GHz에서 수증기, 204 GHz에서 Chlorine Monoxide, 60GHz에서 산소에 의해 방사되는 열을 측정하고 있다. 이 측정으로부터 대기의 중간층에 위에서 열기한 가스들이 집중되어 있다는 사실을 발견하였다.

최근에는 H₂S(Hydrogen Sulfide)의 가스를 검출하기 위해 두개의 mm-파 주파수를 이용하여 Jupiter를 관찰하고있다. 강한 mm-파대의 즉, 168.8 GHz, 216.7 GHz와 300.5 GHz 주파수의 회전하는 H₂S선이 있다는 것을 관측하였다. 바다 표면에 원유의 누출공해가 mm-파 Sensor에 의해 잘 검출되었다. 94GHz에서 동작하는 mm-파의 영상 Radiometer가 Contraband검출에 이용되었다. 왜냐하면 외부 피막이 mm-파 에너지에 대해 불투명기 때문이다. 이 Radiometer는 금속 또는 플라스틱 폭약 또는 다른 형태로 숨긴 물건을 찾아낼 수 있는 능력이 있다.

6.7.6 기 타

질문기에서 송신되는 mm-파 에너지를 전원으로 해서 동작하는 ID카드(응답기)로 고속도로의 Toll Gate를 통과할 때 자동적으로 ID카드에 내장된 데이터(자동차 번호, 주민등록 번호, 은행계좌 번호 등)를 ID카드(응답기)에서 질문기로 발사되므로 ID카드 소지자의 은행계좌에서 일정한 금액이 자동인출되게 하는 설비에 mm-파의 큰 대기 전파손실 특성(주위에 혼신을 줄 영향이 적게 되므로)을 이용한다. mm-파를 이용하므로 Toll Gate에 많은 수의 차량이 통과해도 개별식별이 가능하다.

위와 비슷한 방법으로 안전이 요구되는 사무실에 들어갈 때 잠금장치(열쇠)와 ID카드는 위의 질문기

와 응답기 역할을 할 수 있다. 지문 또는 얼굴의 특성의 데이터를 대조시키는 방법등이 이용될 수 있다.

또한 고속도로 상의 여러장소에 질문기를 위치시키고 차량 옆면에 응답기를 부착하면 자동차 고속도로상 어디에 찾고자 하는 자동차의 위치를 알 수 있는 시스템에도 mm-파의 응용이 가능하다. 또한 독일에서 개발되고 있는 도로상의 상황을 알려주는 도로정보시스템(AVES) 등이 mm-파를 이용하고 있다.

100m 경주사 선수마다 초소형의 ID카드를 부착시키므로 여러 명이 결승점에 거의 같이 들어올 때 순서를 식별할 수 있는 시스템에도 mm-파의 이용이 가능하다.

이외에도 여러 종류의 측정 시스템은 mm-파 대역의 주파수원을 개발하기 위해 필연적인 응용분야 중의 하나이다. 예를 들면 회로 및 소자개발을 위한 Network Analyzer, mm-파대의 전파특성을 파악하기 위한 Spectrum Analyzer, mm-파대의 평면 전송매체에 이용되는 기관의 유전체 특성을 측정하는 시스템 등이 그 예들이다.

결 론

지금까지 미이용주파수 자원인 mm-파 대역의 개발에 필요한 기술을 소자레벨과 시스템레벨로 구분하여 매우 간략하게 설명하였다. 전송매체와 수동소자에 관한 기술에 관해서는 생략하였는데 중요하지 않아서 생략한 것이 아니라 지면관계상 생략하였으므로 원하시는 분은 참고문헌을 찾아 보시기 바란다. 이에 앞서 mm-파대 기술의 역사적 발전 배경과 mm-파의 특징도 간략하게 소개하고, 이러한 특징을 고려한 mm-파의 이용방향을 생각해보았다.

미국을 비롯한 서방선진국에서는 약 50년전 그리고 이웃나라 일본에서는 약 40년전부터 mm-파대의 전파특성연구, 시스템응용에 필요한 소자개발등이 이미 시작되었다. 우리나라에서는 최근 몇년전부터 대전에 있는 표준 연구소의 전문대에서 mm-파의 믹서설계연구가 고작이어서 우리나라실정과 해외의 기술수준은 비교할 수 없다. 선진외국에서도 약 20년전만 해도 10 GHz이상의 주파수대 개발이 목표였지만 각종 무선설비의 이용이 엄청난 속도로 증가되어 약 30 GHz 이하의 주파수대는 포화상태로 돌입하고 있어서 새로운 주파수대의 개발(30GHz 이상의 mm-파대)은 자연적인 추세이다.

20여년전과 비교하면 현재 개발되고있는 40GHz

이상에서의 능동소자들의 성능은 월등히 좋아졌고 급속히 향상되고 있는 실정이다. 다양한 종류의 전송 매체들도 개발되어 각종 수동소자의 설계 제작도 가능하게 되었다. 그렇지만 제작에 고정밀도의 공정이 필요한 관계로 높은 가격으로 인해 수요가 적은 것이 문제이다. 대량생산이 가능하면 가격이 저렴해지므로 mm-파대의 주파수자원 개발경험이 풍부한 우리의 환경에서는 이러한 분야를 우선적인 개발목표로 삼아야 바람직한 것으로 판단된다. 자동차 충돌 방지용 레이다, 도로정보시스템, 무선 ID카드시스템등은 폭발적인 수요를 가져올 것이므로 이러한 분야를 중심으로 주파수자원 개발을 하여야 할 것으로 생각된다.

참 고 문 헌

1. 일본의 Electronics, "되살아나는 Millimeter Wave와 산업응용," 1993년 3월호.
2. Bhartia, P.와 I. J. Ball, "Millimeter Wave Engineering and Application," John Wiley & Sons, 1984.
3. 김인석, "mm-파의 특성과 이용," 한국통신학회, 1994. 3.
4. 김인석, "세계각국의 전파자원 관리 제도연구," 한국통신학회, 1993. 3.
5. Horton, J. B., "A Review of the Panel Discussion on Advances in Millimeter-Wave Subsystems-1990," IEEE Trans. Microwave Theory and Techniques, Vol.39, No.5, May 1991, pp. 759-767.
6. Meinel, H. H., "Millimeter-Wave Technology Advances Since 1985 and Future Trends," IEEE Trans. Microwave Theory and Techniques, Vol.39, No.5, May 1991, pp. 759-767.
7. Kirazume, S.,와 H. Kondo, "Advances in Millimeter-Wave Subsystems in Japan," IEEE Trans. Microwave Theory and Techniques, Vol.39, No.5, May 1991, pp. 705-781.
8. Martin, C., et al, "Highly Producibile Monolithic Q-Band MESFET VCO," IEEE 1992 Microwave and Millimeter Wave Monolithic Circuits Symposium, New Mexico, June 1992.
9. Schlechtweg, M., et al, "Design and Characterization of High Performance 60GHz Pseudomorphic MOSFET LNAs in CPW Technology Based on Accurate S Parameter and Noise Models," IEEE 1992 Microwave and Millimeter-Wave Monolithic Circuits Symposium, New Mexico, June 1992.
10. Lesurf, J. C. G., "Millimeter-Wave Optics, Devices and Systems," IOP Publishing Ltd. 1990.
11. Alderstein, M. G.와 D. Masse, "Millimeter-Wave Power Source, An Important Role for GaAs IMPATT Diodes," Electronic Progress-Millimeter-Wave Technology, Raytheon Co., Vol.XXVII, No.1, 1986.
12. Ali, F., I. Bahn, A. Gupta, "Microwave and Millimeter-Wave Heterostructure Transistors and Their Applications," Artech House, 1989.
13. Button, K., "Topics in Millimeter Wave Technology," Vol.1, Academic Press, Inc., 1988.
14. Bhartia, P., K. V. S. Tomas, "Millimeter-Wave Microstrip and Printed Circuit Antennas," Artech House, 1991.
15. 일본 RCR, "미리파 이용 심포지움," 1988. 10 (소화 63년)
16. 일본 우정성 전파연구소 전파부, "40GHz의 전파이용의 연구에 관하여(1)," 소화 53년(1978), 1.
17. 일본 우정성 전파연구소 전파부, "40GHz의 전파이용의 연구에 관하여(2)," 소화 56년(1981), 1.
18. 일본 우정성 전파연구소 전파부, "40GHz의 전파이용의 연구에 관하여(3)," 소화 61년(1986), 1.
19. 降矢勝義, "미리파 이용의 현상 '위성통신 장치의 미리파 이용에 관하여'," 동해여객 철도주식회사.
20. Kozakoff, D. J. "Overview of System Engineering Methods and Objectives," SPIE Vol.1874, Infrared and Millimeter-Wave Engineering(1993).



김 인 석

-
- 경희대학교, 전파공학과, 공학사
 - 화란, PITTC, 고주파통신 기기설계
 - 캐나다, Univ. of Ottawa, 극초단파공학, M.A.Sc.
 - 캐나다, Univ. of Ottawa, 전자파 공학, Ph.D.
 - 한국방송공사, 기술 사원
 - 캐나다, Com Dev(Satellite System), Technical Staff
 - General Instrument(Satellite System), Senior Engineer
 - Canadian Space Agency(David Florida Lab.), Research Scientist
 - 한국이동통신(주), 기술개발 1부장
 - 현 경희대학교, 공과대학 전파공학과, 조교수
 - 현 한국통신학회, 통신회로 및 부품연구회 위원장