

# 20 GHz대 1 Watt 고출력증폭 MMIC의 설계 및 제작

## A 20 GHz Band 1 Watt MMIC Power Amplifier

임종식\* · 김종욱\*\* · 강성춘\*\*\* · 남상욱\*

Jong-Sik Lim\* · Jong-Wook Kim\*\* · Sung-Choon Kang\*\*\* · Sang-Wook Nam\*

### 요 약

20 GHz대 2단 1 watt 고출력증폭기가 MMIC 기술로 설계, 제작되었다. 0.15  $\mu\text{m}$  게이트를 구현하는 pHEMT 기술이 MMIC 고출력증폭기 제작에 사용되었는데, 단일 pHEMT 소자는 크기는 400  $\mu\text{m}$ 이며 출력단 소자의 합은 3200 m이다. HEMT 소자의 소오스에 연결한 궤환 회로와 바이어스 회로, 그리고 선로상의 안정화 회로를 이용하여 전대역에서 안정하게 동작하도록 설계하였다. 레인지 결합기로 각 단을 분리하여 독립적으로 설계하였으며, 이로 인하여 우수한 입출력 반사계수를 얻었다. 설계를 간단하게 시작하기 위하여 파운더리 라이브러리에서 제공된 비선형 등가회로로부터 선형 S-파라미터를 구하고, 이로부터 입,출력측 등가회로를 추출하여 초기 설계에 이용하였다. 제작된 1 watt MMIC 고출력증폭기는 17~25 GHz 대역에서 15 dB 이상의 선형이득, -20 dB 이하의 반사계수, 그리고 31 dBm의 출력전력 특성을 나타내었는데, 설계시 예측된 성능과 매우 잘 일치한다.

### Abstract

A 2-stage 1 watt MMIC(Monolithic Microwave Integrated Circuits) HPA(High Power Amplifiers) at 20 GHz band has been designed and fabricated. The 0.15  $\mu\text{m}$  with the width of 400  $\mu\text{m}$  for single device pHEMT technology was used for the fabrication of this MMIC HPA. Due to the series feedback technique from source to ground, bias circuits and stabilization circuits on the main microstrip line, the stability factors(Ks) are more than one at full frequency. The independent operation for each stage and excellent S11, S22 less than -20 dB have been obtained by using lange couplers. For beginning the easy design, linear S-parameters have been extracted from the nonlinear equivalent circuit in foundry library, and equivalent circuits of devices at in/output ports were calculated from this S-parameters. The measured performances, which are in well agreement with the predicted ones, showed the MMIC HPA in this paper has the minimum 15 dB of linear gain, -20 dB of reflection coefficients and 31 dBm of output power over 17~25 GHz.

\* 서울대학교 전기공학부 전파공학연구소(Applied Electromagnetics Lab., School of E.E., Seoul National University)

\*\* 현대전자(Hyundai Electronics Industries Co., Ltd.)

\*\*\* 한국전자통신연구원(Electronics and Telecommunications Research Institute)

· 논문 번호 : 990318-034

· 수정완료일자 : 1999년 8월 27일

## I. 서 론

전송속도와 용량의 확장을 위하여 보다 높은 초고주파 대역에서의 통신시스템에 대한 필요성이 계속 제기되고 있다. 위성중계기 분야에서도 최근 들어서 세계적으로 Ka-대역에 대한 기술개발이 매우 활발히 전개되고 있다. 특히 다수의 이동통신용 저궤도 위성들이 계획되거나 추진되고 있는데, 이들 시스템에도 위성과 관문국(gateway) 또는 위성과 위성간의 링크에 Ka-대역 주파수가 채택되고 있다<sup>[1]-[4]</sup>.

위성중계기 송신부의 고출력증폭기(High Power Amplifiers)에는 전통적으로 높은 신뢰도와 기술적 경험이 검증된 TWTA(Traveling Wave Tube Amplifiers)가 주로 사용되었다. TWTA는 충분한 크기의 고출력을 내어줄 수 있다는 장점이 있어서 그동안 위성중계기 송신부 고출력증폭기로 많이 사용되었다.

그러나 위성중계기에 탑재되는 부품으로서의 TWTA는 질량이 매우 무겁고 선형성이 나쁘다는 단점을 지니고 있다. 위성중계기의 질량은 곧 발사비용을 좌우하는 매우 중요한 요소인데, TWTA는 자체의 질량뿐만 아니라 이를 동작시키기 위한 전원회로(EPC, Electronic Power Conditioner)의 질량이 매우 크다.

두번째의 특징적인 단점은 선형성이 좋지 않아서 출력포화(Output Power Saturation) 상태에서  $C/I_{3rd}$ 비가 나빠져서 통신품질을 떨어뜨린다는 것이다. 이를 개선하기 위해서 일반적으로 TWTA를 사용할 때는 출력포화 상태를 일으키는 입력전력보다 몇 dB씩 낮은 입력(Input Back-Off)을 인가하여 선형 증폭영역에서 동작하도록 한다. 그러나 입력전력을 포화입력보다 back-off시켜서 동작시키면 포화영역에서보다  $C/I_{3rd}$ 비가 개선된 결과를 보여줄지는 모르지만, TWTA가 충분한 전력증폭을 하지 않은 상태에서 동작하게 된다. 이 문제를 해결하고 TWTA

의 출력전력을 충분히 확보하기 위한 방안으로 선형화기(Linearizer)를 사용하는 방법이 있으나, 결과적으로 이것은 위성중계기에 탑재되는 부품의 수를 늘려서 중계기 질량과 요구되는 DC 전원의 용량증가를 가져온다.

GaAs를 중심으로 한 III-V 화합물 반도체 소자기술과 회로설계기술의 눈부신 발전은 TWTA의 단점을 충분히 극복하면서도 위성중계기의 송신부 고출력증폭기의 역할을 훌륭히 수행할 수 있는 반도체형 고출력증폭기(SSPA, Solid State Power Amplifiers)의 개발이 가능하도록 하였다. 특히 Ku-band 이하 주파수에서 TWTA를 대체할 수 있는 위성중계기용 SSPA 개발에 많은 발전이 있었는데, 이 주파수 대역에서 패키지화한 단일 소자(Packaged Discrete Device)가 개발되어 사용된 지 오래되었다.

그러나 패키지화한 단일 증폭소자의 사용주파수 대역이 기생소자 성분(Parasitic Elements)으로 인하여 20GHz대를 넘기가 어렵다는 문제가 심각하다. 이는 고출력증폭기용 증폭소자뿐만 아니라 모든 종류의 능동소자가 현실적으로 직면하는 문제이다. 또한 패키지화한 단일소자를 사용할 경우 HMIC(Hybrid Microwave Integrated Circuits)기술을 이용한 증폭소자의 주변회로가 상대적으로 커서 Ka-대역 위성중계기에 탑재되는 부품의 소형화 및 경량화에도 별로 도움이 안된다는 제한점이 있다.

위에서 설명한 TWTA의 문제점과, 20GHz대 이상에서 패키지화한 단일소자를 이용한 SSPA의 문제점을 모두 극복하면서 소형화, 경량화, 고신뢰도, 양산성(量産性), 저비용을 모두 실현할 수 있는 방법이 바로 MMIC(Monolithic Microwave Integrated Circuits) 기술을 이용한 SSPA 개발이다. 최근에 세계적으로 위성중계기의 주파수가 Ka-대역으로 급속히 옮겨가고 있는데, 아직까지는 효율 개선 문제 등이 남아 있으나, 소형화, 경량화를 만족하면서 고출력증폭을 할 수 있는 MMIC SSPA기술이 급속히 개발되고 있다<sup>[5]-[6]</sup>.

본 논문에서는 위와 같은 배경을 바탕으로 Ka-대

역 위성중계기용 20 GHz대 1 watt MMIC 고출력증폭기(High Power Amplifiers, 이하 HPA)를 설계하고, 또 실제로 제작하여 그 성능을 측정하였다. 본고에서 개발된 MMIC HPA는 2단 balanced 형태로 100  $\mu\text{m}$  GaAs 웨이퍼에서 제작되었으며, 웨이퍼상 측정과 픽스춰상 측정을 모두 거쳐 그 성능이 검증되어 SSPA 제작에 사용될 수 있음이 확인되었다.

## II. MMIC 고출력증폭기의 설계

본 논문에 언급된 20 GHz대 1 watt MMIC HPA는 Ka-대역 위성중계기용 송신부 고출력증폭부를 MMIC형 SSPA로 구현하기 위하여 제작되었다. 현실적으로 20 GHz 이상의 초고주파에서 수 watt급 이상의 출력을 얻을 수 있는 단일 MMIC 증폭기 칩 구현은 어렵다. 증폭소자의 출력전력 레벨(Output Power Level)과 전력이득(Power Gain)의 크기에 있어서의 제한, 그리고 열문제 때문이다. 특히 열문제에 있어서는, MMIC의 큰 장점인 소형화된 회로가 오히려 발생하는 열을 효과적으로 방열하는 데는 단점으로 작용한다는 문제가 있다. 더구나 20 GHz 대 이상의 고주파에서 MMIC 회로의 열효율이 그렇게 높지 않다는 점을 고려하면 열문제는 더욱 심각해진다. 따라서 Ka-대역 위성중계기용 MMIC SSPA를 구현하기 위해서, 약 1watt 내외의 MMIC HPA를 개발하고 이것을 합성시켜 요구되는 출력을 얻는 기술이 많이 사용된다. MMIC HPA는 그 자체가 하나의 완전한 고출력증폭기의 형태를 취하고 있는데, MMIC HPA 하나가 갖는 출력전력 레벨의 크기가 SSPA에 요구되는 출력 레벨만큼 크지 못하므로, 이를 여러개 배열하고 전력결합(Power Combining)하여 요구되는 출력 전력을 얻는 것이 좋다<sup>[7]</sup>.

MMIC HPA를 설계하기 위해서는 우선 MMIC 고출력 증폭소자의 특성이 파악되어야 한다. 단일 증폭소자의 성능(RF출력 전력의 크기)과 특성의 우수성 정도(선형, 비선형 등가회로의 정확성과 신뢰성)는 MMIC HPA 설계를 위하여 매우 중요한 요

건이다. 고출력증폭기용 증폭소자로는 저주파 대역에서 GaAs FET가 많이 사용되었지만, 최근에는 반도체 소자기술의 발전으로 마이크로파 대역에서 저잡음특성이 우수한 HEMT가 고출력증폭소자로도 널리 사용된다. HEMT는 GaAs FET와 약간 다른 이종접합(Hetero Junction) 구조를 가지고 있으며, 이로 인하여 채널내 전자이동도(Electron Mobility)가 높아져서 동작주파수가 높고 잡음지수 특성이 좋다<sup>[8]</sup>. 그런데 소오스(Source)를 최단거리로 Via Hole을 통하여 접지시켜 주는 공정기술이 확보됨으로써 열문제 해결을 한결 쉽게 해주어 저잡음증폭기 뿐만 아니라 고출력증폭기용으로도 많이 사용되고 있다. 실제로 동일한 반도체 제조공정(Process)으로 동일한 웨이퍼(wafer)상에 MMIC 저잡음증폭기와 고출력증폭기가 동시에 구현되기도 한다.

### 2-1 증폭기의 구성

그림 1은 본 논문의 20 GHz대 2단 1 watt MMIC HPA의 스케매틱 다이어그램(Schematic Diagram)

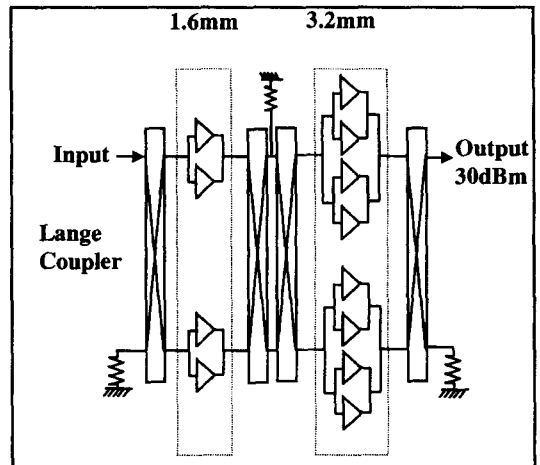


그림 1. 1 watt MMIC High Power Amplifier(HPA)의 구성

Fig. 1. Configuration of 1 watt MMIC High Power Amplifier(HPA).

이다. 1 watt MMIC HPA 설계에 사용된 단일 HEMT 소자의 Gate의 크기는 8-fingers $\times$ 0.15 $\mu$ m $\times$ 50 $\mu$ m이다. 제 1단은 평형 형태(Balanced Type)로 1600 $\mu$ m(1.6 mm) 크기의 Gate로 이루어져 있다. 제 2단도 역시 평형 형태인데, 1 watt의 출력을 얻기 위하여 8개의 HEMT 소자(3200 $\mu$ m)의 각각의 출력전력을 합성한다. 제 1단은 제 2단을 구동하기에 충분한 전력을 가질 수 있도록 게이트의 크기가 결정되어야 하는데, 이를 위하여 1:2의 비율로 하였다.

## 2-2 라인지 커플러(Lange Coupler)

입, 출력 라인지 커플러의 가장 큰 역할은 입, 출력 정합의 개선 및 전력분배/합성이다. 평형 증폭기 설계시 라인지 커플러를 사용하면 설계 단계에서 최소한 20dB의 입,출력 반사계수를 보장할 수 있다. 라인지 커플러에 의하여 개선된 우수한 입출력 정합 특성은 증폭기의 안정도 향상에도 매우 유리한 역할을 한다. 라인지 커플러는 그 자체가 전력분배기/합성기의 역할을 가지고 있으므로 평형 증폭기에의 입, 출력단에 위치하여 입력단의 전력 분배 및 출력단의 고출력 합성 역할을 한다.

그림 1과 같은 구성으로 MMIC HPA를 설계하는데 있어서 라인지 커플러의 큰 역할중 다른 하나는 단간 격리 및 정합회로 설계를 용이하게 해준다는 것이다. 그림 1에서 MMIC HPA의 각 단의 입출력 정합회로는 정합과 동시에 전력 분배/합성이 이루어질 수 있도록 설계되어야 한다. 이것은 단일 HEMT 소자의 입, 출력 정합회로만을 설계할 경우보다 훨씬 더 어려운 설계과정을 필요로 한다. 전력 분배/합성과 정합을 동시에 얻는 설계에서는, 1단과 2단 사이에 직접적인 단간정합 회로(Interstage Matching Network)를 설계하는 것보다, 그림 1과 같이 1단과 2단 사이에 라인지 커플러를 사용하여 각 단을 완전히 격리시켜 줄 수 있는 구조를 사용하는 것이 유리하다. 단간정합 회로만으로는 회로 자체가 갖는 반사계수 때문에 단간 격리가 불완전하다. 또한 1단의

출력측에서 2단의 입력측까지 정합과 전력분배/합성을 동시에 얻을 수 있는 단간정합 회로를 설계하기는 매우 어렵다. 이에 비하여 라인지 커플러를 사용하면 단간 격리, 정합, 전력 분배/합성을 동시에 얻을 수 있는 설계가 상대적으로 쉬워진다.

이 때 주의해야 할 것은 라인지 결합기가 90도의 위상차를 가지고 있다는 점이다. 따라서 입력단에서 전력분배시 발생한 위상차를 출력단에서 전력합성시 역으로 보상하기 위하여 각 단자의 위치를 잘 고려하여야 한다. 이를 위해서 라인지 커플러는 개수는 반드시 짝수가 되어야 하며 서로의 위상차가 결과적으로는 동일하도록 짝(Pair)을 이루어야 한다. 그림 1을 보면, 1단과 2단 사이에 두 개의 라인지 커플러가 사용되고 있는데, 각 증폭단의 입,출력 라인지 커플러들이 서로 짝을 이루고 있다.

## 2-3 디바이스 모델(Device Model)

그림 2는 HEMT 소자의 디바이스 정의를 보여주고 있다. 이 그림을 보면 사용된 소자는 두 개의 단위 소자(4F200)와 기생성분(Parasitic Elements)들이 연결되어 있는 것으로 되어 있다. 이렇게 두개의 소자가 하나의 새로운 소자로 정의되기 위해서는 4F200에 대한 정확한 등가모델이 확보가 전제되어야 한다. 본 논문에서는 대표적인 비선형 모델중 하나인 커티스(Curtice) 모델이 비선형 시뮬레이션을 위하여 사용되었다.

선형 등가회로에서는 어느 특정한 바이어스 조건 하에서 등가회로 소자값들이 고정되어 사용되지만, 비선형 등가회로에서는 인가한 바이어스 조건마다 I-V 곡선이 다르게 나타난다. 고출력증폭기 설계를 위하여 HP-EEsof의 비선형 설계 도구인 Libra를 사용하였는데, Libra에서 분석한 HEMT 소자의 I-V 곡선은 그림 3과 같다. 가로축은 드레인에 인가한 바이어스 전압이며 세로축은 전류값이다. 이 그림은 게이트에 인가한 바이어스 전압에 따른 I-V 관계의 변화를 알려준다. 이 곡선에 부하선(Load Line)을

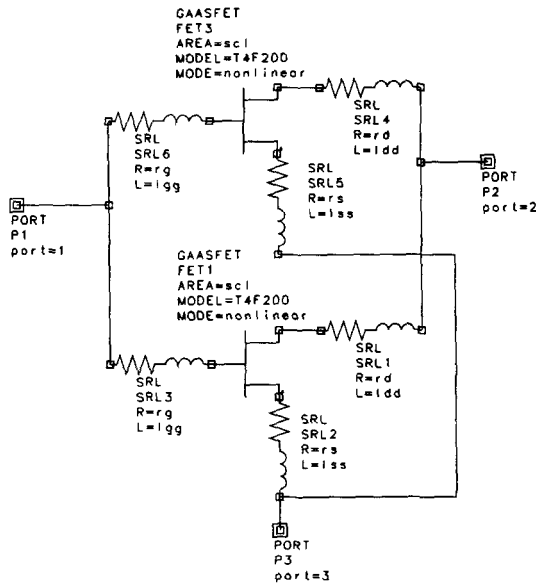


그림 2. HEMT 소자 정의  
Fig. 2. Device definition of HEMT device.

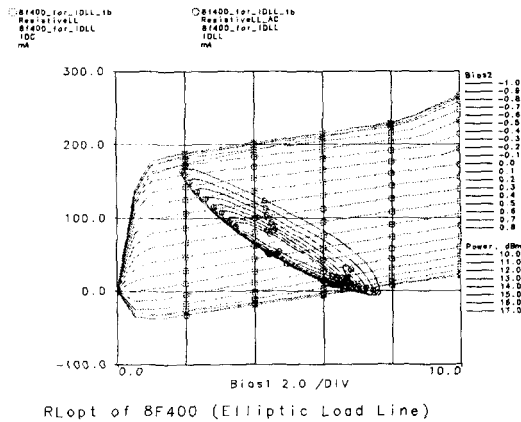


그림 3. HEMT 소자의 I-V 특성 곡선  
Fig. 3. I-V curves of HEMT device.

그리면 MMIC HPA의 동작특성을 예측할 수 있는 중요한 정보와 설계시 최적의 부하저항 값을 알 수 있다.

2-4 MMIC HPA의 설계

본 논문에서는 1 watt MMIC HPA를 설계하는데 앞서서 우선적으로 소신호 선형 S-파라미터를 먼저 구하였다<sup>[7]</sup>. 선형 S-파라미터는 증폭소자의 이득과 안정도 등 선형특성을 파악하는데 필수적이다. MMIC HPA도 일종의 증폭기이므로 선형동작 특성이 파악되어야 한다. 선형 S-파라미터는 MMIC 파운더리 라이브러리(Foundry Library)내에서 제공되는 비선형 등가회로를 이용하여 선형 시뮬레이션을 행함으로써 얻을 수 있다. 본 논문에서는 이 과정에서 낮은 주파수(본 논문에서는 1 GHz)부터 동작대역의 약 두 배의 주파수 범위(40 GHz)까지 S-파라미터를 구하였다.

위에서 얻은 소신호 S-파라미터를 이용하여 먼저 안정도 분석을 해야 한다. MMIC HPA의 초기 설계시 증폭소자는 동작주파수 대역에서 반드시 안정한 영역에 있어야 하는데, MMIC 파운더리에서 제공되는 증폭소자는 대부분 자체 안정도가 1보다 작다. 따라서 이를 개선하여  $K > 1$ 을 얻기 위해서는 (1) 게이트에 저항을 삽입, (2) 드레인에 저항을 삽입, (3) 소오스에 저항 또는 직렬 궤환(Series Feedback)을 삽입, (4) 부궤환(Negative Feedback) 회로를 사용하는 방법 등이 사용된다.

위의 방법들 중에서 (1), (2), (4)는 증폭소자의 이득을 크게 떨어뜨리는 단점이 있어서, 본 논문에서는 (3)의 방법을 사용하였다. (3)의 방법을 이용하면, 약간의 이득 손실이 있으나 그 정도가 미약하며, 동시에 증폭소자의 안정도를 크게 높일 수 있어서 동작주파수에서 우선적으로 증폭소자의 안정도를 1보다 크게 하면서 다음 설계 단계로 넘어갈 수 있다. 이 때 소오스에 직렬 궤환을 연결하였으므로 새로운 선형 S-파라미터를 다시 추출해야 한다.

동작대역에서 안정화시킨 증폭소자의 소신호 S-파라미터로부터 이제 정합회로 설계를 시작할 수 있다. 본 논문에서는 설계의 시작을 용이하게 하기 위하여 S11, S22로부터 입력측은 직렬 RLC로, 출력측은 병렬 RLC 회로로 이루어진 1-port 등가회로를 추출하였다<sup>[7],[10]</sup>. 1-port 등가회로는 증폭소자의 각

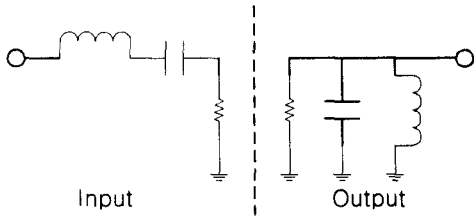


그림 4. HEMT 소자의 입/출력 1-port 등가 모델  
Fig. 4. 1-port equivalent model of HEMT device.

단자에서 바라본 임피던스(S11, S22)의 등가 회로로써, HPA 설계의 시작을 단순화하기 위한 역할을 한다. 그림 4는 중심주파수(21 GHz)에서 HEMT 소자의 1-port 등가회로를 보여주고 있다.

이제 1-port 등가회로로부터 입,출력 50-Ω 단자까지 정합회로를 설계한다. 여기에는 일반적인 정합회로 설계방법이나 또는 스미쓰 선도(Smith Chart) 상에서의 설계 방법 등이 사용된다. 여기에서의 결과는 단순하게 설계된 1단 증폭기이다. 이 부분이 완성되면 이제 본격적으로 입, 출력 정합회로를 설계해야 한다. 1 watt MMIC HPA는 여러 개의 증폭단을 전력 결합하여 원하는 출력 전력을 얻게 되므로, 정합회로는 전력분배/결합이 고려되면서 설계되어야 한다. 본 논문에서는 이 과정에서부터 최종적인 스케매틱 설계가 완료되는 과정을 편의상 최적화 과정이라 언급하기로 한다. 여기에서 '최적화'는 설계 툴(tool)의 기능중 하나인 최적화(Optimization)만을 의미하는 것은 아니다.

최적화된 회로는 설계 과정에서 매우 중요한 의미를 갖는다. 최적화를 거친 회로는 자체 성능을 예측할 수 있는 근거가 되는데, 최적화된 회로를 시뮬레이션 했을 때 원하는 성능(이득, 출력전력, VSWR 등)을 충분히 예측할 수 있다. 또한 이 회로로부터 정합과 전력 분배/합성이 동시에 가능한 정합회로의 레이아웃(Layout)을 구체적으로 설계할 수 있다.

### III. MMIC 고출력증폭기의 설계 성능

그림 5는 1 watt 2단 MMIC HPA의 예측된 선형 동작 성능을 보여 주고 있다. 설계된 MMIC HPA는 19~23 GHz에서 약 15 dB 이상의 선형이득과 -20 dB 이하의 입출력 반사계수를 가진다. 이 MMIC 회로에 대한 전력 특성 시뮬레이션의 결과가 그림 6에 나타나 있는데, 출력 전력이 30 dBm 이상임을 보여 주고 있다.

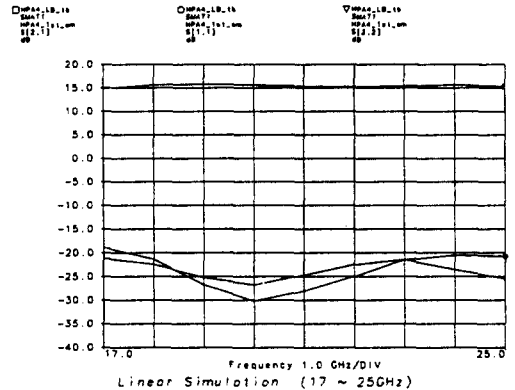


그림 5. 설계된 MMIC HPA의 선형 이득 및 반사계수 특성  
Fig. 5. Simulated linear gain and reflection coefficients of MMIC HPA.

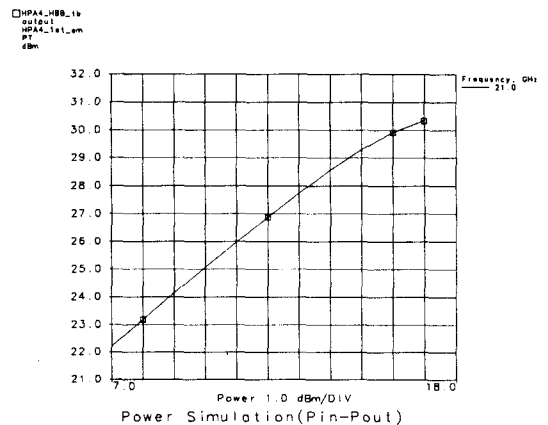


그림 6. MMIC HPA의 출력 전력의 설계 특성  
Fig. 6. Simulated output power of MMIC HPA.

#### IV. MMIC 고출력증폭기의 제작 및 측정

그림 7은 반도체 제조 공정을 거쳐 제작된 1watt MMIC HPA Chip 사진이다. 제작된 MMIC HPA는  $5600\mu\text{m} \times 3150\mu\text{m}$  ( $17.64\text{mm}^2$ )의 크기를 갖는다. Drain 바이어스 선로는 많은 전류가 흐르므로 선폭을 충분히 넓게 해주어야 한다. 이를 위해서 선폭당 전류 허용치를 먼저 고려하여야 하는데, 여기에서는  $8\text{mA}/\mu\text{m}$ 의 허용치를 고려하여  $70\mu\text{m}$ 으로 설계하였다. 바이어스 회로의 박막 저항도 많은 전류에 손상을 입지 않아야 하므로 저항의 폭이 넓어야 한다. 여기에서는 4개의 저항을 병렬로 구성하여 좁은 면적에서도 저항의 폭은 충분히 확보되도록 하였다. HEMT 소자의 소오스는 매우 짧은 선로를 따라서 원통형 홀 집지(Via Hole Ground)에 연결되어 있으며, 두 HEMT 사이에는 하나의 원통형 홀이 공통으로 연결되어 있다.

제작된 MMIC HPA의 성능을 웨이퍼상 측정(on-wafer measurement)을 통하여 확인하였다. 웨이퍼 상태에서는 방열판(heat sink)이 없으므로 CW 입력으로 측정할 경우 회로가 손상을 입을 수 있다. 따라서 웨이퍼상 측정에서는 CW입력보다는 일정한 주기동안만 입력신호를 가하는 펄스입력을 사용하는 것이 열발생을 억제하면서 안전하게 측정할 수 있는 방법이다. 본 논문의 회로를 측정할 때에는 이 방법을 채택하였는데, 주기가  $400\mu\text{sec}$ 이고 펄스폭이  $20\mu\text{sec}$ 이다.

그림 8은 실제로 구현한 MMIC HPA의 측정된 선형 동작 특성을 보여주고 있다. 제작된 MMIC HPA는 17~25 GHz에서 15dB 이상의 선형이득과, -20 dB 이하의 입출력 반사계수를 가지고 있는 것으로 측정되었다. 또한 그림 9는 측정된 Pin-Pout 특성을 보여주고 있는데, 21 GHz에서 31 dBm 이상의 포화출력 전력을 갖는 것으로 측정되었다. 측정 결과들을 예측결과들과 비교할 때 매우 잘 일치하고 있음을 알 수 있다.

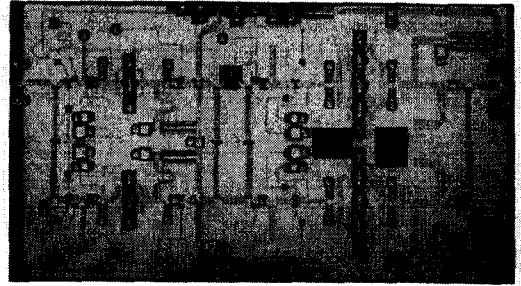


그림 7. 구현된 1 watt MMIC HPA의 칩 사진  
Fig. 7. Chip photo of 1 watt MMIC HPA.

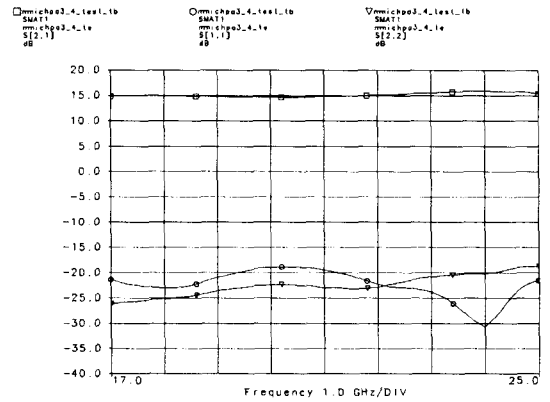


그림 8. 측정된 MMIC HPA의 선형 이득 및 반사계수 특성  
Fig. 8. Measured linear gain and reflection coefficients of MMIC HPA.

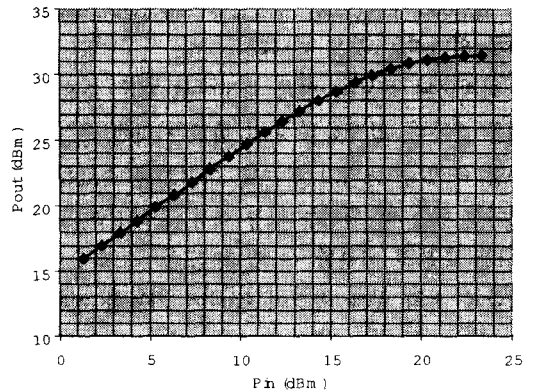


그림 9. 1 watt MMIC HPA의 Pin-Pout 특성  
Fig. 9. Pin-Pout characteristics of 1 watt MMIC HPA.

## V. 맺음 말

본 논문에서는 20 GHz대 2단 1 watt MMIC HPA의 설계와 제작 및 측정 결과에 대하여 살펴보았다. 본고에서는 8 fingers $\times$ 0.15 $\mu$ m $\times$ 50 $\mu$ m 크기의 고출력 HEMT소자를 이용하여 MMIC HPA를 설계하였다. 증폭소자의 소오스에 직렬 케환 회로를 연결하여 소자 자체의 안정한 동작을 먼저 확보하였고, 이를 토대로 선형 S-파라미터를 추출하여 정합 회로 설계의 시작이라 할 수 있는 1-port 등가회로를 얻었다. 입출력 정합과 전력분배/결합이 동시에 고려된 정합회로를 설계하였고, 적절한 바이어스 회로를 설계하여 증폭기의 안정화를 도모하였다.

제작된 1 watt MMIC HPA는 17~25 GHz 대역에서 최소 15 dB의 선형 이득과 -20 dB의 반사 계수, 그리고 31 dBm 이상의 출력 전력을 갖는 것으로 측정되었다. 본 논문에서 제작된 1 watt MMIC HPA는 동일한 출력레벨을 가진 기존의 HMIC형 회로보다 크기나 질량에 있어서 매우 작아서, 이 칩을 이용하여 설계될 Ka-대역 위성중계기용 송신부 SSPA도 크기와 질량을 크게 줄일 수 있을 것으로 기대된다. 또한 중심주파수를 포함하여 최소한 8GHz 이상의 동작대역에서 우수한 특성을 가지고 있으므로, 이 주파수 대역내의 어떠한 통신시스템에도 직접적인 응용이 가능하다.

본 논문에서는 1 watt의 출력전력을 얻었으나, MMIC HPA의 출력전력의 크기는 고출력 소자의 전력 특성에 좌우되므로, 보다 높은 출력을 낼 수 있는 소자가 개발되고 이것의 선형, 비선형 등가회로가 확보된다면, 단일 MMIC 칩에서 더 높은 출력전력을 기대할 수 있을 것이다.

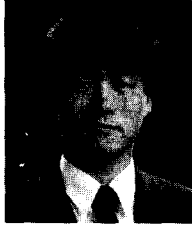
## 참고 문헌

[1] Laural Qualcomm Satellite Service, "Description of Globalstar System", June, 1994.

- [2] Francis Choi, "Inmarsat-P SERVICE VIA AN INTERMEDIATE CIRCULAR ORBIT (ICO) SATELLITE SYSTEM", *Proc. of APSCC '94 Workshop*, pp. 151-169, 1994
- [3] R. J. Leopold, The Iridium Communications Systems, Singapore ICCS/ISITA '92.
- [4] Satellite NEWS, Aug. 9 1993, May 30 1994, Aug. 25 1994, etc.
- [5] M. Funada, et al., "Ka-band 20W-class SSPA utilizing MMIC technology for Satellite Communications", *Proc. of 25th EUMC*, pp. 12-15, 1995.
- [6] R. Yarborough, et al. "Performance comparison of 1watt Ka-band MMIC amplifier using pseudomorphic HEMTs and ion-omplanted MESFETs", *1996 IEEE Microwave and Millimeter-wave Monolithic Symposium Digest*, pp. 21-24.
- [7] M. V. Aust, et al., "A Ka-Band HEMT MMIC 1watt Power Amplifier", *1993 IEEE Microwave and Millimeter-wave Monolithic Symposium Digest*, pp. 45-48.
- [8] W. Boulais, et. al. "A High Power Q-Band GaAs Pseudomorphic HEMT Monolithic Amplifier", *1994 IEEE MTT-S*, pp. 649-652, 1994.
- [9] Fazal Ali, Aditya Gupta, *HEMTs and HBTs: Devices, Fabrication and Circuits*, 1991, Artech House.
- [10] Tom Apel, "One-Port Impedance Models Prove useful for Broadband RF Power Amplifier Design", *Microwave Systems News*, pp. 633-638, October, 1984.
- [11] 임종식 외, "20GHz대 HEMT MMIC 고출력증폭기 제작", 1998년 한국통신학회 추계종합학술대회, vol. 18, no. 1, pp. 827~830.



임종식

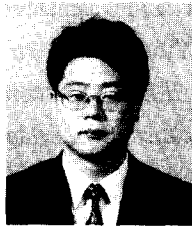


1968년 11월 17일생  
 1991년 2월: 서강대학교 전자공학과(공학사)  
 1993년 2월: 서강대학교 대학원 전자공학과 졸업, 초고주파 전공(공학석사)  
 1993년 2월~1999년 2월: 한국전자통신연구원 위성통신기술연구단 선임연구원  
 1999년 3월~현재: 서울대학교 전기공학부 박사과정 재학중  
 [주 관심분야] 초고주파 회로의 MIC, MMIC 개발, 능동소자 모델링, 위성중계기용 시스템 및 초고주파 부품 개발, 전력분배기/합성기 개발 등

강성춘

1955년 6월 18일생  
 1977년 2월: 서울대학교 전기공학과(공학사)  
 1988년 8월: Ohio 주립대학교 대학원 전자공학과(공학석사)  
 1991년 8월: Ohio 주립대학교 대학원 전자공학과(공학박사)  
 1991년 9월~현재: 한국전자통신연구원 무선방송기술연구소 책임연구원  
 [주 관심분야] 초고주파 능동회로의 MIC, MMIC 개발, 위성중계기용 시스템 및 초고주파 부품 개발, 위성통신시스템 설계 및 분석 등

김종욱



1994년 2월: 광운대학교 전자공학과(공학사)  
 1996년 2월: 광운대학교 대학원 전자공학과(공학석사)  
 1996년 1월~1998년 12월: 현대전자 위성사업단  
 1999년 1월~현재: 현대전자 이동

통신단말기연구소  
 [주 관심분야] 초고주파 Module개발, MMIC, 위성시스템, 이동통신 등

남상욱

1959년 2월 2일생  
 1981년 2월: 서울대학교 전자공학과(공학사)  
 1983년 8월: 한국과학기술원 전기 전자공학과(공학석사)  
 1989년 5월: University of Texas at Austin 전기공학과(공학박사)  
 1990년~현재: 서울대학교 전기공학부 교수  
 [주 관심분야] 전자파 수치 해석, 안테나 및 초고주파 회로 설계 등