전력증폭기용 SiC 기반 GaN TR 소자 제작

Fabrication of GaN Transistor on SiC for Power Amplifier

김상일 · 임병옥 · 최길웅 · 이복형 · 김형주 · 김륜휘* · 임기식* · 이정희* · 이정수** · 이종민**

Sang-Il Kim · Byeong-Ok Lim · Gil-Wong Choi · Bok-Hyung Lee · Hyoung-Joo Kim ·
Ryun-Hwi Kim* · Ki-Sik Im* · Jung-Hee Lee* · Jung-Soo Lee** · Jong-Min Lee**

요 약

본 논문에서는 Si가 도핑된 Modulation-doped AlGaIn/GaN 이중 접합 구조를 가지는 전력증폭기용 MISHFET 소자를 제작하였다. 제작된 GaN TR 소자는 6H-SiC(0001)의 Substrate 위에 성장시켰으며, 180 nm의 gate length를 가진다. 제작된 소자를 측정한 결과, 837 mA/mm의 최대 드레인 전류 특성, 177 mS/mm의 g_m (Transconductance)을 가지며, f_T 는 45.6 GHz, f_{MAX} 는 46.5 GHz로 9.3 GHz에서 1.54 W/mm의 전력 밀도와 40.24 %의 PAE를 가지는 것으로 확인되었다.

Abstract

This letter presents the MISHFET with si-doped AlGaIn/GaN heterostructure for power amplifier. The device grown on 6H-SiC(0001) substrate with a gate length of 180 nm has been fabricated. The fabricated device exhibited maximum drain current density of 837 mA/mm and peak transconductance of 177 mS/mm. A unity current gain cutoff frequency was 45.6 GHz and maximum frequency of oscillation was 46.5 GHz. The reported output power density was 1.54 W/mm and A PAE(Power Added Efficiency) was 40.24 % at 9.3 GHz.

Key words : GaN, MISHFET, MOCVD, Power Amplifier, SiC

I. 서 론

고출력, 고온 안정성, 고효율이 중요한 성능 지표인 전력증폭기의 핵심은 반도체 소자에 있다. 현재까지는 GaAs(Gallium Arsenide), InP의 화합물 반도체가 많이 사용되고 있으나, 물성의 한계로 인하여 새로운 화합물 반도체의 개발 필요성이 증대되고 있으며, 최근 차세대 화합물 반도체 소자로써 GaN(Gallium Nitride)을 기반으로 하는 전자 소자가 각광을 받고 있다. 특히, wide bandgap(3.4 eV), high break-

down fields(3×10^6 V/cm), high saturated electron drift velocity(2.2×10^7 cm/s), 고온안정성(700 °C) 등의 재료적인 특성 때문에 고출력 전력증폭기와 고전력용 전력반도체 응용에 큰 장점을 가진다^{[1],[2]}.

GaN을 이용한 반도체 소자는 이동통신망 기지국의 전력증폭기로 사용될 경우, 기존 Si 기반 LDMOS(Laterally Diffused Metal Oxide Semiconductor) 트랜지스터보다 전력 밀도가 10배 이상 높아 소형화와 경량화를 통해 30 % 이상의 전력 절감이 가능하고, 레이더, 위성 등의 송수신 모듈에 사용할 경우, GaAs

삼성탈레스(Samsung Thales)

*경북대학교 전자공학과(Department of Electronic Engineering, Kyung-Pook National University)

**국방과학연구소(Agency for Defence Development)

· Manuscript received December 26, 2012 ; Revised January 16, 2013 ; Accepted January 22, 2013. (ID No. 20121226-142)

· Corresponding Author : Sang-Il Kim (e-mail : si777.kim@samsung.com)

기반 전력증폭기에 비해 높은 전력 밀도(>8배)와 효율(>20 %) 특성으로 경량화와 전력 절감이 가능하다^[3]. 이러한 장점으로 인해 세계 각국은 GaN 화합물 반도체 기반의 전력소자 개발 프로젝트를 진행 중에 있으며, 미국의 경우, 2014년까지 GaN을 기반으로 하는 고성능 신소재 개발을 목표로 현재까지 전력 밀도 9 W/mm, 전력 부가효율 60 % 이상의 SiC 기반 GaN 전력증폭기를 개발하였다^{[1],[3]}.

최초의 GaN 반도체 재료는 1969년 Maruska와 Tietjen이 HVPE 방법에 의해 결정을 성장하였고, 그 후, 2010년 SiC 기판을 이용한 AlGaIn/GaN HEMT 소자는 gate length 100 nm에서 cutoff frequency $f_t=144$ GHz, $f_{MAX}=137$ GHz, peak extrinsic transconductance $g_m=480$ mS/mm이 보고된 바 있으며, 상용화 되어 있는 AlGaIn/GaN HEMT 소자는 전력 밀도가 4~8 W/mm 정도이다^{[1],[4]}.

국내에서는 X-band용 10 W급 GaN 전력 증폭기 소자와 TriQuint사 GaN 상용 라이브러리를 이용한 10 W급 전력증폭기 MMIC가 구현되어 있지만^[3], SiC 기판 위에 에피를 성장하고 소자를 개발한 경우는 알려진 바 없다.

본 논문에서는 MOCVD(Metal Organic Chemical Vapor Deposition) 장비를 이용하여 2-inch SiC 기판 위에 AlGaIn/GaN 이중 접합 구조를 성장하고, 이를 이용하여 전력증폭기용 AlGaIn/GaN MISHFET(Metal Insulator Semiconductor Heterostructure Field Effect Transistor)을 제작하였다. II장에서 6H-SiC(0001) 기판 위에 GaN TR 소자의 제작 방법과 On-Wafer 상의 측정 결과를 보여주었고, III장에서는 추후 진행 내용과 결론으로 마무리 하였다.

II. Device Fabrication and Results

GaN 화합물 반도체는 동종 기판의 부재로 인해 주로 사파이어(Al_2O_3) 또는 SiC 기판 위에 성장하게 된다. SiC 기판은 사파이어 기판에 비해 GaN 물질과의 격자 상수 차이가 가장 적어 결함이 우수한 GaN 박막을 얻을 수 있는 것으로 보고되고 있으나, 전 세계적으로 몇몇 연구 그룹(Cree, IQE 등)에서만 보유하고 있는 것으로 알려지고 있으며, 국내에는 현재까지 제대로 보고된 바가 없다.

본 논문에서는 6H-SiC(0001) 웨이퍼에 GaN을 성장시켜 TR 소자를 제작하였으며, 이를 위한 첫번째 단계로 MOCVD를 이용하여 HT-AlN layer를 성장시켰다. HT-AlN layer는 기판과 GaN 사이의 버퍼층을 형성하여 GaN 박막이 거의 2차원 평면 형태로 성장되어 결함이 적은 우수한 소자를 얻을 수 있게 해준다^[5].

최적화된 HT-AlN layer의 성장조건을 찾기 위해 두께를 30~180 nm까지 변화시켜가며 그 위에 성장된 박막을 특성을 확인하였다. 이 때 성장 온도는 1,100 °C였으며, 나머지 층들의 성장 온도는 1,080 °C였다. 그림 1은 HT-AlN layer의 두께에 따른 GaN 박막의 변화를 나타내며, 두께가 약 60 nm일 때 우수한 특성을 나타내었다. 이 때의 (002)/(102) 방향의 FWHM(Full Width of Magnitude)는 505/575 arcsec이었으며, 전하이동도는 1,700 cm^2/Vs 였다.

일반적으로 2DEG의 전자 이동도에 영향을 미치는 주요 요인으로는 AlGaIn/GaN 계면 거칠기(Interface roughness)로 알려져 있다. 계면 거칠기는 곧 GaN 박막의 표면 거칠기(surface roughness)를 의미하는 것이므로 전자 이동도를 향상시키고 GaN 박막의 표면 거칠기를 줄이기 위하여, GaN 박막의 두께를 0.7 μm 에서 2.0 μm 두께로 증가시켰다. 이 때의 FWHM은 237/373 arcsec, 전하이동도는 2,000 cm^2/Vs 로 상용화된 IQE사의 기판(전하이동도 2,120 cm^2/Vs)에 버금가는 우수한 특성임을 확인하였다.

그림 1. HT-AlN 두께에 따른 GaN 박막의 변화 그래프(GaN: 0.7 μm)

Fig. 1. The XRD graph of GaN thin film according to the thickness of HT-AlN buffer layer(GaN: 0.7 μm).

그림 2. AlGaIn/GaN 성장 구조
Fig. 2. The AlGaIn/GaN epitaxial structure.

이 후, 17 nm의 AlGaIn layer를 성장시켰다. 이 때, AlGaIn 내에 Si를 도핑하여 modulation-doped AlGaIn/GaN 이중 접합 구조를 형성하였다. 이는 Si가 도핑된 N-type AlGaIn 박막 내에 존재하는 많은 전자들이 2 DEG로 공급되어 전자 농도를 추가적으로 증가시키며 전자 농도가 증가함에 따라 표면 저항이 낮아지면서 TR 소자 제작 시 소스(source)와 드레인(drain) 영역에 형성되는 옴릭 저항(ohmic contact resistance)을 낮춰주는 효과를 얻을 수 있기 때문이다. 하지만 2 DEG 내에 전자 농도가 많아짐에 따라 carrier-carrier scattering이 발생하여 전자 이동도는 오히려 감소하기 때문에 Si 도핑 농도는 적절한 범위 내에서 최적화시킬 필요가 있다^[6]. 그림 2는 AlGaIn/GaN 성장 구조를 나타내며, Si를 8.5 nm의 AlGaIn 내에 $5 \times 10^{18} / \text{cm}^3$ 의 농도로 도핑하였다.

표 1은 Si가 도핑된 TR 소자와 도핑 처리가 안된 TR 소자의 표면저항(R_s)과 드레인 전류값(I_d)을 보여준다. 500+900 °C의 2-step annealing 후 측정 결과, Si 도핑된 소자가 그렇지 않은 경우보다 4배 이상의 표면 저항 감소를 보였다.

Modulation-doped AlGaIn/GaN 이중 접합 구조를 형성 후 GaN 소자의 격리를 위해 BCl_3/Cl_3 가스를 사용한 이온 빔 식각(reactive ion beam etching)을 하여 측면 누설로 형성되는 게이트 누설 전류를 감소시켰으며, ALD(Atomic Layer Deposition) 공정으로 10 nm의 Al_2O_3 의 게이트 절연층을 형성 후 옴릭(ohmic) 공정을 진행하였다.

GaN의 경우, 약 4 eV의 일 함수를 가지므로 낮은 접촉 저항의 ohmic contact을 형성하기 어려우며, Al-

표 1. Si 도핑에 따른 R_s & I_d 특성 비교표

Table 1. The characteristics of R_s & I_d according to the Si doping.

Codditions	Undoped		Si doped(5×10^{18})	
	$R_s(\Omega/\text{sq})$	$I_d(\text{mA})$	$R_s(\Omega/\text{sq})$	$I_d(\text{mA})$
500+875° 30 sec	1,213	28.1	361	30.8
500+900° 30 sec	1,386	29.4	337	37.2
500+925° 30 sec	419	28.6	318	35.6

GaN/GaN 위의 저항성 접촉 형성을 위한 금속으로 Ti/Al과 Ti/Al/Ni/Au 등의 다층 구조의 금속들이 사용되고 있다^{[7]~[9]}.

낮은 옴릭 저항은 Knee voltage를 낮추어 주고, 최대 전류를 높여주게 되어 결과적으로 출력 전력을 높여준다. 특히, 옴릭 저항은 f_T 를 결정하는 중요한 요소이며, 식 (1)과 같이 f_T 를 높이기 위해서는 g_m 이 높아야 되며, R_s 와 R_d 는 최대한 낮게 만들어야 한다.

$$f_T = \frac{g_m}{2\pi\{[C_{gs} + C_{gd}] \cdot [1 + g_0(R_s + R_d)] + C_{gd} \cdot g_m(R_s + R_d)\}} \quad (1)$$

본 연구에서는 낮은 옴릭 저항을 구현하기 위해 Ti/Al/Ni/Au(25/160/40/100 nm) 형태의 다층 구조 Ohmic contact을 형성하였다. 옴릭 공정은 EBE(Electron Beam Evaporator)를 이용하여 500 °C에서 30 sec, 900 °C에서 30 sec의 2 단계로 열처리 하였으며, 측정된 옴릭 저항은 $1 \times 10^{-5} \Omega \cdot \text{cm}^2$ 으로 그림 3과 같다.

→ Ohmic result : $1 \times 10^{-5} \Omega \text{cm}^2$

그림 3. SiC 기판의 위치에 따른 옴릭 저항 특성
Fig. 3. The ohmic contact resist according to the location on SiC.

그림 4. Si/Ti/Al 비율에 따른 오믹 저항 특성(500+900°, 30 sec)

Fig. 4. The ohmic contact resist according to the ratio of Si/Ti/Al(500+900°, 30 sec).

실제 Ti/Al/Ni/Au 형태의 다층 구조를 형성하기 전 1 nm의 Si를 먼저 증착하여 열처리를 하였는데, 이는 AlGaN barrier에 n-type의 표면 도핑 효과를 가져와 그로 인해 향상된 오믹 저항 특성을 보이기 때문이다^{[10],[11]}.

그림 4는 Si 증착 후 Ti/Al의 비율에 따른 오믹 저항의 특성을 보여주며, Ti/Al(25/160 nm)에서 가장 낮은 오믹 저항 특성을 보여주었다.

GaN TR 소자의 PAD 메탈은 Ni/Au/Ti(20/200/30 nm)로 증착하였다. Ti(30 nm)를 추가적으로 증착한 이유는 후공정 과정에서 생기는 PAD 메탈과 에어브릿지의 분리를 막고, 메탈과 본딩 와이어의 접착력을 향상시키기 위함이다.

그림 5는 후공정 과정 중 발생한 PAD 메탈의 분리 현상이며, PAD 메탈은 Ni/Au(20/200 nm)로 증착하였다. 그림 6은 Ti를 추가적으로 증착 후 솔벤트 용

그림 5. PAD 메탈의 분리 현상

Fig. 5. The separator of PAD metal.

(a) Ni/Au/Ti(20/200/20)

(b) Ni/Au/Ti(20/200/30)

그림 6. 솔벤트 용액에 30분 보관 후 PAD와 seed metal 간의 접착성 확인

Fig. 6. The adhesion of PAD and seed metal after soak in solvent for 30 minutes.

액에 30분간 보관하여 접착성을 확인한 그림이며, 이때의 Ti는 각각 20과 30 nm였으며, 30 nm에서 접착성이 좋음을 확인하였다.

높은 주파수 대역에서 고효율 특성을 가지는 소자를 제작하기 위해서는 게이트의 길이가 작아야 한다. 본 논문에서는 게이트의 길이와 저항을 줄이고, 주파수 특성을 향상시키기 위해 180 nm의 T자형 게이트 구조를 형성하였고, 제작된 T자형 게이트의 foot의 길이는 180 nm, head는 약 800 nm이었다.

그림 7은 제작된 T자형 게이트의 FIB(Focused Ion Beam) 그림을 보여준다.

게이트 형성과 에어브릿지 공정을 거친 후 제작된 GaN TR 소자의 DC & RF 특성은 그림 8, 그림 9, 그림 10과 같다. 측정 결과, 제작된 2-finger의 GaN TR 소자는 $V_{DS}=10$ V, $V_{GS}=1$ V에서 837 mA/mm의 최대 드레인 전류값을 얻었으며 $V_{GS}=-6$ V에서 g_m (transconductance)는 177 mS/mm을 얻었다. 그림 8은

그림 7. T자형으로 형성된 180 nm gate의 FIB
Fig. 7. FIB of 180 nm T-gate.

그림 8. 2-finger GaN TR의 Id-Vd 곡선
Fig. 8. The Id-Vd curve of 2-finger GaN TR.

그림 9. 2-finger GaN TR의 Vg-Id 곡선
Fig. 9. The Vg-Id curve of 2-finger GaN TR.

$V_g = -10$ V에서 1 V의 단위로 측정된 결과를 보여 준다.

(a) RF 특성
(a) RF characteristic

(b) 로드풀 특성
(b) Load-pull characteristic

그림 10. 2-finger GaN TR의 RF 특성(Class AB)
Fig. 10. The RF results of 2-finger GaN TR(Class AB).

RF 특성 측정은 on-wafer 상에서 Cascade Microtech Probe와 PNA E8361A를 이용하여 측정하였다. $V_{DS}=10$ V, $V_{GS}=-6$ V에서 $f_t=45.6$ GHz, $f_{MAX}=46.5$ GHz로 9.3 GHz에서 load-pull 장비로 측정된 출력은 24.9 dBm으로 1.54 W/mm의 전력 밀도와 40.24 %의 PAE를 보여주었다.

III. Future Work and Conclusion

본 논문에서는 2-inch 6H-SiC(0001) 웨이퍼 위에 에피를 성장시켜 전력증폭기용 GaN MISHFET 소자를 제작하고, 180 nm-gate 2-finger 기준 peak transconductance는 177 mS/mm, f_t 는 45.6 GHz의 성능을

확인하였다. 해외에 보고된 100 nm-gate GaN HEMT 소자가 $g_m=480$ mS/mm, $f_T=144$ GHz^[4]임을 감안하면 최고의 성능은 아니지만 국내에 SiC 기판 위에 GaN 을 성장시키고, TR 소자를 개발한 경우가 없고 성장된 GaN 기판의 경우, 상용화된 IQE사의 기판(전자 이동도 2,120 cm²/Vs)에 버금가는 우수한 특성임을 확인하였기에 공정 개선과 함께 더 좋은 특성을 가지는 소자 개발이 가능하다고 본다. 추후, 공정 개선과 제작된 GaN TR 소자를 이용하여 고출력/고효율 특성을 가지는 SSPA(Solid State Power Amplifier)를 제작할 예정이다.

참 고 문 헌

- [1] 문재경, 배성범, 장우진, 임종원, 남은수, "GaN 전자소자 글로벌 연구개발 동향", 전자통신동향분석, 27(1), pp. 74-85, 2012년 2월.
- [2] V. Kumar, W. Lu, R. Schwindt, A. Kuliev, G. Simin, J. Yang, M. AsifKhan, and Ilesanmi Adesida, "AlGaIn/GaN HEMTs on SiC with f_T of over 120 GHz", *IEEE Electron Device Letters*, vol. 23, No. 8, Aug, 2002.
- [3] 문재경, 민병규, 김동영, 장우진, 김성일, 강동민, 남은수, "차세대 고효율/고출력 반도체: GaN 전력소자 연구개발 현황", 전자통신동향분석, 27(4), pp. 96-106, 2012년 8월.
- [4] Haifeng Sun, Andreas R. Alt, Hansruedi Benedickter, Eric Feltin, Jean-Francois Carlin, Marcus Gonschorek, Nicolas Grandjean, and C. R. Bolognesi, "100-nm-Gate(Al, In) N/GaN HEMTs Grown on SiC with $f_T=144$ GHz", *IEEE Electron Device Letters*, vol. 31, no. 4, Apr. 2010.
- [5] P. Waltereit, O. Brandt, A. Trampert, M. Ramsteiner, M. Reiche, M. Qi, and K. H. Ploog, "Influence of AlN nucleation layers on growth mode and strain relief of GaN grown on 6H-SiC(0001)", *Appl. Phys. Lett.*, vol. 74, pp. 3660-3662, 1999.
- [6] R. Gaska, M. S. Shur, A. D. Bykhovski, A. O. Orlov, and G. L. Snider, "Electron mobility in modulation-doped AlGaIn-GaN heterostructures", *Appl. Phys. Lett.*, vol. 74, pp. 287-289, 1999.
- [7] L. F. Lester, J. M. Brown, J. C. Ramer, L. Zhang, and S. D. Hersee, "Non alloyed Ti/Al ohmic contacts to n-type GaN using high-temperature premetallization anneal", *Appl. Phys. Lett.*, vol. 69, pp. 2737-2739, 1996.
- [8] B. P. Luter, S. E. Mohny, T. N. Jackson, M. A. Khan, Q. Chen, and J. W. Yang, "Analysis of a thin AlN interfacial layer in Ti/Al and Pd/Al ohmic contacts to n-type GaN", *Appl. Phys. Lett.*, vol. 70, pp. 57, 1997.
- [9] Y. F. Wu, W. N. Jiang, B. P. Keller, S. Keller, D. Kapolnek, S. P. Denbaars, U. K. Mishra, and B. Wilson, "Low resistance ohmic contact to n-GaN with a separate layer method", *Solid-State Electron*, vol. 41, pp. 165-168, Feb, 1997.
- [10] V. Desmaris, J. Eriksson, N. Rorsman, and H. Zirath, "Low-resistance Si/Ti/Al/Ni/Au multilayer ohmic contact to undoped AlGaIn/GaN heterostructures", *Electrochemical and Solid-state Lett.*, vol. 7, pp. 72-74, 2004.
- [11] V. Desmaris, J. Y. Shiu, C. Y. Lu, N. Rorsman, H. Zirath, and E. Y. Chang, "Transmission electron microscopy assessment of the Si enhancement of Ti/Al/ Ni/Au ohmic contacts to undoped AlGaIn/GaN heterostructures", *Journal of Applied Physics*, 100, 034904, 2006.

김 상 일

2007년 2월: 중앙대학교 전자전기
공학부 (공학사)
2007년 2월~현재: 삼성탈레스 연구
원
[주 관심분야] GaN 소자, SSPA, 초
고주파 회로, TRM, 레이더 시스
템 등

이 복 형

1999년 2월: 동국대학교 전자공학
과 (공학사)
2001년 2월: 동국대학교 전자공학
과 (공학석사)
2006년 2월: 동국대학교 전자공학
과 (공학박사)
2006년 2월~현재: 삼성탈레스 연구
원

[주 관심분야] MMIC, 초고주파 회로설계, 능동 위상 배열
시스템 등

임 병 옥

2000년 2월: 국립한경대학교 전자
공학과 (공학사)
2002년 2월: 동국대학교 전자공학
과 (공학석사)
2009년 2월: 동국대학교 전자공학
과 (공학박사)
2010년 10월~현재: 삼성탈레스 연
구원

[주 관심분야] GaAs, GaN 소자 및 초고주파 회로, 송수신
모듈, 레이더 시스템 등

김 형 주

1989년 2월: 광운대학교 전자통신
공학과 (공학사)
1992년 2월: 성균관대학교 전자공학
과 (공학석사)
1989년 3월~1998년 2월: 삼성전자
연구원
1998년 3월~2006년 2월: Radionix

이사
2006년 3월~2008년 2월: M&M Lynx 연구원
2009년 3월~현재: 삼성탈레스 수석연구원
[주 관심분야] 안테나, 초고주파 회로, 레이더 시스템 등

최 길 응

2002년 2월: 광운대학교 전자공학
부 (공학사)
2006년 2월: 광운대학교 전파공학
과 (공학석사)
2011년 2월: 광운대학교 전파공학
과 (공학박사)
2011년 2월~현재: 삼성탈레스 연구
원

[주 관심분야] RF 회로설계, 능동 위상 배열 시스템 등

김 룬 휘

2010년 2월: 위덕대학교 반도체공학
과 (공학사)
2012년 2월: 경북대학교 센서 및 디
스플레이공학과 (공학석사)
2013년 3월~현재: 경북대학교 전자
공학과 박사과정 예정
[주 관심분야] 화합물 반도체, RF
소자 등

임 기 식

2002년 2월: 경북대학교 무기재료 공학과 (공학사)
 2005년 2월: 경북대학교 전자전기 컴퓨터공학부 (공학석사)
 2012년 2월: 경북대학교 전자전기 컴퓨터공학부 (공학박사)
 [주 관심분야] 초고주파 회로설계, 능동 위상 배열 시스템 등

이 정 수

2000년 2월: 충남대학교 전파공학과 (공학사)
 2002년 2월: 포항공과대학교 전자 전기공학과 (공학석사)
 2002년 3월~2005년 12월: LG 전자 연구원
 2006년 1월~현재: 국방과학연구소 선임연구원
 [주 관심분야] 레이더 안테나 설계, 송수신기 설계 등

이 정 희

1979년 2월: 경북대학교 전자공학과 (공학사)
 1983년 2월: 경북대학교 전자공학과 (공학석사)
 1986년: 플로리다공대 전자공학과 (공학석사)
 1990년: 미국 North Carolina State University 전자공학과 (공학박사)
 1993년 3월~현재: 경북대학교 전자공학과 교수
 [주 관심분야] Nitride based 성장 및 화합물 반도체 등

이 중 민

1985년 2월: 경희대학교 물리학과 (이학사)
 1988년 2월: 경희대학교 물리학과 (이학석사)
 2007년 2월: 충남대학교 전파공학과 (공학박사)
 1991년 2월~현재: 국방과학연구소 책임연구원
 [주 관심분야] 레이더 시스템 설계/분석, 안테나 설계 등