

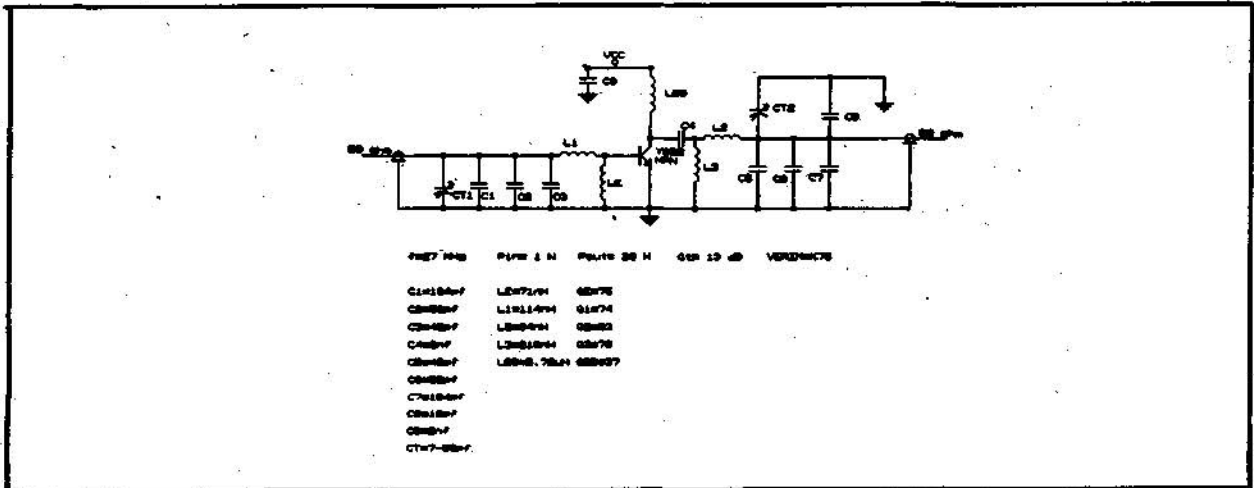
# YÜKSEK FREKANS GÜÇ TRANZİSTORU ÜRETİMİ

AZİZ U. ÇALIŞKAN  
TÜBİTAK - MAE - EAB - YİTAL(\*)

Yüksek Frekanslarda yüke büyük güçler aktarabilen transistörlerin üretimi, iyi optimize edilmiş çizim ve proses tasarımı ile uygun bir kılıflama gerektirmektedir. Güç kuvvetlendiricilerinde kullanılan bu transistörlerin aşırı sürme ve yük dengesizliği gibi uygun olmayan çalışma koşullarına, performansında bir değişim olmadan dayanabilme yeteneği vardır. Geniş pazar olanakları olmamakla beraber stratejik açıdan değer taşıyan uygulamalarda (meselâ askeri telsizlerde) kullanılan bu elemanlar günümüzün gelişmiş teknolojileri ile üretilmektedir. Ülkemizde bu alanda bilgi birikimi sağlamak ve gerektiğinde üretime geçmek amacıyla TÜBİTAK Marmara Araştırma Enstitüsü (MAE) YİTAL Laboratuvarında araştırma çalışmaları sürdürülmektedir. Bu yazıda YİTAL'de üretilen ilk yüksek frekans güç transistörü tanıtılacaktır. Transistörün karakteristikleri Tablo 1'de verilmiştir. MAE Mikrodalga laboratuvarında tasarlanan iki test devresi ile bu transistör denenmiştir. 27 MHz'de C sınıfı çalışan ilk test devresi Şema 1'de verilmiştir. Bu devre 20 W çıkış gücündeki 13 dB kazançlı, % 75 verimle sağlamaktadır. 145 MHz'de AB sınıfı çalışan ikinci test devresi Şema 2'de verilmiştir. Bu devre ise 10 W çıkış gücünde 5 dB'den büyük kazanç vermektedir.

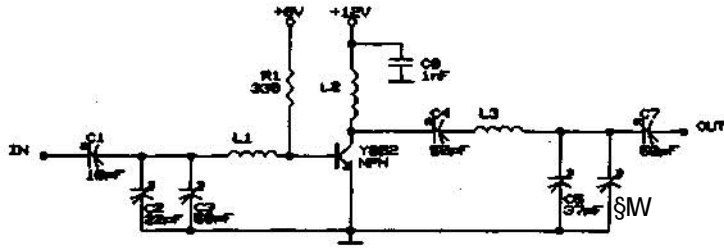
Parametreler	Tipik Değerler	Birim	ölçme Koşulları
Beh/erme Gerilimleri	BV <sub>ceo</sub> BV <sub>cb0</sub> BV <sub>ebo</sub>	> 20 V > 35 V > 4 V	
DC Akımı Kazancı	h <sub>fe</sub>	25	I <sub>c</sub> -1A V <sub>ce</sub> -5V
Kollektör Kapasitesi	C <sub>c</sub>	120 pF	i <sub>b</sub> -0 V <sub>cb</sub> -15V f.1MHz
Geribesleme Kapasitesi	C <sub>re</sub>	40 pF	I <sub>c</sub> 100mA V <sub>ce</sub> .15V
Kesim Frekansı	f <sub>T</sub>	500 MHz	VC8-10V I <sub>c</sub> -500mA
Emetör Dengeleme Direnci	r <sub>e</sub>	0.3 ohm	
Parazitik Kollektör Direnci	r <sub>e</sub>	0.15 ohm	

Tablo 1: YBB2 VHF Güç Transistörü Karakteristikleri



Şema- 1. YBB2 VHF Güç Transistörleri Test devresi

(\*) Türkiye Bilimsel ve Teknik Araştırma Kurumu - Marmara Araştırma Enstitüsü - Elektronik Araştırma Bölümü - Yarıiletken Teknolojisi Araştırma Laboratuvarı,



	TU>	BOY	ÇP>
L1	S	S a>	S mu
LS	4	B.B <n	S an
1-3	4	4 an	6 mu

ta. ÇBP1 1 o.e

$f = 145 \text{ MHz}$

Pir> <U>	Pout CM>	Pin (A1)	Pout (dBaO)	Ic C<A>	OBin <OB>
0.1	1.3	22	31	400	11
0.<	1.8	23	38	<<*>	0
0.3	a. 6	25	34	600	S
0.5	4.0	27	3B	000	0
0.0	S.0	28	37	TBB	0
1.3	7.0	31	36. B	800	7. S
e.0	S. E	33	39,8	SBB	0.0
3.2	13.0	35	41	1aM	0

Şama- 2. YBB2 ile AB SINIFI Kuwvtenlendirici

### 1. Çizim Tasarımı

Tranzistorun çizim tasarımı İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü'nde MMLS tezi olarak gerçekleştirilmiştir [1]. Şekil 1'de verilmiş çizimden anlaşılacağı gibi tranzistor iki baz difüzyon adasında gerçekleştirilmiştir. Bu adaların eni 336 u.m, boyu 1200 (im'dir. Her bir baz adasında uzunluğu 315 u.m, genişliği 20  $\mu\text{m}$  olan 19 adet emetör difüzyon parmağı vardır, iki emetör parmağı arasında bir baz kontağı bulunmaktadır. Bu kontakların genişliği 20 (im ve emetör parmağından olan açıklığı 15 u.m'dir. iki baz adası arasında baz bağlantı pabucu bulunmaktadır. Baz adalarının diğer kenarlarında ise emetör bağlantı pabuçları yerleştirilmiştir. Yüksek çıkış gücüne sahip tranzistorlarda emetör akımını tüm tranzistor alanına eşit dağıtabilmek için emetör dengeleme direnci kullanılır. Çizimde emetör bağlantı pabucu ile baz adası arasında görülen ada emetör dengeleme direncidir. Tranzistorun çizimine, difüzyon işlemlerinde hedeflenen katkılamalardan ne ölçüde uzaklaşıldığını saptamak amacıyla baz ve emetör difüzyonuyla oluşturulmuş dirençler ve tek parmak test tranzistoru ilave edilmiştir.

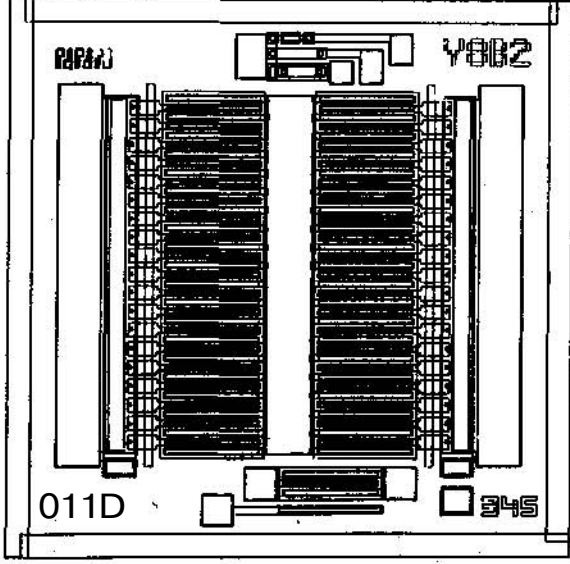
Yukarıda verilen boyutlardan hesaplanacağı gibi, tranzistorun toplam baz alanı (AB) 0.81  $\text{mm}^2$  ve toplam

emetör alanı 0.24  $\text{mm}^2$ 'dir. Tek bir tranzistorun bu kadar geniş alanlı olması yüksek akım gereksiniminin ve eldeki fotolitografik prosesin yetmezliğinin sonucudur. Geniş alan, jonksiyon kapasitelerini artırdığından tranzistorun frekans karakteristiğini bozar. Bu tranzistorun jonksiyonları sıklaştıkça, emetör bölgesinde taşıyıcıların gecikmeleri ve emetör-baz jonksiyon kapasitesinin yan duvar bileşeni azaldığından, yüksek frekans tranzistorları için sık jonksiyonlu tasarımlar yapılır. Tablo 2'de çeşitli bandlarda çalışan tranzistorların jonksiyon derinlikleri verilmiştir. Sonuç olarak yüksek frekans güç tranzistorları geniş alanlı sık jonksiyonlara sahiptirler

	Emetör-Baz Jonksiyon Derinliği (mm)	Kollektör-Baz Jonksiyon Derinliği (mm)
HF	-2.0	~2.5
VHF	-1.0	1.5
UHF	- 0.5 - 0.6	1.0

Tablo 2:

Kristal yapıda varolan veya yüksek sıcaklık işlemleri sırasında oluşan kristal kusurlarının önemli bir kısmı tranzistorun elektriksel performansını bozar. Geniş alanlarda ve/veya sıg jonksiyonlarda bozucu etkiye sahip kristal kusuruna rastlama olasılığı arttığından, yüksek frekans güç tranzistorlarının üretim işlemleri sonundaki sağlam ürün oranı düşük olur. İyi tasarlanmış temiz proseslerle bu durumun önüne geçilmeye çalışılır.



Şekil 1: VHF Güç tranzistoru çizimi.

## 2. Üretim Zincirinin Tanıtımı

Tranzistorun üretim zinciri aşağıdaki adımlardan oluşur:

1. Kalınoksit büyütülmesi
2. Baz bölgelerinin şekillendirilmesi
3. Baz difüzyonu
4. Emetör bölgelerinin şekillendirilmesi
5. Emetör difüzyonu
6. Kontak pencerelerinin açılması
7. Metalizasyon (Alüminyum buharlaştırma)
8. Metal yolların şekillendirilmesi
9. Pasivasyon oksidinin büyütülmesi
10. Pasivasyon oksidinin şekillendirilmesi

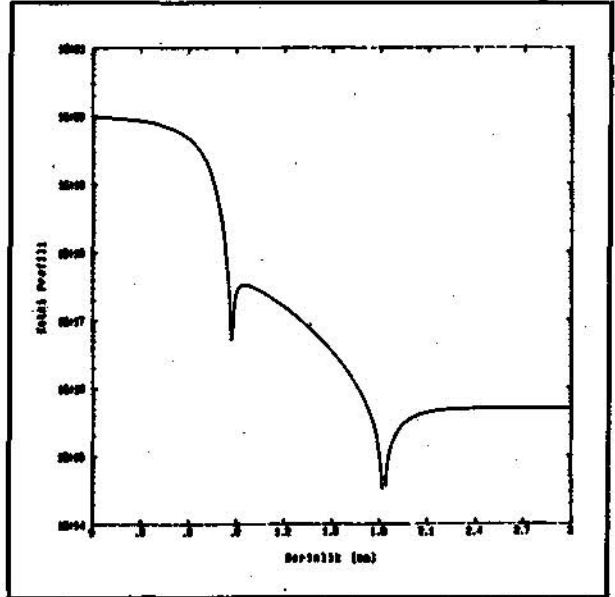
Üretim zincirinden de görüleceği gibi tranzistor beş maske ile üretilmiştir.

Baz difüzyon işlemi, 920°C da BN diskleri ile öndepoizasyon ve 900°C da nemli ortamda derinleştirme adımlarından oluşmaktadır. Emetör katkılama için arsenosilika film solüsyonu kullanılmıştır. Emetör difüzyonu 1100°C gerçekleştirilmiştir. Bu difüzyon işlemleri sonunda silisyum içinde oluşturulan katkı profili Şekil 2'de verilmiştir. Bu profil SUPPREM II benzetim programının çıkışıdır [2].

Yüksek frekans uygulamalarında emetör katkısı için arsenik kullanılır. Emetör katkısında bir diğer seçenek

olan fosfora göre arseniğin avantajlarını şöyle sıralayabiliriz:

1. Arseniğin silisyum içinde oluşturduğu katkı profili, azınlık taşıyıcılarının baz bölgesini geçiş süresini azaltacak yapıdadır. Dolayısıyla arsenik emetörlü tranzistorların kesim frekansı daha yüksek olur.
2. Kristal kusurlarının oluşması ve hareketleri kristal içine sokulmuş katkı atomlarının konsantrasyonuna doğrudan bağlıdır. Arseniğin atomik yarıçapı silisyumun atomik yarıçapına çok yakındır. Bu benzerlik yüksek yüzey konsantrasyonlarında arseniğin daha az kristal kusuru oluşturmasını sağlar.
3. Arseniğin silisyum içine difüzyon olabilme koşulları, yüksek yüzey konsantrasyonlu sıg jonksiyonlar oluşturulmasına uygundur.
4. Sıg jonksiyonlarda fosforun baz katkısı olan bor'u itmesi çok fazladır. Bu durum baz genişliğinin kontrolünü zorlaştırır.



Şekil 2: Yüksek frekans güç transistörü katkı profili SUPREM II çıkışı.

## 3. Tranzistorun Çizim Büyüklüklerinin İrdelenmesi

Tranzistorun çıkış gücünü belirleyen çizim büyüklüğü emetör difüzyon çevresidir (PE), Tranzistorun akıtılabileceği akım, emetör difüzyon çevresinin lineer bir fonksiyonudur. Bir tranzistordan beklenen çıkış gücüne karşı gelen emetör akımından, o tranzistorun sahip olması gereken emetör difüzyon çevresi hesaplanır. Birim emetör çevresinin akıtılabildiği optimum akım değeri akım taşıma kapasitesi olarak tanımlanır. 12V beslemeli yüksek frekans güç tranzistorları için bu değer 0.5 A/cm'dir [3].

C sınıfı çalıştırılan bir devrenin verdiği güç kazancının tranzistorun fiziksel parametreleri cinsinden ifadesi

$$K_G = \frac{f_T}{8 \cdot f^2 \cdot r_{bb} \cdot C_c} \text{ şeklindedir.}$$

Doğru birtakım ihmallere sonucunda

$$C_c = A_B \frac{\epsilon_s \epsilon_0}{X_d}, \quad r_{bb} = R_{SB} \frac{W}{P_E}$$

yazılabilir. Buradan:

$$K_G = \frac{f_T \cdot X_d}{8 \pi \epsilon_0 \epsilon_s f^2 R_{SB} W} \cdot \frac{P_E}{A_B} \text{ bulunur.}$$

Bu ifadeden görüldüğü gibi, tranzistorun güç kazancına etkili çizim büyüklüğü emetör çevresinin baz alanına oranıdır. Yüksek ( $P_E/A_B$ ) oranı, yüksek güç kazancının nedeni olacaktır. ( $P_E/A_B$ ) oranı fotolitografik prosesin sınırlarına ve seçilen çizim tipine bağlıdır. Yüksek frekans güç tranzistorların tasarımında parmaklı yapı (interdigitated), overlay ve ağ yapı (mesh) diye anılan üç temel çizim tipi kullanılmaktadır. Herbir çizim tranzistor performansını optimize etmeye çalışır. Performans optimizasyonu belli bir baz alanı içine sığdırılan emetör çevresini maksimize ederken, o baz alanı içindeki emetör alanını minimize etmeyi hedefler. Bunlardan ilki güç kazancını ve akımı taşıma kapasitesini maksimize ederken, ikincisi emetör-baz kapasitesini minimize etmeye karşılık gelmektedir. Çizim tasarımında diğer faktörlerde önemlidir, fakat yukarıda bahsi geçen iki oranın yanında ikincil derecededir.

Şekil 1'de gösterildiği gibi gerçekleştirilen tranzistor için parmaklı yapı tercih edilmiştir. Bu yapıda emetör parmağı ile baz kontağı arasındaki mesafe mümkün olduğu kadar küçük tutularak, düşük dirençli baz akım yolu oluşturulmaya gayret edilir. Belli bir baz alanı içinde daha uzun emetör çevresi gerçekleştirilmesi için emetör parmağının genişliğini ince tutmak gereklidir. Dolayısıyla parmakların üzerindeki metal yollarda inceleyecektir. Metalde akım yoğunluğunun artması, metal erozyonunu artırır, tranzistorun güvenilirliği azalır. Bu durum parmaklı yapının sakıncasını ortaya koymaktadır. Overlay çizim tipi, parmaklı yapıdaki ince metal yolların dezavantajını ortadan kaldırmak için ortaya atılmıştır. Diğer karakteristikleri bakımından fazlaca bir yenilik getirmemiştir.

Şekil 3'de ağ yapı gösterilmiştir. Şekilde içi noktali taranmış bölge baz adasını, eğik taranmış bölge emetör adasını, yatay taranmış adacıklar p+ difüzyonunu, boş bırakılmış bölgeler ise kontak pencerelerini göstermektedir. p+ difüzyonu baz direncini düşük tutabilmek için yapılmıştır. Bu yapı ( $P_E/Ag$ ) oranını maksimize eder. Bununla beraber kontak dirençlerinin yükselmesi ve üretim aşamalarının zorlaşması bu geometrinin sakıncalarını oluşturur.

Güç tranzistorlarının sağlanması gereken bir önemli özellik dayanıklılıktır. Çizimde, ısı tasarımı kuralları da gözönünde bulundurulmalıdır. Tranzistorun ısı direncini küçük tutabilmek için, baz bölgesi dar ve birbirinden yeterince uzak adacıklar halinde tasarlanmalıdır. Küçülen ısı direnç sürekli çalışmada tranzistorun jonksiyon sıcaklığının düşük kalmasını sağlayacaktır. Bu tranzistorun ömrünü ve güvenilirliğini artırır.

Kısaltmalar

$K_G$  : Güç kazancı

$f_T$  : Kesim frekansı

$r_{bb}$  : Baz kontağı ile aktif baz bölgesi arasında kalan direnç

$C_c$  : Kollektör-baz jonksiyon kapasitesi

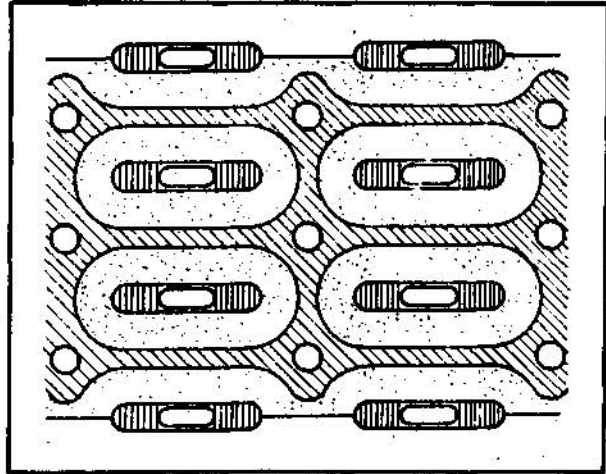
$X_d$  : Kollektör-baz jonksiyonu fakirleşmiş bölge genişliği

$R_{SB}$  : Emetör altında kalan baz bölgesi tabaka direnci

$W$  : Emetör difüzyon parmağı genişliği

$P_E$  : Toplam emetör difüzyon çevre uzunluğu

$Ag$  : Toplam baz difüzyon alanı



Şekil 3: Ağ (Mesh) yapı.

#### KAYNAKLAR

- [1] Atilla Kalaycı, VHF Güç Tranzistoru Tasarımı, Yüksek Lisans Tezi, İTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü, 1986.
- [2] Models for Computer Simulation of Complete IC Fabrication Process Dimitri A. Antoniadis and Robert W. Dutton, IEEE Journal of Solikstate Circuits, Vol. SC-14, No.2 April 1979.
- [3] Adolph Blicher, Field-Effect and Bipolar Power Transistor Physics Academic Press 1981, s. 180!