バックワードダイオードによる 低雑音UHFコンバータ

ソニー株式会社 田 玉 希
窪 田 泰 治
佐 藤 正

UHF マイクロ波用ミキサダイオードとしては、現在、主としてポイントコンタクト形のダイオードが使用されているが、エサキダイオードが開発されてから、これがマイクロ波用ミキサとしても高性能が期待されるに至った。

1. ま え が き

われわれは普通バックワードダイオード、またはバックダイオードとよばれている、ゲルマニウム・エサキダイオードの特に負性効果の強くない、すなわち、尖頭電流のきわめて小さい（当社においては0.1 mA以下）ものを、UHF ミキサとして使用してみたところ好結果が得られたので報告する。

2. バックワードダイオード

半導体において、不純物濃度を極端に増加して行くと、不純物原子どうしの干渉により、不純物準位の広がりができる。たとえば、 n 形半導体の場合では、ドーナ準位

と伝導体の底との重なりを生じ、あたかも金属の場合と同様となる。このような縮退した状態の n 形、 p 形の半導体どうしで、 pn 接合を作ると、零バイアスのときでも、 p 側価電子帯上部と n 側伝導体下部とに同準位の部分ができる。また、この pn 接合は不純物濃度が高いため、空乏層の厚みが非常に狭いので、この準位間にトンネル効果による電流が流れるようになる。この結果、 pn 接合は通常のダイオードの整流作用は失われる。また、トンネル電流は順方向バイアスにおいてもあるバイアス点まで存在するため、順方向特性は拡散電流とこのトンネル電流との和になり、電圧、電流特性は極大点を持つようになる。これがエサキダイオードであり、このエサキダイオード中で順方向のトンネル電流のあまり顕著でないものを、バックワードダイオードとよんでいる。したがって、バックワードダイオードでは、キャリアの伝導機構がトンネル効果により行なわれるため、通常の pn 接合ダイオードで見られるようなキャリア拡散時間、キャリア蓄積などの影響がなく、良好な高周波特性が期待できる。

2.1 電圧電流特性

写真1および図1にソニー製バックワードダイオード1T13を示し、図2にその代表的な静特性を示す。これからわかるように、バックワードダイオードもエサキ

筆者紹介

た だ ま も と む
田 玉 希 昭和32年 信州大学工学部
通信工学科卒業、同年ソニー株式会社に入社し、
技術部にて主にトランジスタによるラジオ・FM
・テレビ等の高周波回路の設計開発に従事して現
在に至る。

く ぼ た や す は る
窪 田 泰 治 昭和34年 海上保安大学卒
業、昭和35年ソニー株式会社に入社、技術部にて
エサキダイオード応用研究、およびTV受像機チ
ューナの設計開発に従事して現在に至る。

さ と う た だ し
佐 藤 正 昭和35年 電通大電波工学
科卒業、同年ソニー株式会社に入社、技術部にて
主に UHF チューナなど高周波関係の設計、開発
に従事して現在に至る。

写真1 バックワードダイオード1T13

“Low Noise UHF Converter using Backward Diode”. by Motomu Tadama, Yasuharu Kubota and Tadashi Sato (Sony Corp., Tokyo)

図 1 1T13 の外形寸法

表 1 ソニー製バックワードダイオード 1T13 の等価回路定数

C	0.5~1.0	pF
C_s	0.7	pF
L_s	0.4	nH
R_s	0.5~1	Ω

表 2 1T13 規格

絶対最大定格	周囲温度 (T_a): 25°C
順方向電流 (I_F)	45 mA
逆方向電流 (I_B)	15 mA
接合温度 (T_j)	-55~+85°C
保存温度 (T_{stg})	-55~+85°C
特性	
順方向電圧 (V_F)	120~180 mV ($I_F=3$ mA)
逆方向電圧 (V_B)	400 mV 以上 ($I_B=1$ mA)
尖頭電流 (I_p)	0.1 mA 以下
接合容量 (C_j)	3.5 pF 以下 ($V_B=250$ mV)
直列抵抗 (R_s)	3.5 Ω 以下

ダイオードと同様な電流の極大点 ($I_p \cong 50 \mu A$) を有し、このため、バイアス点 200 mV 近くで約 3 k Ω の負性抵抗をもっている。

2.2 バックワードダイオードの等価回路

等価回路は、まず接合コンダクタンス g と接合容量 C があげられる。次に、接合面までの半導体バルクの抵抗、リード線の抵抗などの直列抵抗 R_s 、同様に、存在する直列インダクタンス L_s 、およびダイオードの電極間容量 C_s などがあげられる。これらを図 3 の等価回路で示す。また、バックワードダイオード 1T13 における、これらの代表的な値を表 1 に示しておく。

3. 変換特性

前述したバックワードダイオードを、UHF ミキサーとして使用した場合の変換特性について測定を行なった。

3.1 変換損失

変換損失の測定は、最も直接的な方法であるヘテロダイン法により行なった。図 4 に測定回路のブロック図を示す。測定法の概要を説明する。

ミキサーの入力回路側には短絡スタブ 3 本による整合

図 2 1T13 の静特性

図 3 1T13 の等価回路

回路がもうけてあり、反射電力が最小となるよう調整されている。また、中間周波出力側にも同様の目的の整合回路を有している。

局部発振器よりバックワードダイオード・ミキサーへの注入電力を 10 μW ~4 mW まで変えたときの変換損失の変化の様子を図 5 に示す。注入局部発振器電力に対する変換損失の変化は、局発電力 30 μW までは減少し、これを過ぎるとほぼ平坦となる。そして、局部発振器電力が 2 mW を越えると再び変換損失は大きくなる。局部発振器電力が 2 mW を越えると変換損失が増加しはじめる原因は、バックワードダイオードの耐圧が低いためだと思われる。

バックワードダイオード・ミキサーが良好な変換特性をもつために必要な局部発振器電力は約 30 μW であり、

図 4 ダイオードミキサーの変換損失測定回路ブロック図

図 5 1T13 のミキサー変換特性

图 6 等価雑音温度比測定回路

図 7 バックワードダイオード・ミキサ
の等価雑音温度比 (t)

この値は一般の UHF マイクロ波用変換ダイオードの約 1/10 である.

3.2 バックワードダイオード・ミキサーの等価雑音温度比 (t)

図6に等価雑音温度比の測定回路を示す。この回路はミキサのインピーダンスと置換インピーダンスとがある程度異なっているが、 t の測定に誤差を生じさせないために考案されたもので、ロバーツ結合回路とよばれている。

図7にミキサーの注入局部発振器電力に対する等価雑音温度比の測定結果を示す。また、同時にその時の変換損失もあげておく。

3.3 総合雑音指数

ミキサの総合雑音指数 F_t はミキサと中間周波段との結合が適当であれば次式で与えられる。

$$F_t = L(t + F_{if} - 1)$$

ここに $\begin{cases} L: \text{ミキサの変換損失} \\ t: \text{ミキサの等価雑音温度比} \\ F_{if}: \text{接続される中間周波増幅器の雑音指数} \end{cases}$

次に、バックワードダイオード・ミキサの後に、雑音指数 2.4 dB の中間周波増幅器を接続して、その雑音指数を測定した結果を図 8 に示す。また、別に測定した等価雑音温度比 t および変換損失 L より算出した総合雑音指数を示した。

図 8 バックワードダイオード・ミキサ
の雑音指数

以上あげてきたごとく、バックワードダイオード・ミキサは雑音指数においても良好な結果を得ている。この理由として次のことが考えられる。

- 1) 局部発振器の注入レベルが低いところで良好な変換損失が得られる．このため等価雑音温度比が小さい．
- 2) 変換損失の最少値が 4.4~4.6 dB と非常に小さい．
- 3) ダイオード直列抵抗が小さく、それより発生する熱雑音が少ない．

4. UHF TV コンバータへの応用

以上述べてきたバックワードダイオードを実際の UH F コンバータで使用した例を紹介する。図 11, 図 12,

図 9 バックワードダイオード・ミキサ
の入出力特性

図 10 ミキサダイオードの中間周波インピーダンス

図 11 VUC-4W 回路図

図 12 VUC-4W 回路構成ブロック図

写真 2 にそれぞれ回路図およびブロックダイアグラムと同調機構部写真を示す。

コンバータの概略を説明する。選択回路は短縮 $\lambda/4$ 形分布定数回路で、共振周波数の可変は終端容量の変化により行なっている。受信帯域は 470~890 Mc、入力回路には複合のプリセクタを有し、ミキサダイオードにはバックワードダイオード 1 T13を使用している。ミキサダイオードの入力信号回路および局部発振器への結合は結合ループ L_2 にて行なっている。局部発振器はメサトランジスタによる容量帰還形発振回路を使用しており、ミキサダイオードへの注入電力は受信帯域内で 0.1~0.5 mW であった。

4.1 雑音指数

VUC-4W の各周波数における雑音指数を図 13 に示す。この値は前のミキサ単体での測定値より多少悪くなっている。この原因は主にコンバータ入力回路での損失のためと思われる。

4.2 局部発振器

局部発振回路には Ge メサトランジスタ 280 による容量帰還形発振回路を使用している。図 14 に電源電圧変化による局部発振周波数変動を示す。コンバータの電源電圧は 9 V で、使用状態で予想される電圧変動範囲を 9

写真 2 VUC-4W の同調機構

図 13 雑音指数

図 14 電源電圧変化に対する局部発振周波数変動

± 2 V とすると、このときの発振周波数変動の最大値は $\pm 290 \sim 480$ Kc となる。図 15 に周囲温度を変えたときの発振周波数変化の様子をあげる。図 16 に電源投入後の発振周波数漂動の様子をあげる。

4.3 その他の特性

図 17, 図 18, 図 19 にそれぞれ VUC-4W の入力 VSWR, 利得, 映像妨害比を示す。

5. む す び

バックワードダイオード・ミキサでは、良好な動作特性を得るために必要とする局部発振電力が、他の変換

図 15 温度対局発漂動周波数

図 16 局発周波数漂動対時間特性

図 17 入力端子 VSWR

ダイオードに比して約 1/10 と非常に小さい。このため局発注入電力によりダイオード中で生ずるショットノイズが小さい。他方、換変損失についても、その最少値が 4.4~4.6 dB と非常に低く、このため雑音指数において大きな改善ができた。また、一方低局発電力で動作するため、エサキダイオード発振器などの発振出力の低いものでも、局発振器として使用できる可能性があり、そのほか、局発振電力の不要輻射についても有利である。

(昭和 39 年 2 月 3 日受付)

【参 考 文 献】

1) たとえば Henry C. Torrey and Charles A. Whiter : Crystal Rectifiers, McGraw-Hill Book Company, Inc.

図 18 利 得

図 19
映像妨害比

写真 3 UHF コンバータ (VUC-4W) をマイ
クロテレビに装置したところ

2) Sverre T. ENG : Low Noise Properties of Microwave Backward Diodes, IRE Trans. Vol. MTT-9, No. 5, Sep. (1961)