

## 高周波半導体デバイス使用上の注意点

### 概要

本資料は高周波半導体デバイスの最大定格および電気的特性の定義、概要（製品概要、動作原理など）を掲載した資料です。

東芝デバイス&ストレージ株式会社

これは参考資料です。本資料での最終機器設計はしないでください。

## 目次

|                                          |    |
|------------------------------------------|----|
| 概要                                       | 1  |
| 目次                                       | 2  |
| 最大定格および電気的特性                             | 4  |
| 1. 最大定格の定義                               | 4  |
| 1.1.1. 最大定格（スイッチ用ダイオードおよびショットキーバリアダイオード） | 4  |
| 1.1.2. 最大定格（可変容量ダイオード）                   | 4  |
| 2. 電気的特性                                 | 5  |
| 2.1. 電気的特性（可変容量ダイオード）                    | 5  |
| 2.2. 電気的特性（スイッチ用ダイオード）                   | 5  |
| 2.3. 電気的特性（ショットキーバリアダイオード）               | 5  |
| 解説                                       | 6  |
| 3. 高周波用ダイオード                             | 6  |
| 3.1.1. 可変容量ダイオード                         | 6  |
| 3.1.2. 可変容量ダイオードの基本動作原理                  | 6  |
| 3.1.3. 可変容量ダイオードの等価回路                    | 7  |
| 3.1.4. 可変容量ダイオードの種類と特徴                   | 7  |
| 3.1.5. 可変容量ダイオードの基本パラメータ                 | 8  |
| 3.1.6. 容量の電圧依存性                          | 9  |
| 3.1.7. 容量の温度圧依存性                         | 9  |
| 3.1.8. 交流信号電圧による平均容量の変動                  | 9  |
| 3.1.9. Q の電圧，周波数依存性                      | 10 |
| 3.1.10. 可変容量ダイオードの同調回路への応用               | 11 |
| 3.1.11. PIN ダイオード                        | 15 |
| 3.1.12. PIN ダイオードの動作原理と構造図               | 15 |
| 3.1.13. 応用回路例                            | 17 |
| 3.1.14. ショットキーバリアダイオード                   | 18 |
| 製品取り扱い上のお願い                              | 19 |

## 図目次

|       |                        |    |
|-------|------------------------|----|
| 図 3.1 | 動作説明図.....             | 6  |
| 図 3.2 | 可変容量ダイオードの等価回路.....    | 7  |
| 図 3.3 | 容量-逆電圧における容量変動の図解..... | 9  |
| 図 3.4 | 動作説明図.....             | 15 |
| 図 3.5 | 構造図.....               | 17 |
| 図 3.6 | $\pi$ 型アッテネータ .....    | 17 |
| 図 3.7 | 高周波スイッチ.....           | 18 |
| 図 3.8 | ショットキーバリアダイオード構造図..... | 18 |

## 表目次

|       |                                     |    |
|-------|-------------------------------------|----|
| 表 3.1 | 可変容量ダイオードの種類と特徴.....                | 7  |
| 表 3.2 | 可変容量ダイオードのバイアス法.....                | 11 |
| 表 3.3 | チューナの 2 点トラッキング回路定数の計算.....         | 13 |
| 表 3.4 | AM (中波) チューナの 3 点トラッキング回路定数の計算..... | 14 |

## 最大定格および電氣的特性

### 1. 最大定格の定義

半導体素子にとって、印加電圧や電流、温度、電力損失などは、動作機能を制限する大きな要因となります。

最大定格は、半導体素子を有効に動作させ、十分な信頼性を確保するために超えてはならない最大許容値で、絶対最大定格として規定しています。

絶対最大定格（以下、最大定格）とは、「瞬時たりとも超過してはならない限界値であり、どの2つの項目も同時に達してはならない限界値」と定められています。最大定格を超えて使用した場合、破壊や損傷および劣化の原因となり、破裂・燃焼による障害を負うことがあります。

#### 1.1.1. 最大定格 (スイッチ用ダイオードおよびショットキーバリアダイオード)

##### (1) 逆電圧 ( $V_R$ )

規定の周囲温度において、印加できる逆電圧の最大許容値です。

##### (2) セン頭逆電圧 ( $V_{RM}$ )

規定の周囲温度において、印加できる逆電圧(直流+交流信号)の最大許容瞬時値です。

##### (3) 順電流 ( $I_F$ )

規定の周囲温度において、通電できる順電流の最大許容値です。

通常は周囲温度の上昇により減少します。

##### (4) 接合温度 ( $T_j$ )

動作における接合部の温度の最大許容値です。この値の範囲内で素子の順電流値、動作温度範囲を設定する必要があります。

##### (5) 保存温度 ( $T_{stg}$ )

非動作時に保存し得る周囲温度の許容範囲です。この値の範囲内での保存による特性の劣化がないことを保証しています。

#### 1.1.2. 最大定格 (可変容量ダイオード)

##### (1) 逆電圧 ( $V_R$ )

規定の周囲温度において、印加できる逆電圧の最大許容値です。

##### (2) セン頭逆電圧 ( $V_{RM}$ )

規定の周囲温度において、印加できる逆電圧(直流+交流信号)の最大許容瞬時値です。

##### (3) 接合温度 ( $T_j$ )

動作における接合部の温度の最大許容値です。この値の範囲内で素子の順電流値、動作温度範囲を設定する必要があります。

##### (4) 保存温度 ( $T_{stg}$ )

非動作時に保存し得る周囲温度の許容範囲です。この値の範囲内での保存による特性の劣化がないことを保証しています。

## 2. 電気的特性

## 2.1. 電気的特性 (可変容量ダイオード)

| 項 目  | 記 号                 | 機 能 説 明                                                     |
|------|---------------------|-------------------------------------------------------------|
| 逆電圧  | $V_R$               | 規定の逆電流を流したとき生じる逆電圧                                          |
| 逆電流  | $I_R$               | 規定の逆電圧を印加したときに流れるリーク電流                                      |
| 容量   | $C_{*V}$            | 規定の周波数において、規定の逆バイアス電圧(*V)を印加したときの端子間の等価容量                   |
| 容量比  | $C_{*^1V}/C_{*^2V}$ | 逆バイアス電圧(* <sup>1</sup> V) における容量と* <sup>2</sup> Vにおける容量との比率 |
| 直列抵抗 | $r_s$               | 規定の周波数において、規定の逆バイアス電圧を印加したときの直列等価抵抗                         |
| 性能指数 | Q                   | 規定の周波数において、規定の逆バイアス電圧を印加したときの性能指数                           |

## 2.2. 電気的特性 (スイッチ用ダイオード)

| 項 目        | 記 号    | 機 能 説 明                                |
|------------|--------|----------------------------------------|
| 逆電圧        | $V_R$  | 規定の逆電流を流したときに生じる電圧                     |
| 逆電流        | $I_R$  | 規定の逆電圧を印加したときに流れるリーク電流                 |
| 順電圧        | $V_F$  | 規定の順電流を流したときに生じる端子間電圧                  |
| 容量         | $C_T$  | 規定の周波数において、規定の逆バイアス電圧を印加したときの端子間の等価容量  |
| 直列抵抗       | $r_s$  | 規定の周波数において、規定の順電流を流したときの直列等価抵抗         |
| 少数キャリア寿命時間 | $\tau$ | 規定の順電流を通電後、直ちに規定の逆電流を通電したときの少数キャリア寿命時間 |

## 2.3. 電気的特性 (ショットキーバリアダイオード)

| 項 目 | 記 号   | 機 能 説 明                               |
|-----|-------|---------------------------------------|
| 逆電圧 | $V_R$ | 規定の逆電流を流したときに生じる電圧                    |
| 逆電流 | $I_R$ | 規定の逆電圧を印加したときに流れるリーク電流                |
| 順電圧 | $V_F$ | 規定の順電流を流したときに生じる端子間電圧                 |
| 順電流 | $I_F$ | 規定の逆電圧を印加したときに流れる順電流                  |
| 容量  | $C_T$ | 規定の周波数において、規定の逆バイアス電圧を印加したときの端子間の等価容量 |

## 解説

## 3. 高周波用ダイオード

## 3.1.1. 可変容量ダイオード

可変容量ダイオード(variable capacitance diode)は一般にバリキャップダイオードと呼ばれ、整流用ダイオード、スイッチングダイオードのようにPN接合の整流作用を利用したもの、定電圧ダイオードのようにツェナー降下、アバランシェ降下を利用したものと異なり、ダイオードのPN接合容量が逆バイアス電圧により変化することを利用したものです。

この可変容量ダイオードを使用したTVチューナ、FM/AMチューナなどは、機器の小型・薄形・軽量化が可能です。

## 3.1.2. 可変容量ダイオードの基本動作原理

PN接合ダイオードを逆バイアスすると、この逆バイアス電圧 $V_R$ により空乏層が変化します。PN接合容量は、空乏層の領域により異なります。

空乏層領域が広いと容量は小さくなり、逆に空乏層領域が狭いと容量は大きくなります。

つまり、可変容量ダイオードは逆バイアス電圧 $V_R$ により空乏層を変化させ、この空乏層の変化で接合容量が変化します。

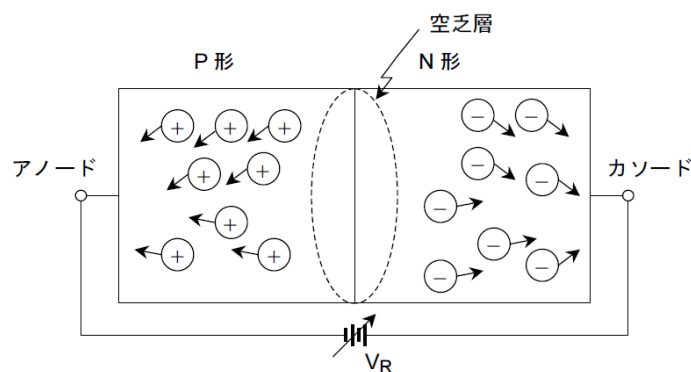
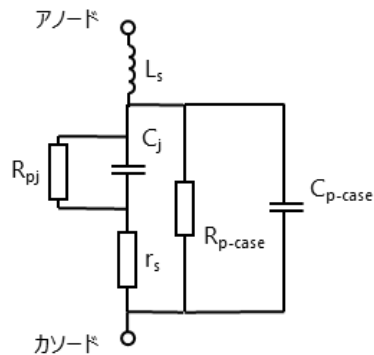


図 3.1 動作説明図

3.1.3. 可変容量ダイオードの等価回路

可変容量ダイオードを等価回路で表すと、図 3.2 のようになります。



- $C_j$  : 接合容量
- $r_s$  : 直列抵抗
- $R_{pj}$  : 接合部損失抵抗
- $R_{p-case}$  : ケース部損失抵抗  
(ケースに使用する樹脂の  $\tan \delta$  による。)
- $C_{p-case}$  : ケース容量
- $L_s$  : リードインダクタンス

図 3.2 可変容量ダイオードの等価回路

使用周波数が低い場合にはリードインダクタンス  $L_s$  は無視でき、また、接合容量  $C_j$  が大きい場合にはケース容量  $C_{p-case}$  は無視できる程度の値です。

3.1.4. 可変容量ダイオードの種類と特徴

可変容量ダイオードは不純物濃度分布により、傾斜接合形、段階接合形、超階段接合形の 3 つに大別できます。これを表 3.1 に示します。

ここで、 $n$  は容量 ( $C$ ) - 逆電圧 ( $V_R$ ) 特性の傾斜を決める係数で

$$C = K (V_R + \phi)^{-n} \dots\dots\dots (1)$$

- $K$ : 不純物濃度、誘電率、接合面積により決まる定数
- $\phi$ : 拡散電位

の関係があります。

表 3.1 可変容量ダイオードの種類と特徴

| 分類          | 不純物濃度分布 | $\frac{1}{n}$    | 主用途                 | 特徴                                                             |
|-------------|---------|------------------|---------------------|----------------------------------------------------------------|
| 傾 斜 接 合 形   |         | $\frac{1}{3}$    | 汎用<br>スイッチング用       | 容量の可変範囲が狭く、可変容量ダイオードとしてほとんど使用されない。                             |
| 階 段 接 合 形   |         | $\frac{1}{2}$    | AFC 用<br>同調用<br>変調用 | C-V カーブの安定性が良く、同調用として使用する場合でもペアリングが不要。しかし、容量変化比が小さく、高い制御電圧が必要。 |
| 超 階 段 接 合 形 |         | $\frac{1}{2}$ 以上 | 同調用                 | 使用電圧範囲が狭くても容量変化比を大きくすることができるが、反面、拡散行程が多く必要で、C-V カーブの安定性が悪い。    |

## 3.1.5. 可変容量ダイオードの基本パラメータ

 $V_R$ : 逆電圧

可変容量ダイオードの逆バイアス状態における印加許容電圧

 $C_T$ : 端子間容量

図 3.2 の等価回路で示すアノード・カソード間の総容量

 $C_{3V}$ :  $V_R=3\text{ V}$  の端子間容量 ( $C_{9V}$ ,  $C_{25V}$  など同様) $C_{3V}/C_{9V}$ :  $V_R=3\text{ V}$ ,  $9\text{ V}$  の端子間容量比 (同調用可変容量ダイオードに用いる)

K: 容量比

$$K = \frac{(\text{各電圧における端子間容量}) - (\text{基準電圧における端子間容量})}{\text{基準電圧における端子間容量}}$$

(AFC 用可変容量ダイオードに用いる)

Q: 性能指数

回路もしくはある物質において、抵抗成分で消費されるエネルギーに対して蓄積されるエネルギーの比をいいます。

図 3.2 の等価回路においてリードインダクタンス  $L_S$ 、ケース容量  $C_{P\text{-case}}$  を無視すると

$$Q = \frac{1}{\omega C_j r_s + \left( \frac{1}{R_{pj}} + \frac{1}{R_{P\text{-case}}} \right) / \omega C_j} \dots\dots\dots (2)$$

で表すことができます。

一般には、

$$Q = \frac{1}{\omega C_j r_s} \dots\dots\dots (3)$$

で表します。

 $r_s$ : 直列抵抗性能指数  $Q$  を表す 1 つのパラメータで、次式で表すことができます。

$$r_s = \frac{1}{S_j} \int \frac{dx}{q\mu_n N(x)} + \frac{1}{S_j} \int \frac{dx}{q\mu_p P(x)} + R_C \dots\dots\dots (4)$$

 $S_j$ : 接合面積,  $\mu_n$ : 電子の移動度,  $\mu_p$ : ホールの移動度, $N(x)$ :  $N$  側の不純物濃度分布,  $P(x)$ :  $P$  側の不純物濃度分布, $R_C$ : コンタクト抵抗

マッチング:

同調用可変容量ダイオードの場合、同一チューナに使用する可変容量ダイオードは特性のそろったものでなければなりません。

これは、チューナのトラッキングを保証するため必要で、各逆電圧  $V_R$  における端子間容量のペアー偏差は 3 %以下が一般的です。



## 3.1.6. 容量の電圧依存性

不純物濃度分布により、可変容量ダイオードは傾斜接合形、階段接合形、超階段接合形に大別することができます。

N 形不純物分布がある関数で与えられると、

$$E = \int \frac{qN(x)}{\epsilon r \epsilon_0} dx \quad \dots\dots\dots (5)$$

$$V = - \int E(x) dx \quad \dots\dots\dots (6)$$

$$C_j = \frac{\epsilon r \epsilon_0 S_j}{x} \quad \dots\dots\dots (7)$$

$\epsilon_0$ : 真空中の誘電率

$\epsilon_r$ : 比誘電率 で表すことができます。

また、容量-逆電圧の関係は、前述のとおり、 $C = K (V_R + \phi)^{-n}$  で表すことができ、傾斜接合形の場合  $n=1/3$ 、階段接合形の場合  $n=1/2$ 、そして超階段接合形の場合  $n=1/2$  以上となります。

## 3.1.7. 容量の温度依存性

可変容量ダイオードの容量温度変化は、①拡散電位の温度変化、②誘電率の温度変化に起因します。これは次式で表すことができます。

$$\frac{1}{C_j} \cdot \frac{\partial C_j}{\partial T} = \frac{1}{K} \cdot \frac{dK}{dT} - \frac{n}{V_R + \phi} \cdot \frac{d\phi}{dT} \quad \dots\dots\dots (8)$$

ここで、第 1 項の誘電率の温度変化はシリコンの場合約 35ppm/°C です。

また、第 2 項拡散電位の温度変化は約 -2 mV/°C です。

可変容量ダイオードにおいて、容量の電圧依存性がある以上、容量の温度依存性をまったくなくすることは不可能です。しかし、同じ容量比を得る場合、ある逆電圧  $V_R$  における  $n$  の選び方により、容量の温度依存性はある程度小さくすることができます。

## 3.1.8. 交流信号電圧による平均容量の変動

可変容量ダイオードは PN の接合の逆バイアス電圧を変えることにより、空乏層を変化させ、この空乏層の変化が接合容量の変化となることを利用したものです。従って、図 3.3 のようにある直流バイアス電圧の上に交流信号が乗った状態では、この交流信号の影響で空乏層が変化します。

このため、この交流信号を印加したときの容量と、そうでないときの容量とでは容量の平均値が異なります。

これは(1)式で示す容量と逆電圧との関係が一般に一次関数とならないためです。

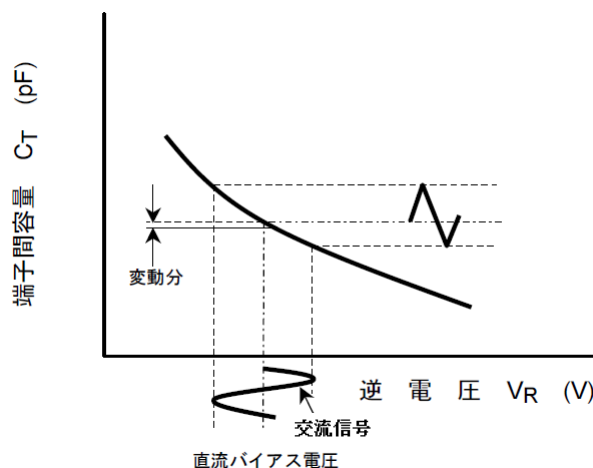


図 3.3 容量-逆電圧における容量変動の図解

平均容量の変動は次式で表すことができます。

$$\frac{C_{jac}}{C_{jDC}} = \frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} \left(1 + \frac{v \sin \omega t}{V_R + \varphi}\right)^{-n} d(\omega t) \quad \dots\dots\dots (9)$$

$C_{jac}$  : 交流信号印加時の容量  
 $C_{jDC}$  : 直流バイアス印加時の容量  
 $v \sin \omega t$ : 交流信号レベル

容量の変動率 $\Delta C$ は

$$\Delta C = \frac{C_{jac} - C_{jDC}}{C_{jDC}} \times 100 (\%) \quad \dots\dots\dots (10)$$

$$C_{jac} = \frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} K(V_R + \varphi + v \sin \omega t)^{-n} d(\omega t) \quad \dots\dots\dots (11)$$

となります。

なお、(9)~(11) 式は  $n$  が一定と近似し得る区間でのみ成立し、超階段接合形のように  $n$  が逆電圧により変化する場合は注意が必要です。

可変容量ダイオードにおいては、容量の温度依存性同様、交流信号電圧による平均容量の変動をまったくなくすることは不可能です。

しかし、同じ容量変化比を取るにしても、ある逆電圧  $V_R$  における  $n$  の選定法により、ある程度小さくすることはできます。

### 3.1.9. Q の電圧、周波数依存性

性能指数  $Q$  が逆電圧により変化するの、は、接合容量  $C_j$ 、直列抵抗  $r_s$  が変化するためです。しかし、直列抵抗  $r_s$  の変化に比べ、接合容量  $C_j$  の変化の方がはるかに大きいため、 $Q$  の電圧依存性は接合容量  $C_j$  の電圧依存性が支配的です。

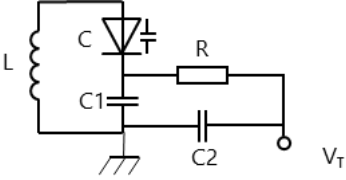
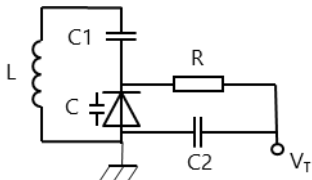
$Q$  の周波数依存性例は(3)式より、直列抵抗  $r_s$  が一定の場合、周波数に逆比例します。

周波数が高くなると、リードインダクタンス  $L_s$  の影響やケース部損失抵抗  $R_{p-case}$  の影響を受け  $Q$  が低下することがあります。

3.1.10. 可変容量ダイオードの同調回路への応用

可変容量ダイオードのバイアス法  
電子チューナにおいては、可変容量ダイオードに直流電圧を加える必要があります。そのバイアス方法を下記に示します。

表 3.2 可変容量ダイオードのバイアス法

|       | バイアス回路例 (1)                                                                                                                                                                                                                                                    | バイアス回路例 (2)                                                                                                                                                                                                                                                                           |
|-------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 回路    |                                                                                                                                                                               |                                                                                                                                                                                                     |
| 回路のQ  | $C1 = C2 = 0.1 \mu F, R = 100 k\Omega$<br>$\omega = 1/\sqrt{LC}$<br>LのQを $Q_L$ とし、バリキャップCのQを $Q_C$ とすると、回路Qは下式となります。<br>$Q = \frac{Q_C Q_L}{Q_C + Q_L} \dots\dots\dots (2-1)$<br>$C_1$ がCに比べ非常に大きい。RはC, Lに並列に加わらないので、回路QはRの影響を受けない。従って、Rは、からなずしも大きくする必要はありません。 | $C1 = C2 = 0.1 \mu F, R = 100 k\Omega$<br>$\omega = 1/\sqrt{LC}$<br>LのQを $Q_L$ とし、バリキャップCのQを $Q_C$ とすると、回路Qは下式となります。<br>$Q = \frac{1}{\frac{1}{Q_C} + \frac{1}{Q_L} + \frac{1}{R\sqrt{L/C}}} \dots\dots\dots (2-2)$<br>Rは、C, Lに並列に加わるので(2-2)式のとおり回路QはRの影響を受け低下します。特にCが小さいときRの影響を受けます。 |
| 推奨回路段 | 回路の高Qを必要とするステージに適しています。<br><br>(例)<br>AM チューナ/アンテナ回路, RF<br>FM チューナ/アンテナ回路, RF, OSC                                                                                                                                                                            | 回路の高Qを必要としないステージ、もしくは、わざとQを低下させるステージに適しています。<br><br>(例)<br>AM チューナ/OSC                                                                                                                                                                                                                |

可変容量ダイオードのバイアス法を表 3.2 に 2 例示しましたが、使用ステージにより選択すれば、非常に有効です。また、その他注意事項としては、バイアス用抵抗 R は、リーク電流を考慮すると、200 kΩ 以下が適当と考えられます。

トラッキング回路の定数の決定

スーパー・ヘテロダイン方式のチューナは、受信周波数  $f_s$  と局部発振周波数  $f_0$  により、中間周波数  $f_{IF}$  を作り出します。 $f_s, f_0, f_{IF}$  の関係は、次式となります。

$f_{IF} = |f_0 - f_s| \dots\dots\dots (2-3)$   
AM:  $f_{IF} = 450 \text{ kHz}$  (PLL IC との結合を考慮)  
FM:  $f_{IF} = 10.7 \text{ MHz}$

FM チューナについては、従来のバリコン使用の回路において、バリコンと可変容量ダイオードを置き換えるだけなので、トラッキング回路も回路定数の決定も従来どおり行うことができます。  
AM チューナについては、従来のトラッキング・レス・バリコン使用の回路に比べると、アンテナ同調回路、RF 同調回路は同じですが、局部発振回路は異なります。トラッキング・レス・バリコンの場合

合、ある  $L$  に対し (2-3) 式を満足すべく、アンテナ，RF 同調用の容量対回転角特性を基準に局部発振用の容量対回転角特性を変えています。可変容量ダイオードの容量対電圧特性は各使用段とも同じであるため、(2-3) 式を満足させるために局部発振回路に工夫が必要です。

以下、代表的な回路例を用い、定数を求める計算式を示します。

(1) FM トラッキング回路定数の計算

ここでは、LC 共振回路を等価回路に置き換え、下記の条件により 2 点トラッキング回路定数の計算を示します。2 点トラッキングは、受信周波数のうち 2 点(一般に最大と最小周波数)でだけ  $F_{IF}$  が 10.7 MHz になるよう調整します。

- (a) 可変容量ダイオードの使用電圧範囲 :  $V_T = V_{min} \sim V_{max}$
  - (b) 可変容量ダイオードの容量変化範囲 :  $C = C_{max} \text{ (at } V_{min}) \sim C_{min} \text{ (at } V_{max})$
- なお、各段に使用される可変容量ダイオードの  $C-V_T$  特性は、すべて同一とする。
- (c) 受信周波数範囲 :  $f_{smin} \text{ (at } C_{max}) \sim f_{smax} \text{ (at } C_{min})$
  - (d) 局部発振周波数範囲 :  $f_{0min} \text{ (at } C_{max}) \sim f_{0max} \text{ (at } C_{min})$
- なお、 $f_{0min} = f_{smin} \pm 10.7 \text{ MHz}$ ,  $f_{0max} = f_{smax} \pm 10.7 \text{ MHz}$   
(ただし日本は－、米・欧は＋)

表 3.3 チューナの 2 点トラッキング回路定数の計算

|          | アンテナ・RF 回路                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        | 局部発振回路                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |
|----------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 等価回路     |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |
| 回路定数の計算式 | <p><math>C_1</math>: 調整用トリマ容量, 回路容量および能動素子容量などのトータル容量です。</p> $f_s = \frac{1}{2\pi\sqrt{L_1(C+C_1)}} \dots\dots\dots (2-4)$ <p>従って</p> $\left(\frac{f_{smax}}{f_{smin}}\right)^2 = \frac{C_{max}+C_1}{C_{min}+C_1} \dots\dots\dots (2-5)$ <p>ゆえに</p> $C_1 = \frac{C_{max}-\left(\frac{f_{smax}}{f_{smin}}\right)^2 C_{min}}{\left(\frac{f_{smax}}{f_{smin}}\right)^2 - 1} \dots\dots\dots (2-6)$ <p>また</p> $L_1 = \frac{1}{4\pi^2 f_{smax}^2 (C_{min}+C_1)} \dots\dots\dots (2-7)$ | <p><math>C_2</math>: 調整用トリマ容量, 回路容量および能動素子容量などのトータル容量です。</p> $f_0 = \frac{1}{2\pi\sqrt{L_2(C+C_2)}} \dots\dots\dots (2-8)$ <p>従って</p> $\left(\frac{f_{0max}}{f_{0min}}\right)^2 = \frac{C_{max}+C_2}{C_{min}+C_2} \dots\dots\dots (2-9)$ <p>ただし <math>\begin{cases} f_{0max} = f_{smax} \pm f_{IF} \\ f_{0min} = f_{smin} \pm f_{IF} \end{cases}</math></p> <p>ゆえに</p> $C_2 = \frac{C_{max}-\left(\frac{f_{0max}}{f_{0min}}\right)^2 C_{min}}{\left(\frac{f_{0max}}{f_{0min}}\right)^2 - 1} \dots\dots\dots (2-10)$ <p>また</p> $L_2 = \frac{1}{4\pi^2 f_{0max}^2 (C_{min}+C_2)} \dots\dots\dots (2-11)$ |
| 回路定数の計算例 |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |

(2) AM（中波）トラッキング回路定数の計算

AM 中波は、FM に比べ受信周波数の変化比が大きい。そのため、2 点トラッキングでは、 $f_{IF}$  が 450 kHz 波から非常にずれる部分が生じます。そこで、パディング・コンデンサ法による 3 点トラッキングを行います。3 点トラッキングは、受信周波数内の大・中・小の 3 点でのみ  $f_{IF}$  が 450 kHz に一致し、ほかの周波数では若干ずれます。しかし、これは実装上問題になるレベルではありません。以下、下記条件にもとづき、トラッキング回路定数の計算を示します。

- (a) 可変容量ダイオードの使用電圧範囲

(b) 可変容量ダイオードの容量変化範囲

なお、各段に使用される可変容量ダイオードの  $C$ - $V_T$  特性は、すべて同一とする。

(c) 受信周波数範囲

(d) 局部発振周波数範囲

(e) 受信用波数の 3 点トラッキングポイント

(f) 局部発振周波数の 3 点トラッキングポイント
- $: V_T = V_{min} \sim V_{max}$

$: C = C_{min} \text{ (at } V_{max}) \sim C_{max} \text{ (at } V_{min})$

$: f_s = f_{smin} \sim f_{smax}$

$: f_0 = f_{0min} \sim f_{0max}$

$: f_{s1} \text{ (at } C_{s1}), f_{s2} \text{ (at } C_{s2}), f_{s3} \text{ (at } C_{s3})$

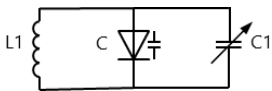
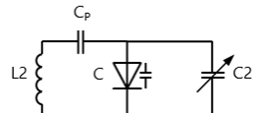
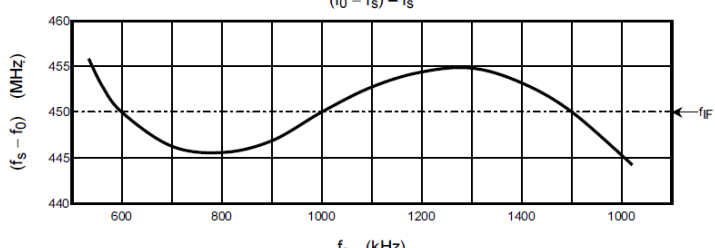
$: f_{01} \text{ (at } C_{s1}), f_{02} \text{ (at } C_{s2}), f_{03} \text{ (at } C_{s3})$

$f_{01} = f_{s1} + 450 \text{ kHz}$

$f_{02} = f_{s2} + 450 \text{ kHz}$

$f_{03} = f_{s3} + 450 \text{ kHz}$

表 3.4 AM（中波）チューナの 3 点トラッキング回路定数の計算

|          | アンテナ・RF 回路                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   | 局部発振回路                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |
|----------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 等価回路     | <div></div> <div><math>C_1</math>: 調整用トリマ容量, 回路容量および能動素子容量などのトータル容量です。</div>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               | <div></div> <div><math>C_p</math>: パディング容量<br/><math>C_2</math>: 調整用トリマ容量, 回路容量および能動素子容量などのトータル容量です。</div>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |
| 回路定数の計算式 | <div><math display="block">f_s = \frac{1}{2\pi\sqrt{L_1(C+C_1)}} \dots\dots\dots (2-12)</math></div> <div>従って</div> <div><math display="block">\left(\frac{f_{smax}}{f_{smin}}\right)^2 = \frac{C_{max}+C_1}{C_{min}+C_1} \dots\dots\dots (2-13)</math></div> <div>ゆえに</div> <div><math display="block">C_1 = \frac{C_{max}-\left(\frac{f_{smax}}{f_{smin}}\right)^2 C_{min}}{\left(\frac{f_{smax}}{f_{smin}}\right)^2 - 1} \dots\dots\dots (2-14)</math></div> <div>また</div> <div><math display="block">L_1 = \frac{1}{4\pi^2 f_{smax}^2 (C_{min}+C_1)} \dots\dots\dots (2-15)</math></div> | <div><math display="block">f_{0k} = \frac{1}{2\pi\sqrt{L_2\frac{C_P(C_{sk}+C_2)}{C_{sk}+C_2+C_P}}} \dots\dots\dots (2-16)</math></div> <div>また</div> <div><math display="block">C_{sk} = \frac{1}{4\pi^2 f_{sk}^2 L_1} - C_1 \dots\dots\dots (2-17)</math><div>(ただし、<math>k=1, 2, 3</math>)</div></div> <div>ゆえに</div> <div><math display="block">C_2 = \frac{(f_{01}^2-f_{02}^2)C_{s1}C_{s2}+(f_{02}^2-f_{03}^2)C_{s2}C_{s3}+(f_{03}^2-f_{01}^2)C_{s1}C_{s3}}{(f_{01}^2-f_{02}^2)C_{s3}+(f_{02}^2-f_{03}^2)C_{s3}+(f_{03}^2-f_{01}^2)C_{s2}} \dots\dots\dots (2-18)</math></div> <div><math display="block">C_P = \frac{(f_{02}^2-f_{01}^2)(C_{s2}+C_{s1})(C_2+C_{s2})}{(f_{01}^2-f_{02}^2)C_2+f_{01}^2C_{s1}-f_{02}^2C_{s2}} \dots\dots\dots (2-19)</math></div> <div>また、</div> <div><math display="block">L_2 = \frac{C_{s1}+C_2+C_P}{4\pi^2 f_{01}^2 C_P (C_2+C_{s1})} \dots\dots\dots (2-20)</math></div> |
| 回路定数の計算例 | <div></div>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |

### 3.1.11. PIN ダイオード

一般のPN接合ダイオードの間に真性半導体であるI層を設けPIN接合としたのがPINダイオードです。PINダイオードはPIN接合の順方向電流を制御することにより高周波直列抵抗 $r_s$ を変化させることができる高周波可変抵抗素子で、マイクロ波の回線切り替え、テレビ・ラジオのバンド切り替え、AGCなど多種用途に使用されます。

### 3.1.12. PIN ダイオードの動作原理と構造図

PINダイオードに図3.4のような順バイアス電圧を印加するとI層内に電子、正孔の注入が行われます。この注入された電子、正孔は再結合し、順方向電流となるものと、I層内に蓄積されるものとがあります。I層内に蓄積された電子、正孔はI層の導電率を上げ、高周波における直列抵抗 $r_s$ を低下させ、高周波可変抵抗素子としての動作をします。

図3.5にPINダイオードの構造図を示します。

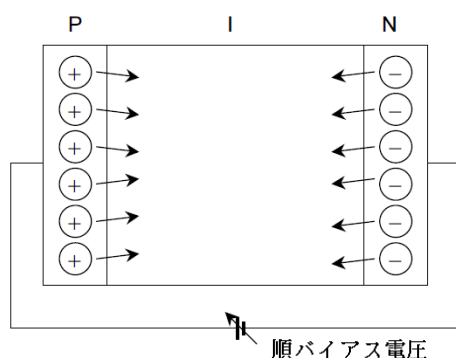


図 3.4 動作説明図

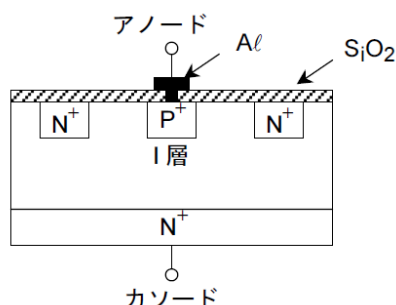


図 3.5 構造図

## PIN ダイオードの基本パラメータ

 $r_s$ : 直列抵抗順バイアスにおけるPIN ダイオードの直列抵抗  $r_s$  は、

$$r_s = r_i + r_c \quad \dots\dots\dots (1)$$

 $r_i$ : I 層の抵抗 $r_c$ : 半導体接触抵抗と表すことができます。

$$r_i = \frac{l^2}{I_F \tau (\mu_e + \mu_h)} \quad \dots\dots\dots (2)$$

 $l$ : I 層の厚さ $I_F$ : 直流電流 $\mu_e$ : 電子のドリフト移動度 $\mu_h$ : 正孔のドリフト移動度 $\tau$ : I 層におけるキャリアのライフタイム

$$r_c = \frac{\rho_{n^+} l_{n^+} + \rho_{P^+} l_{P^+}}{A} + \frac{\rho_{cn^+}}{A} + \frac{\rho_{cP^+}}{A}$$

$$= \frac{\bar{\rho}_c}{A} \quad \dots\dots\dots (3)$$

 $\rho_{n^+}, \rho_{P^+}$ :  $n^+$  と  $P^+$  の層の比抵抗 $l_{n^+}, l_{P^+}$ :  $n^+$  と  $P^+$  の層の比抵抗 $\rho_{cn^+}$ : メタルと  $n^+$  層の固有接触抵抗 $\rho_{cP^+}$ : メタルと  $P^+$  層の固有接触抵抗 $\rho_{cP^+}$ : メタルと  $P^+$  層の固有接触抵抗 $\bar{\rho}_c$ : 全等価固有接触抵抗 $A$ : ダイオードの面積

(1) 式に (2), (3) 式を代入すると、(4) 式が得られます。

$$r_s = \frac{l^2}{I_F \tau (\mu_e + \mu_h)} + \frac{\bar{\rho}_c}{A} \quad \dots\dots\dots (4)$$

 $C_T$ : 端子間容量

アノード・カソード間の総容量で接合容量とケース容量が支配的です。



## 3.1.13. 応用回路例

図 3.6 は  $\pi$  型アッテネータ、図 3.7 は高周波スイッチ回路例です。

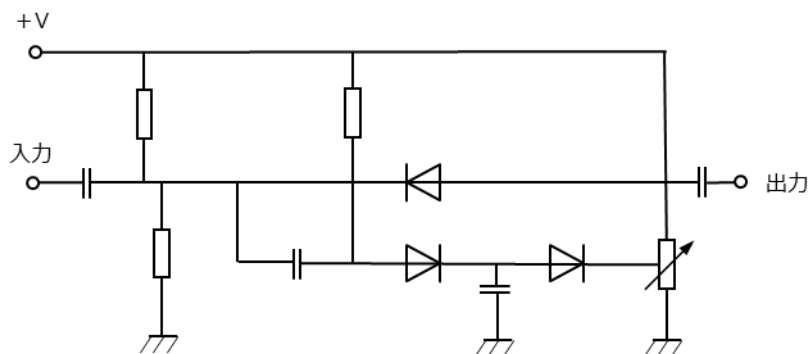


図 3.6  $\pi$  型アッテネータ

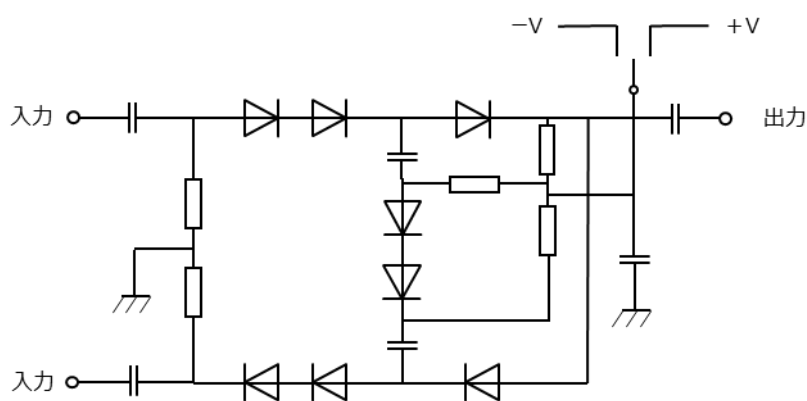


図 3.7 高周波スイッチ

### 3.1.14. ショットキーバリアダイオード

金属と半導体の接触による整流性を利用したダイオードで、ショットキーが提唱したものであるため、ショットキーバリアダイオードと呼ばれます。

蒸着した金属とN形エピタキシャル層との間にショットキー障壁を作るのが特徴です。ショットキー障壁を作る代表的な金属はモリブデン(Mo)、チタン(Ti)などです。ショットキーバリアダイオードは立ち上がり電圧がGeダイオード同様と小さく、しかも点接触ダイオードのように針圧などの複雑なファクタがないため、製造上取り扱いやすくなっています。

このダイオードは主としてUHF帯以上での混合回路、検波回路に使用され、点接触型より雑音指数に優れ、かつ機械的・電氣的にも強いという信頼性上の利点があります。図3.8にショットキーバリアダイオードの構造図を示します。

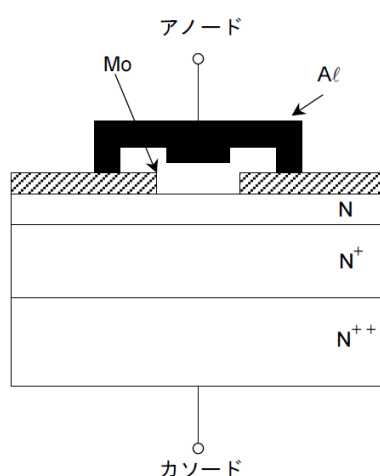


図 3.8 ショットキーバリアダイオード構造図

### 製品取り扱い上のお願い

株式会社東芝およびその子会社ならびに関係会社を以下「当社」といいます。

本資料に掲載されているハードウェア、ソフトウェアおよびシステムを以下「本製品」といいます。

- ・ 本製品に関する情報等、本資料の掲載内容は、技術の進歩などにより予告なしに変更されることがあります。
- ・ 文書による当社の事前の承諾なしに本資料の転載複製を禁じます。また、文書による当社の事前の承諾を得て本資料を転載複製する場合でも、記載内容に一切変更を加えたり、削除したりしないでください。
- ・ 当社は品質、信頼性の向上に努めていますが、半導体・ストレージ製品は一般に誤作動または故障する場合があります。本製品をご使用頂く場合は、本製品の誤作動や故障により生命・身体・財産が侵害されることのないように、お客様の責任において、お客様のハードウェア・ソフトウェア・システムに必要な安全設計を行うことをお願いいたします。なお、設計および使用に際しては、本製品に関する最新の情報（本資料、仕様書、データシート、アプリケーションノート、半導体信頼性ハンドブックなど）および本製品が使用される機器の取扱説明書、操作説明書などをご確認の上、これに従ってください。また、上記資料などに記載の製品データ、図、表などに示す技術的な内容、プログラム、アルゴリズムその他応用回路例などの情報を使用する場合は、お客様の製品単独およびシステム全体で十分に評価し、お客様の責任において適用可否を判断してください。
- ・ 本製品は、特別に高い品質・信頼性が要求され、またはその故障や誤作動が生命・身体に危害を及ぼす恐れ、膨大な財産損害を引き起こす恐れ、もしくは社会に深刻な影響を及ぼす恐れのある機器（以下“特定用途”という）に使用されることは意図されていませんし、保証もされていません。特定用途には原子力関連機器、航空・宇宙機器、医療機器（ヘルスケア除く）、車載・輸送機器、列車・船舶機器、交通信号機器、燃焼・爆発制御機器、各種安全関連機器、昇降機器、発電関連機器などが含まれますが、本資料に個別に記載する用途は除きます。特定用途に使用された場合には、当社は一切の責任を負いません。なお、詳細は当社営業窓口まで、または当社 Web サイトのお問い合わせフォームからお問い合わせください。
- ・ 本製品を分解、解析、リバースエンジニアリング、改造、改変、翻案、複製等しないでください。
- ・ 本製品を、国内外の法令、規則及び命令により、製造、使用、販売を禁止されている製品に使用することはできません。
- ・ 本資料に掲載してある技術情報は、製品の代表的動作・応用を説明するためのもので、その使用に際して当社及び第三者の知的財産権その他の権利に対する保証または実施権の許諾を行うものではありません。
- ・ 別途、書面による契約またはお客様と当社が合意した仕様書がない限り、当社は、本製品および技術情報に関して、明示的にも黙示的にも一切の保証（機能動作の保証、商品性の保証、特定目的への合致の保証、情報の正確性の保証、第三者の権利の非侵害保証を含むがこれに限らない。）をしておりません。
- ・ 本製品、または本資料に掲載されている技術情報を、大量破壊兵器の開発等の目的、軍事利用の目的、あるいはその他軍事用途の目的で使用しないでください。また、輸出に際しては、「外国為替及び外国貿易法」、「米国輸出管理規則」等、適用ある輸出関連法令を遵守し、それらの定めるところにより必要な手続を行ってください。
- ・ 本製品の RoHS 適合性など、詳細につきましては製品個別に必ず当社営業窓口までお問い合わせください。本製品のご使用に際しては、特定の物質の含有・使用を規制する RoHS 指令等、適用ある環境関連法令を十分調査の上、かかる法令に適合するようご使用ください。お客様がかかる法令を遵守しないことにより生じた損害に関して、当社は一切の責任を負いかねます。