

電電公社 電気通信研究所 藤本正友 佐藤寿夫 石井康博 山崎肇

ミリメートル波帯における周波数選倍用ダイオードとして、メサ型およびプレーナ拡散型構造のGaAs拡散ダイオードの研究試作を行ない、その製作技術とダイオードの11.75 GHzより47 GHzへの4選倍特性について検討した。ミリメートル波帯でもちいるバラクタダイオードとしては高遮断周波数が要求される。したがって直列抵抗と接合容量が小さく容量変化率の大きい素子を得る必要がある。著者らは n - n^+ GaAsエピタキシャル結晶へのZnの拡散について詳細な実験を行ない、薄い均一な P - n 接合面を再現性よく形成し、微小接合面積を得る方法として、メサエッチおよび選択不純物拡散を検討してミリメートル波帯ですぐれた特性を示すGaAsバラクタ素子を得た。

1) Znの拡散。実験にもちいた n - n^+ エピタキシャル結晶^は n 層のギャリア濃度 $10^{16} \sim 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ 、エピタキシャル層の厚み $2 \sim 7 \mu$ 、 n^+ 層の比抵抗 $7 \sim 9 \times 10^{-4} \Omega \text{ cm}$ である。 P 型不純物として、拡散係数が大きく、比較的短時間に低温で P - n 接合を作ることのできるZnをもちいた。Znの拡散による P - n 接合面はふなり凹凸があることが報告されていたが約1気圧のAs蒸気圧下で拡散することによりかなり均一な P - n 接合面を得ることができた。

2) メサ型拡散ダイオード。電極はNi-Auを合金し、アロング型ケースに組込んでAuリード線を熱圧着した後、電極金属をマスクとして化学研磨および電解研磨によってメサ型構造にした。最終的なメサ径は電解研磨によって $10 \sim 20 \mu$ 程度に制御することができた。

3) プレーナ型拡散ダイオード。Znに対する選択拡散マスクとしては、 SiO_2 膜、 P_2O_5 を含む SiO_2 膜が知られているがこれらは高温、長時間の拡散に対して十分なマスク効果を示さない。また SiO_2 膜のGaAs表面への密着性、界面における格子欠陥の発生、界面に沿って進む不純物拡散(横方向拡散)等のGaAs結晶と SiO_2 膜の熱膨張係数の差に起因する種々の問題がある。我々は珪酸エチルおよびリン酸トリメチルの熱分解(700°C)により作成した SiO_2 、 $\text{SiO}_2/\text{P}_2\text{O}_5$ 膜と熔融石英のRFスパッタにより作成した SiO_2 膜についてZnに対する拡散マスク効果および横方向拡散の広がりについて検討し良好な結果を得た。熱分解により作成した SiO_2 膜の横方向拡散の広がり、Znの拡散分布が誤差関数にしたがうと仮定して計算して得た値と比較して約1.5~2.0倍の広がりを示す。一方スパッタ膜の場合はほぼ計算値に近い。写真(a)、(b)はスパッタ、熱分解 SiO_2 膜を拡散マスクとして同一拡散条件下でZnを拡散した試料の斜め研磨面を示したものである。スパッタ膜の場合、横方向拡散の広がり、熱分解膜と比較して $\frac{1}{2} \sim \frac{1}{3}$ に減少している。またZn拡散に対するマスク効果に関して、スパッタ SiO_2 膜は良好な性質を示しプレーナ型拡散に使用するのにほとんど問題のないことがわかった。以下に述べるプレーナ型ダイオードの試作にはスパッタ SiO_2 を拡散マスクとして用いた。選択拡散による P - n 接合は、 n - n^+ エピタキシャル

GaAs表面に、熔融石英のR.Fスパッタにより約 $0.4 \sim 0.6 \mu$ の SiO_2 膜を形成し $5 \sim 15 \mu$ の拡散窓を明け、 As 蒸気圧下で Zn を拡散して形成した。接合の深さは $0.3 \sim 1.5 \mu$ である。

4) 拡散ダイオードの特性 ダイオードをプロング型および導波管型ケースに組み立て静特性および4進倍特性を測定した。表-1は静特性の一例を示したものである。4進倍特性は入力周波数 11.75 GHz 出力周波数 47 GHz において測定した。図-1、図-2はメサ型およびプレーナ型拡散ダイオードの4進倍動作における入力電力と出力電力との関係を示したものでメサ型の入力レベルにおいて進倍回路を最良調整したものである。メサ型ダイオードにおいて 18 dBm 入力の場合の4進倍変換損失の最小値 5.6 dB （効率 28% ）プレーナ型構造ダイオードにおいて 16 dBm 入力の場合 3.7 dB （効率 42% ）を示している。これらの特性は既発表のミリメートル波出力4進倍器の実験データと上まわるきわめてすぐれた性能である。図にみられるように入力励振によるダイオード整流電流が小さいことは少数キャリアの蓄積効果が進倍動作に関与し進倍効率を向上していることがわかる。また以上の拡散ダイオードをミリメートル波帯up-converterとして実験した結果GaAs Schottky ダイオードと同程度またはそれ以上の性能を示した。本研究を進めるにあたりダイオードの製作および高周波測定に御協力頂いた通研、半導体部品研、矢ヶ崎恒夫氏、小川重雄氏、石田暁氏、新山肇氏に感謝します。また種々御助言、御指導頂いた通研、今井室長に感謝致します。

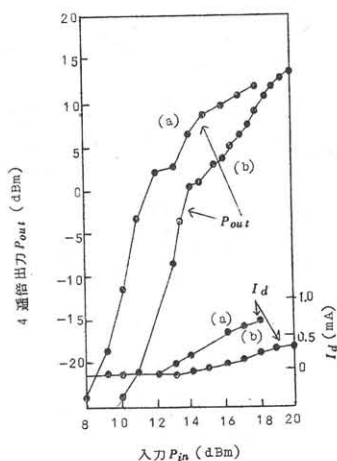


図1. メサ型ダイオードの 47 GHz 4進倍特性

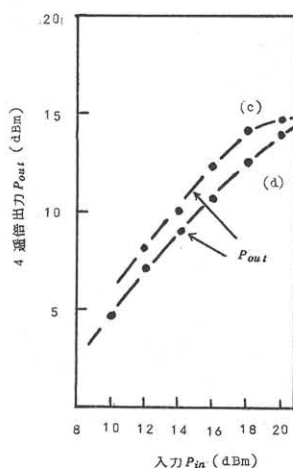
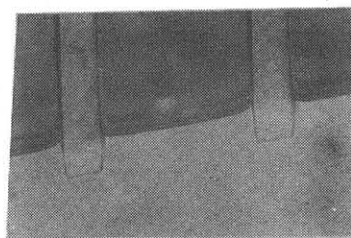


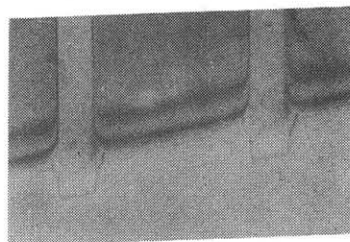
図2. プレーナ型ダイオードの 47 GHz 4進倍特性

		$V_f 10 \text{ mA}$ (v)	$V_b 50 \mu\text{A}$ (v)	R_s (Ω)	ΔC_{-1} (mpF)
mesa	(a)	1.32	52	2.0	31
	(b)	1.36	29	2.0	25
planar	(c)	1.34	23	2.0	15
	(d)	1.36	18	2.6	6

表-1 拡散ダイオードの静特性 $\Delta C_{-1} = C_0 - C_{-1}$



(a) Sputter SiO_2



(b) Thermal decomposition SiO_2
 700°C , $P_{\text{As}_4} = 1 \text{ atm}$, 2hr

Zn の選択拡散