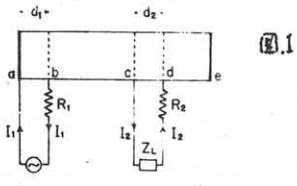


電々公社電気通信研究所

隈部建治, 神戸宏, 大原省爾

序 さきに, GaAsバルク中の Gunn効果を利用した進行波増幅素子について報告した。この素子に於いて, 入力部でのマイクロ波による空間電荷波の励振機構及び出力部での増大された空間電荷波よりマイクロ波を取り出す機構は, 利得, 飽和出力, 雑音, 周波数特性に関連していて重要である。最近これに関する理論解析及び実験を行ったところ両者の結果はよく一致し, 結合の機構がかなり明らかになったので報告する。

解析 解析には次の仮定をした。(1) 素子中の静電界分布は一様とする。(2) 問題を1次元とし, 素子の単位断面積に対する解析をする。(3) 励振及び取り出し電極は図1に示すように平行平面電極とするが, 素子中の電子流の流通は妨げないものとする。(4) 入力部の励振電極aはオームック接合とし, そのでは電界は零とする。(5) 拡散は無視する。陽極附近で拡散を無視するのは物理的に下備があるが, 図1に示すようにマイクロ波取り出し電極c,dが陽極からある距離だけ離れていれば拡散を無視しても現象の本質を見失うことはない。(6) 入力部と出力部はマイクロ波に対して完全に分離されていてb-c及びd-e間は全電流は零とする。(7) 実験とあわせるために, 入力及び出力部には直列抵抗 R_1, R_2 が存在する。(8) 入力部及び出力部は外部回路と完全に整合しているものとする。



入力部 a面を $z=0$ とする。オームック電極aより全電流 I_1 が流入している場合のa-b間での電界は, 境界条件($z=0, E=0$)を考慮して,

$$E = \frac{I_1}{d\sigma_0 + j\omega\epsilon} - \frac{I_1}{d\sigma_0 + j\omega\epsilon} e^{-\Gamma z} \quad \dots (1)$$

ただし,

$$d = 1 + \frac{E}{v_0} \frac{\partial v_0}{\partial E}, \quad \Gamma = \frac{d\sigma_0}{\epsilon v_0} + j \frac{\omega}{v_0}$$

v_0 : 電子平均速度, σ_0 : GaAsの導電率, ϵ : GaAsの誘電率である。(1)式第2項は全電流 I_1 により励振される空間電荷波による電界であり励振の能力は

$|A_1| = |I_1 / (d\sigma_0 + j\omega\epsilon)|$ で決まる。(1)式より入力インピーダンス $Z_1 = r_1 + jx_1$ を求め I_1 を入力 P_{in} で書き替えると励振の能力のめやすを与える次の式が得られる。

$$k_1^2 = \frac{|A_1|^2}{P_{in}} = \frac{2}{(r_1 + R_1) |d\sigma_0 + j\omega\epsilon|^2} \quad \dots (2)$$

出力部 c面を改めて $z=0$ とするとc-d間での電界は,

$$E = \frac{I_2}{d\sigma_0 + j\omega\epsilon} + A_2 e^{-\Gamma z}, \quad A_2 = A_1 e^{-\Gamma l} \quad \dots (3)$$

c-d間の電圧は素子外部のインピーダンスによる電圧降下に等しいことから I_2 が求まり, Z_L に取り出されるpowerが決まる。最大のマイクロ波電力

(available power) と $|A_2|^2$ との比は,

$$k_2^2 = \frac{P_{out}}{|A_2|^2} = \frac{1}{8} \left| \frac{1 - e^{-\Gamma d_2}}{\Gamma} \right|^2 \left(R_2 + \frac{-d\sigma_0 d_2}{|d\sigma_0 + j\omega\epsilon|^2} \right)^{-1} \quad \dots (4)$$

k_2^2 は空間電荷波よりマイクロ波出力を取り出す能率のめやすになる値であり, また飽和出力の周波数特性も表わしている。以上の解析から増幅器の利得が求まる。

$$G(\text{dB}) = 10 \log k_1^2 k_2^2 + 8.63 \frac{-d\sigma_0}{\epsilon V_0} l \quad \text{----- (5)}$$

第1項は入出力部に於ける損失を与え、第2項は α が負の時に空間電荷波が増大することによる利得を与える。図2は $d=d_1=d_2=100\mu$ と 75μ の場合の結合損失の周波数変化である。全般的に結合損失は周波数と共に増大する。図3は $d=100\mu$ の時の k_1 及び k_2 の周波数変化である。

実験 素子の構造を図4に示す。 $l=600\mu$, $\rho=100\Omega\text{cm}$ である。入力部でのマイクロ波電界はオーミック電極とアース板間に垂直に加わり、電極直下では電子流に垂直成分があるために空間電荷波を励振することが出来る。出力部ではアースに垂直に流れ込む空間電荷波によりストリップ線路上にマイクロ波を誘起する。従って励振電極間の距離 d はこの場合素子の厚さに相当し、励振又は取り出しに關係している突効的な厚さは右よりも小さく、残りの部分は直列抵抗となる。図5は $d=247\mu$ の時の利得の周波数変化である。各周波数で整合を取りながら測定したものであり、空間電荷波の増大率は周波数に依存しないので結合損失の周波数変化があらわに表われている。1GHzに大きなpeakがあり3GHzに小さなpeakがある点で図2の実線とよく似ている。この素子の裏面を研磨して $d=100\mu$ にした時の同様のデータを図6に示す。peakがつぶれている点は図2の点線の傾向と一致している。またいずれの場合も飽和出力は低周波ほど大きく、図3の k_2 の傾向と一致する。図5,6の利得の小さい高周波側で200MHzの周期で曲線は振動しているが、この周期は素子の長さ l に対する電子走行時間できまるものであり、素子中で全電流が零になっていないことを示す。従ってこの現象は前述の解析には取り入れられていない。

検討 この解析は実験とよく一致しているの
で現象の本質をとらえていると思われ、今後の素子の設計に有用である。しかし結合部の具体的な構造及び励振、取り出し電極の接合の性質は考慮されておらず、さらに詳しい解析が必要である。また入カインピーダンスの測定等により結合の機構を実験的にもさらに研究する予定である。 (参) 1969年3月応物シンポジウム 31P-GA-4

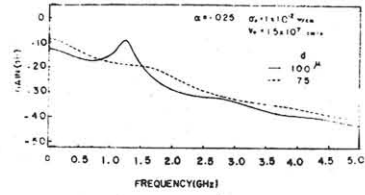


図2

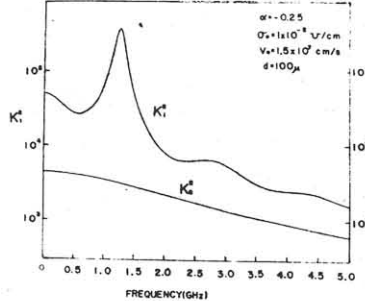


図3

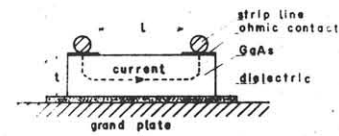


図4

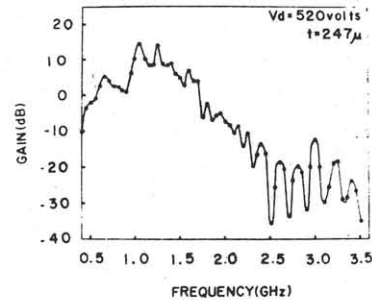


図5

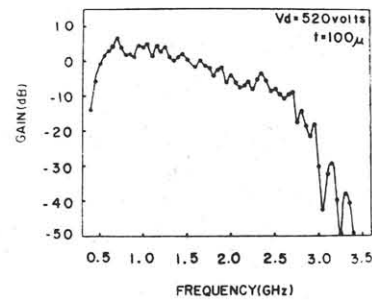


図6