

6-3 高速度サイリスタのターンオン広がり現象

日立 日立研 手沢 義雄

1. 緒言

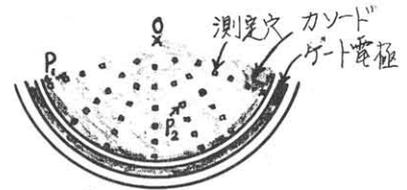
高速度スイッチングサイリスタでは、ターンオフ時間を短くする必要があり、P-n-P-n接合におけるキャリアのライフタイムを短くしてある。したがって、ターンオン領域の広がり方が遅くなり電流がサイリスタ接合面の局部に集中して温度が上昇し、ターンオフ時間の増大や耐圧の低下が問題になる。スイッチング特性の優れたサイリスタを製作するためには、ゲート尖弧によるターンオン領域が時間的にどのように広がっていくかを明らかにしておく必要がある。本報では半導体の微小部分 ($0.01 \sim 0.05 \text{ mm}^2$) におけるキャリア濃度の時間的変化を測定できる新マイクロ波法⁽¹⁾⁽²⁾を用いて、サイリスタ接合内におけるサイリスタ電流の流れ方および注入キャリア濃度の時間的変化を測定し、高速度サイリスタのターンオン広がり現象を調べた。

2. 測定方法

図1に測定に用いたサイリスタの構造を示す。リング状のゲート電極とカソード間にゲート電圧を印加することにより、カソードの全周辺部でほぼ同時にターンオンする。カソード電極にnエミッタ層に達する測定穴 ($0.5 \text{ mm} \times 0.5 \text{ mm}$) をあけ、この表面に図1に示すように光細状のマイクロ波プローブを置き、微小面積 (0.04 mm^2) からKバンドのマイクロ波をサイリスタ接合の縦方向に入射し、反射マイクロ波を測定する。被測定物の厚みは 0.5 mm 以下であるのでサイリスタ接合内部から反射してプローブに達するマイクロ波の広がりはいささか、測定面積はマイクロ波の入射面積 (0.04 mm^2) とほぼ同じになる。このことは実験的にも実証できる。反射マイクロ波の検出電圧変化分は注入キャリア濃度および電流密度と共に増大する関係にある。

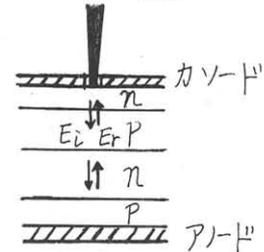
3. 測定結果およびその検討

サイリスタにゲート尖弧して直流電流を流した場合、図1に示す測定穴 P_1 と P_2 でのマイクロ波検出電圧変化分 ΔV_{μ} とサイリスタ電流 I_F 波の測定例を図2に示す。 P_1 尖弧はサイリスタ電流の流れ始めと同時に ΔV_{μ} 波形が立ち上がり始めることから、この測定尖弧は最初にサイリ



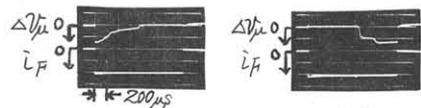
(a) 平面図

マイクロ波プローブ



(b) 断面図

図1. 測定用サイリスタ



(a) 測定尖 P_1

(b) 測定尖 P_2

図2. 直流電流 (I_F) を流した場合のマイクロ波検出電圧変化分 (ΔV_{μ})

試料: ターンオフタイム $1.05 \mu\text{s}$

ΔV_{μ} : 10 mV/div

I_F : 100 A/div

t : $200 \mu\text{s/div}$

スラ電流が流れ始めることがわかる。またサイリスタ電流の流れ始めから800 μ s後に $\Delta V_m = 0$ となり、サイリスタ電流が流れなくなる。P₂まではサイリスタ電流の通電し始めから850 μ s後にサイリスタ電流が流れ始め、最後まで流れ続ける。同様な測定を各測定点で行なうと、サイリスタ電流の通電し始めから50, 200, 500 μ s後および1ms以後における導通領域の大体の様子を求めた結果の一例を図3に示す。導通領域は時間の経過と共に大きく変動し、通電幅が1ms以上になると導通領域は時間的に変らず平衡状態になる。

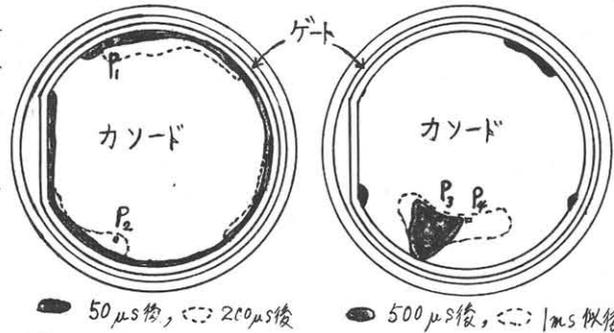


図3. 直流電流100Aを通電した場合の各時刻での導通領域 (試料: ターンオフタイム 10.5 μ s)

直流電流を500 μ s間通電した後、サイリスタのイノードとカソード間に順電圧を再印加してターンオフ失敗する限界までマイクロ波測定した結果の一例を図4に示す。測定点は図3に示すP₁とある。また同図(c)は再印加順電圧が零の場合であり、(a), (b)図における直流電流が流れ終る前後の ΔV_m 波形を拡大してある。ターンオフ失敗電流(尖頭値300A, 幅80 μ sの正弦波)

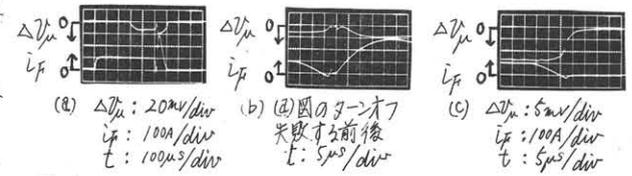


図4. ターンオフ失敗時の ΔV_m と I_f 波形.

が流れ始めから3 μ s後に ΔV_m が立ち上がり始め、この時点を測定接合部ではターンオフ失敗電流が流れ始める。同様にして各測定点でマイクロ波測定してターンオフ失敗電流の流れ方を調べてみるとターンオフ失敗電流が最も速く流れ始める測定点は直流電流の通電幅100, 200, 500 μ sおよび1msの場合それぞれ図3に示すP₁, P₂, P₃, P₄である。このようなターンオフ失敗しやすい接合部では図4-(c)で示されるように直流電流遮断後にまだ $\Delta V_m > 0$ であり注入キャリアが残存している。残存キャリアの最も多い接合部すなわちサイリスタ電流の最も流れやすい接合部で最初にターンオフ失敗する。したがって図3の測定結果から、サイリスタ電流はキャリアのライフタイムの大きい接合部へ広がっていくことが示される。図5はサイリスタのターンオフタイムを変えて図3と同様に測定した結果があり、ターンオフタイムと導通領域の広がり方との関係がわかる。この結果はキャリアの流れの連続式を用いて説明できる。

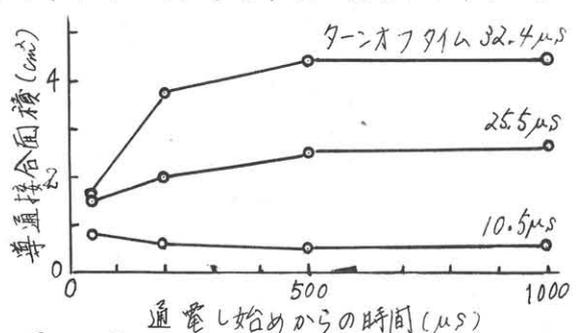


図5. 直流電流の導通接合面積の時間的変化 (I_F=100A)

(1)年次: 540 (巻)物理と物会同講演会予稿. (1P-L-14). (2)年次: 530 電学東京支部大会 [4]-20. (3)Y. Terawawa: The 1970 IEEE International electron devices meeting, Session 20-6.