

はじめに P-n-n⁺アバランシ・ダイオードはパルス状の伝導電流状態で動作するので、Read ダイオードの変形とみなせる。しかし、どの程度にパルス状の伝導電流が得られるか、或はどの程度まで Read ダイオードとみなせるかという事は大信号動作の理解の出発点であるが、まだ報告されていない。本資料は、シリコンダイオードの伝導電流波形を数値計算した結果の報告であり、伝導電流パルス巾△の種々のパラメータ依存性及び出力飽和機構について述べる。空乏層巾 $\ell = 5 \mu$ ，不純物濃度 $N = 3.5 \times 10^{15}/\text{cm}^3$ ，直流電流密度 $J_0 = 1280 \text{ A}/\text{cm}^2$ ，発振周波数 $f = 12.7 \text{ GHz}$ とし、交流正弦電圧 $V \sin \varphi$ ($\varphi = 2\pi f t$) の振巾は 60 V とした。このダイオードの接合部と n-n⁺境界のバイアス電界の比 E_{out}/E_j は約 0.3 である。空乏層内の電界 E ，電子電流密度 J_n 及び正孔電流密度 J_p を示すスナップ・ショットは $\varphi = 0$ から $\varphi = 2\pi$ を 5 等分した時点に対応している。

RFパラメータの影響 図1に $V = 30 \text{ V}$ ， 60 V 及び 70 V の場合の動作の様子を示す。 V の増大とともに伝導電流増幅は増大し、 $V \div 30 \text{ V}$ で J_n はパルス(状)になる。 Δ は V の増大とともにやや減少し、 $V \div 60 \text{ V}$ では 2μ であった。 V が 70 V 程度になると、交流電圧による電界の上下の振れのために n-n⁺境界の電界が負になり、電子が n⁺領域から n 領域に向けて注入される。この時点は $\varphi \div 3\pi/2$ であり、図2に示すごとく交流電圧が負の最も大きな値をとる時点における誘導電流密度 J_{ind} を減少させ、出力飽和を惹起する。 J_{ind} が最大値をとる位相は V の増大と共に進む。しかし、 $J_{\text{ind}} \div J_0$ となる位相は V にあまり依存しない。 J_{ind} の増大はこの位相の頃最もいちぢるしいから、 $J_{\text{ind}} = J_0$ となる位相は雪崩れの立ち上がりの位相に対応する。この位相は図2からわかるように V にあまり依存しない。

f の低下は Δ を増大させることがわかった。これは f の低下と共に走行時間効果が働らなくなり、ダイオードの特性が準静的な変化をすることによる。

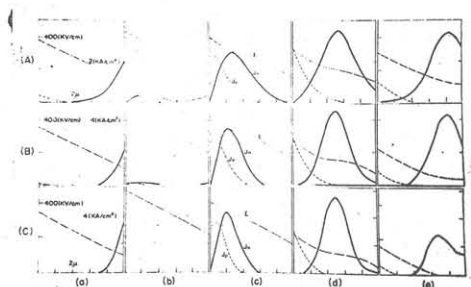


Fig.1 交流電圧の影響

$N = 3.5 \times 10^{15}/\text{cm}^3$, $\ell = 5 \mu$, $J_0 = 1280 \text{ A}/\text{cm}^2$, $f = 12.7 \text{ GHz}$

(A) $V = 30 \text{ V}$, (B) $V = 60 \text{ V}$, (C) $V = 70 \text{ V}$.

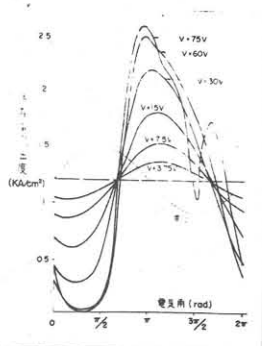


Fig.2 誘導電流波形

$N = 3.5 \times 10^{15}/\text{cm}^3$, $\ell = 5 \mu$,

$J_0 = 1280 \text{ A}/\text{cm}^2$, $f = 12.7 \text{ GHz}$

dcパラメータの影響 $J_0 = 640 \text{ A}/\text{cm}^2$, $2560 \text{ A}/\text{cm}^2$ 及び $5160 \text{ A}/\text{cm}^2$

の場合の動作の様子を図3に示す。 J_0 の増大と共に雪崩れの立ち上がりは急激になり、 Δ は減少する。担体の空間電荷効果はパルス前方の電界を上げ、後方の電界を下げる。パルス後方の電界が 10 K V/cm 以下となると担体速度が低下し、 J_{ind} の減少となる。これは $\phi \approx 3\pi/2$ で生じるので出力飽和を惹起する。 J_0 を極度高くすると、パルス前方の高電界領域での電離が顕著となり Δ は増大する。同時に発生した正孔は図4に示すごとく、 J_{ind} の立ち上がりの位相をいちじるしく進めるので出力飽和の原因となる。

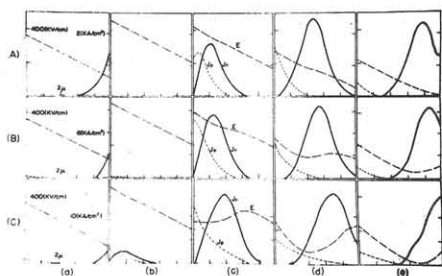
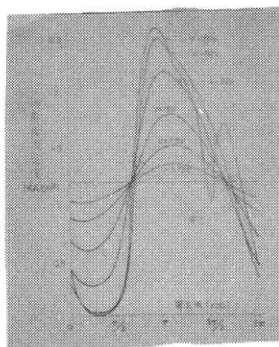


Fig.3 直流電流密度の影響

(A) $J_0 = 640 \text{ A/cm}^2$, (B) $J_0 = 2560 \text{ A/cm}^2$, (C) $J_0 = 5120 \text{ A/cm}^2$ Fig.4. 誘導電流波形



ダイオードの構造のパラメータの影響 図5. $N = 5 \times 10^{14} / \text{cm}^3$ ($E_{out}/E_j \approx 0.9$), $2 \times 10^{15} / \text{cm}^3$ ($E_{out}/E_j \approx 0.5$) 及び $N = 5 \times 10^{15} / \text{cm}^3$ ($E_{out}/E_j \approx 0.1$) における動作の様子を示す。 N の増大と共に雪崩れは接合部近傍に集中するので Δ は減少する。 $N = 5 \times 10^{14} / \text{cm}^3$, $2 \times 10^{15} / \text{cm}^3$ 及び $5 \times 10^{15} / \text{cm}^3$ のとき Δ は各々、約 4μ , 2.5μ 及び 1.2μ となつた。

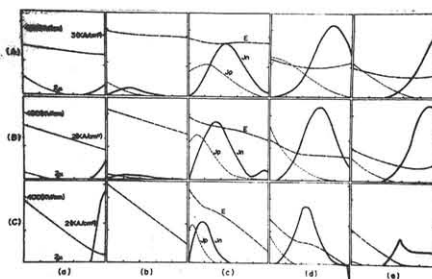


Fig.5 不純物濃度の影響

$E_{out}/E_j = \text{一定}$ の下では電離係数の空間的分布は任意の ℓ に対してほぼ相似となる。故に、空間電荷効果と走行時間効果を同一にすると、 J_0/ℓ 及び $f\ell$ を一定にすると Δ は ℓ に比例することがわかつた。

シリコンでは電離係数は電子の方が正孔より大である。したがって、 $p-n-n^+$ 構造よりも $n-p-p^+$ 構造の方が雪崩れは局在化し、 Δ は狭くなる。

おわりに Δ は等価雪崩れ領域巾 ℓ_a 以下とはなりえない。一方、 J_0 , V の増大による Δ の減少はすくなく、 Δ は N によつてほぼ決まる。したがって、 $\Delta \approx \ell_a$ が成立する。 $E_{out}/E_j \approx 0.5$ までパンチスルーしている場合は $\ell_a \approx \ell/2$ であり、 $E_{out} = 0$ のダイオードでは $\ell_a \approx \ell/5$ となる。出力飽和は、 n^+ 領域から n 領域への電子の注入、パルス後方での担体速度の低下及びパルス前方での電離により惹起される。

謝辞 御指導頂いた植之原道行、内田一三両工博に感謝する。