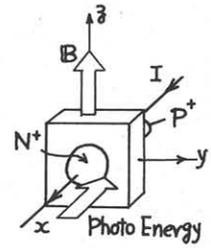


# 7-4 新しい物理機構に基づく Photo Magneto Diode (PMD)

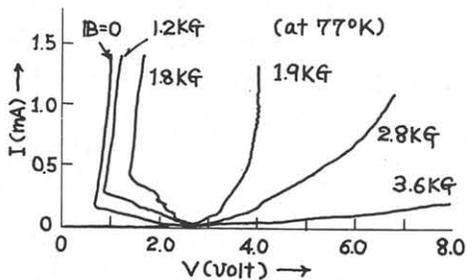
京都大学 工学部 ○大谷 泰之, 松原 覚衛, 西田 泰裕

P<sup>+</sup>-I-N<sup>+</sup>構造の最近の研究と関連して, この種注入型ダイオードの順方向バイアス電圧領域で観測される高感度の磁界特性を利用して, 全く新しい型の高性能光(赤外)検知素子を開発したので報告する。P<sup>+</sup>-I-N<sup>+</sup>構造の磁界感度が, 従来の磁気抵抗素子と比較して $10^3 \sim 10^6$ 倍以上であることは, 既に1962年, Melnigailis<sup>1</sup>がInSbのP<sup>+</sup>-P-N<sup>+</sup>ダイオードで実験的に観測しており, 更に最近Merinsky<sup>2</sup>, 山田<sup>3</sup>等によるGe P<sup>+</sup>-I-N<sup>+</sup>ダイオードでの実験によっても確認され注目されている。一方この種構造を呈するダイオードの順方向バイアスに於ける光特性が, 従来の光検出素子と比較して $10^2 \sim 10^4$ 倍の高感度を示すことは, 既に1959年Stafeev<sup>4</sup>によるP<sup>+</sup>-N-N<sup>+</sup>ダイオードの研究以来知られている。

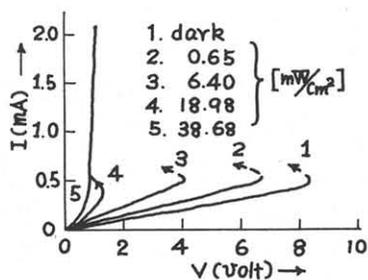


○1図 PMDの原理図

本研究は, 以上概説したP<sup>+</sup>-I-N<sup>+</sup>構造の高感度磁界効果と光効果を純物理的に重畳させ, 過剰キャリアによる複注入領域を光によって制御することを目的として行つたものである。以下, 実験の方法及び得られた実験結果について簡単に報告し, その動作機構及び特徴と比較検討する。実験に使用した材料は, 高純度Geトランプ不純物としてAuを $10^{-6} \sim 10^{-4}$ 重量%添加した高抵抗の単結晶(比抵抗 $10 \sim 100 \Omega \text{cm}$ )であり, その結晶の(111)面に, 電子注入電極N<sup>+</sup>と正孔注入電極P<sup>+</sup>を $300 \sim 350^\circ \text{C}$ で合金接合させたP<sup>+</sup>-I-N<sup>+</sup>型のダイオードである。このダイオードは○1図に示す如く順方向電流と垂直に磁界Bが加えられ, 更に電流と平行方向から光エネルギーが照射される。以下, この構造の装置をPMDと呼ぶことにする。ダイオードの磁界特性の1例が○2図に示してある。印加電界が小さく, 伝導キャリアが主として自由正孔密度P<sub>0</sub>であるオーム電流領域( $J \propto V^1$ )では, 磁界効果は極めて弱い。しかるに, 負性抵抗が始まる臨界電圧 $V_M$ を越えるようになると, 元結晶中に注入された過剰キャリア濃度 $\delta p$ 及び $\delta p$ の影響がP<sub>0</sub>より優勢になり異常に高い磁界効果を示すようになる。一般にπ型半導体では少数キャリア(電子)の密度勾配及び移動度が大きい程磁界効果は顕著であり, 過剰正孔濃度 $\delta p$ による磁界効果はπ型半導体( $P_0 \gg N_0$ )の場合極めて弱いことが理論的に確かめられている<sup>5</sup>。次に, 磁界をかけない場合に於ける光特性の結果を○



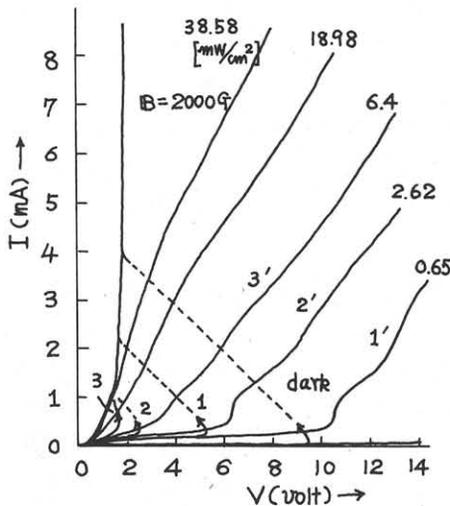
○2図 Ge P<sup>+</sup>-I-N<sup>+</sup>ダイオードの磁界特性



○3図 Ge P<sup>+</sup>-I-N<sup>+</sup>ダイオードの光特性

3 図に示す。この場合の光エネルギー感度は  $\text{Ge}$  の限界波長が近赤外領域に近いため、入射エネルギーに対する感度 ( $\text{A}/\text{W}\cdot\text{cm}^2$ ) もとると、例えば、入射エネルギーが  $0.65 \text{ mW}/\text{cm}^2$  のとき  $0.3 \text{ mA}/\text{mW}\cdot\text{cm}^2$  である。なお、仮に  $\text{Stafeev}^4$  の如くル-メン感度で表ると、約  $1.0 \text{ lux}$  のときの感度は  $125 \text{ A}/\text{lm}$  の値になる。また、このダイオードの光効果は次の如く考えられる。即ち、いま適当な強さの光が照射されて  $\pi$ -領域中に過剰な電子-正孔対が発生したとすると、このとき過剰電子  $\Delta n$  はたゞちに再結合中心に捕獲されてその実効空席密度を減少させ、その結果負性抵抗が始まる臨界電圧を  $\text{dark}$  の場合より低下させる。一方、過剰正孔濃度  $\Delta p$  は  $p_0$  と加えられ  $\text{O-M}$  領域に於ける電気抵抗を減らすと考えられる。

以上の基礎実験をもとに PMD の光-磁界特性を測定したところ、オ4 図に示す如き興味ある結果が得られた。この場合、雰囲気温度は約  $200^\circ\text{K}$ 、磁束密度は  $2000 \text{ Gauss}$  である。なお、図には比較のために磁界が存在しない場合の光特性を重ねて示してある。図から明らかなように、適当な強さの横磁界が作用すると、 $V_{\text{TH}}$  以上で注入された過剰キャリアはたゞちにダイオードの側面に偏向される結果、多数キャリア  $p_0$  による  $\text{O-M}$  電流領域がより高電圧側にまで近づくようになる。ただし、過剰キャリアに対する駆動電界の大きさがローレンツカに打勝つようになるので、これらのキャリアは電界と磁界とによる力の平衡を保ちながら電気伝導に寄与するようになることを考える。入射光エネルギーが増加すれば当然オ3 図の光



オ4 図  $\text{Ge P}^+\pi\text{-N}$  型 PMD の光-磁界特性

PMD はその制御領域が順方向バイアスであるため、例えば、光による大電流の制御等、従来の逆バイアス素子と異なった種々のメリットを生かした新しい応用分野の開発を行っている。その他、 $\text{Ge}$  以外の化合物半導体を用いた PMD についても目下研究を進めている。

最後に、本研究に協力された藤慎一君 (43 年度卒論生)、並に、本学研究員徳原康隆君及び現4 回生 瀬川勇三君に感謝の意を表す。

(文献) 1. I. Melngailis et al., Proc. IRE 50, 2428 (1962). 2. K. Merinsky et al., Solid-State Electronics, 11, 187 (1968). 3. 山田, 例えは「エレクトロニクス」, 昭43.6月号, 639頁. 4. V. Stafeev, Soviet Physics Solid State, Vol.1, No.6, 763 (1959). 5. 大谷, 松原, 西田, J. Appl. Phys. (to be published).