

トランジスタおよびダイオードの ^{60}Co - γ 線照射効果について

川 畑 敬 志

On the Cobalt-60 gamma Irradiation Effects in Transistors and Diodes

By Keishi KAWABATA

The radiation damage effects of silicon n-p-n transistors and diodes under Cobalt-60 gamma radiation were investigated. The changes in characteristics of $V_{BE}-I_B$, gain h_{FE} and the reverse current were measured and the annealing effects for these characteristics due to temperature were also examined in the paper.

The results show that the degradation of gain and an increase of the leakage current are caused by an increase in the surface recombination velocity near the junction.

The surface damage of transistors anneals at low temperatures (60°C to 100°C) and a plateau in the recovery is then reached at about 100°C .

目 次

1. ま え が き
 2. 実 験 方 法
 3. 実験結果およびその検討
 4. あ と が き
- 参 考 文 献

1. ま え が き

トランジスタおよびダイオードの中性子線照射による損傷は、接合部の空乏層領域内のライフタイムの減少によって、ベース電流の一分の増加をもたらすことが知られているが^{1)~5)}、 γ 線による損傷においては、ベース電流の5つの成分のうち、もっとも影響を受ける成分は、表面再結合速度の増加によるものと考えられる⁶⁾。

今回は、 ^{60}Co - γ 線照射におけるトランジスタの直流電流増幅率 h_{FE} とダイオードの逆方向電流の変化を

測定した。さらに、これらの素子の照射後におけるアーリーリング効果について検討したので報告する。

2. 実 験 方 法

γ 線照射は、京大原子炉実験所の ^{60}Co - γ 線照射装置を用いて行なった。実験方法としては、トランジスタの h_{FE} および $V_{BE}-I_B$ の測定は中性子線照射のさいと全く同様な方法で行なった³⁾⁴⁾。

トランジスタの照射用試料として 2 S C 269 (NPN, エピタキシャルプレーナ形, Si) と、2 S C 476 (NPN, エピタキシャルプレーナ形, Si) の2種類

を用い、それぞれ50個中3個、100個中1個を選択して行なった。

さらに、ダイオードについては、SR1K (Si ダイオード) 30個中8個を選択して照射を行なった。

照射条件は、 3.2×10^5 [rads/hr] で照射し、周囲温度は 25 ± 1 [°C] で行なった。

アニーリング実験としては、トランスタの h_{FE} と $V_{BE}-I_B$ 特性、ダイオードの逆方向電流についてそれぞれ行なった。照射後、常温における回復性を検討するため、常温において378時間経過後測定し、その後、温度を60, 80, 100 [°C] にそれぞれ上げて、温度によるアニーリング効果を検討した。この場合、試料の温度は、恒温槽によって設定温度に上げ、その温度を1時間保持し、その後、常温において1時間経過した後測定を行なった。さらに、これらの諸特性が、一時的なものであるか、あるいは永久的なものであるが検討するために、常温において長期間保持した後、同様にこれらの特性について測定した。

3. 実験結果およびその検討

Fig. 1 は、 γ 線照射におけるトランジスタ2 S C 476 の $V_{BE}-I_B$ 特性を示す。

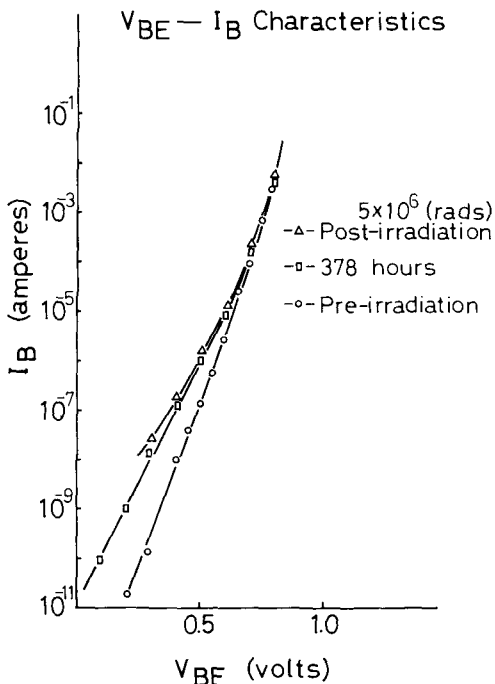


Fig. 1

これによると、照射後の特性曲線は、照射前に比較して、 V_{BE} が 0.6 [V] 以下の低注入においてシフトしていることがわかり、特性曲線の傾きを表わす slope constant n の値が、ほぼ2.0となった。一般に、ベース電流の成分のうち表面電流成分 I_S は、次式で与えられる。

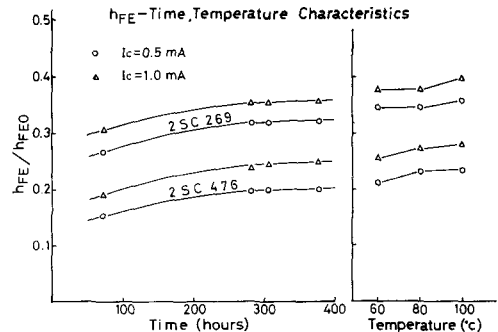


Fig. 2

$$I_S = I_{S0} \exp(q V_{BE}/2KT) \dots\dots(1)$$

このことから、 γ 線による損傷は、表面に再結合単位を生じ、キャリアの再結合速度の増大によるものと考えられる。

また V_{BE} が 0.6 [V] 以上の高注入においては、特性曲線はほとんどシフトしないことがわかる。これは中性子線の場合と異なって、バルクの抵抗はほとんど変化を受けないものと考えられる。

378時間後の特性曲線は、照射直後より若干回復する傾向が見られる。

Fig. 2 は、トランジスタ 2 S C 476, 2 S C 269 の h_{FE} の、常温における回復性と、温度によるアニーリング効果を示している。 h_{FE} は、照射前の値 h_{FE0} で正規化したものである。

Fig. 2 によると、高利得低雑音用トランジスタ 2 S C 476の方が、低利得用トランジスタ 2 S C 269より損傷が大きいと考えられる。前者は一般に、 I_S を小さくするような構造を有しているため、イオン化効果による影響が大きいものと考えられる。

トランジスタの常温における回復性については、 h_{FE} が著しく回復する傾向にあるが、このことは、Fig. 1 の $V_{BE}-I_B$ 特性曲線より、 I_B が回復している結果から充分理解できる。

温度によるアニーリング効果については、Fig. 2 より、 h_{FE} は温度の上昇とともに回復する傾向が見られる。また、アニーリング後、長期間(約2ヶ月)常

温で放置して測定した結果、温度によるアニーリング効果は、一時的なものでなく、永久的なものであることがわかった。しかし、アニーリング効果の現われる温度範囲については、検討する必要がある。

Fig. 3 は、ダイオードの照射前と照射後の逆方向電流の変化を示す。

これによると、照射後の逆方向電流は、照射前のそれよりも、著しく増加していることがわかる。このことは、トランジスタの場合と同様に、表面準位の生成により、反転層が生じ、逆方向電流が増大したものと考えられる。

Fig. 4 は、ダイオードの逆方向電流のアニーリング効果を示す。

Fig. 4 より、照射後378時間経過した後の特性曲線によると、常温において逆方向特性は回復していることがわかる。また、温度によるアニーリング効果についても、アニーリング温度の上昇によって、著しく回復する傾向にあり、80 [°C] において、ほぼ元の値に回復する傾向が見られたが、ダイオードについては、トランジスタの場合と違って、この温度によるアニー

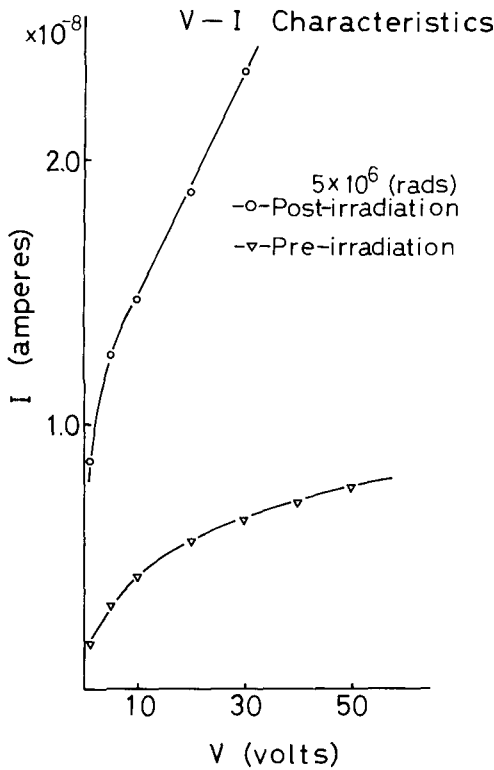


Fig. 3

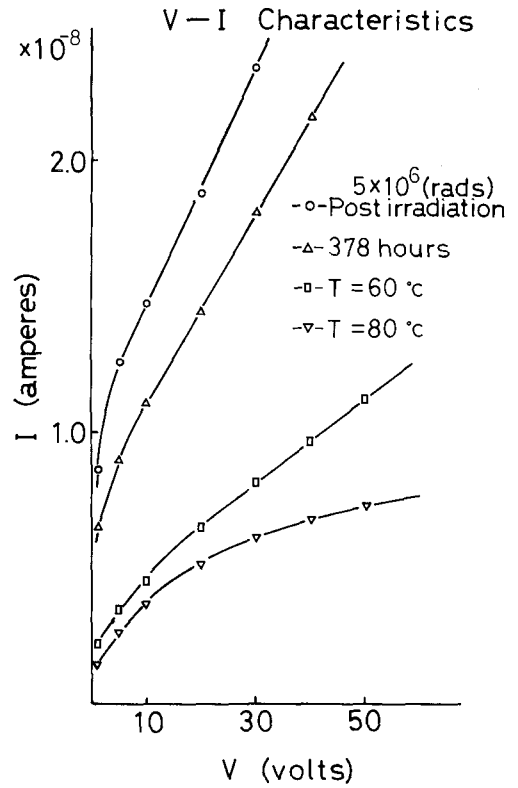


Fig. 4

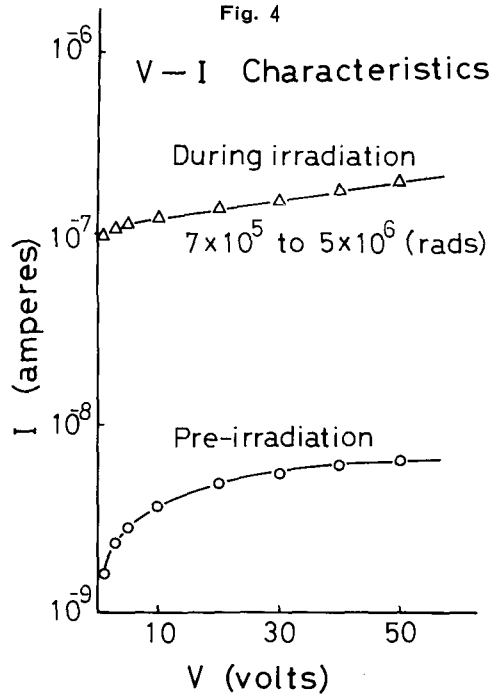


Fig. 5

リング効果は一時的なもので、長期間常温で放置した場合照射直後の値までもどり、永久的な回復性は示さなかった。

Fig.5は、照射中各線量ごとにダイオードの逆方向特性を測定したものである。照射前に比べて著しく逆方向電流は増大するが、線量によって電流値はほぼ同一の値を示している。これは、 γ 線による Photo current の影響によるものと思われる。

5. あとがき

以上のことから、次のようなことが言える。 γ 線照射による h_{FE} の低下は、Surface 領域の電流成分の増加によることがわかった。その h_{FE} の低下は、常温において、長期にわたって回復し、また、温度によるアニーリングにおいても、 h_{FE} は回復する傾向が見られた。

ダイオードの逆方向電流は、常温において、長期にわたって回復し、温度によるアニーリングにおいて、ほぼ元の値に回復するが、それは永久的なものではないことがわかった。さらに、トランジスタとダイオードの損傷を比較した場合、照射量が、 5.0×10^6 [rads] 程度では、トランジスタの方が著しく損傷をうけることがわかった。モールドタイプのダイオードは、 10^6 [rads] 程度の線量では、実用上問題にならないが、Photo current の影響については、考慮する必要がある。

最後に、照射にあたり終始御助力いただいた、京都大学原子炉実験所の、佐藤、米田、藤根、の各氏に、謝意を表するとともに、この論文を書くにあたり、意協力いただいた、研究室の土江俊雄、三郎丸道雄、の各氏に対し、深く感謝の意を表します。

参 考 文 献

- 1) J. R. Chott and C. A. Goben, I. E. E. E. Trans. on Nuclear Science NS—14, No6, 134~146, 1968.
- 2) C. A. Goben et al. I. E. E. E. Trans. on Nuclear Science NS—15, No2, 14~30, 1968.
- 3) 川畑敬志, 松本安夫, 中岡俊則: 電気四学会中国支部第22回連合大会講演論文集, 1971
- 4) 川畑敬志: 広島工業大学研究紀要, 第6巻第2号, 3月1972
- 5) 川畑敬志, 三郎丸道雄, 土江俊雄: 電気四学会中国支部第23回連合大会講演論文集, 1972
- 6) W. Poch and A. G. Holmes-Siedle, I. E. E. E. Trans. on Nuclear Science NS—15, No6, 213~223, 1968.
- 7) F. Larin, Radiation Effects in Semiconductor Devices, 55, 1968.
- 8) G. J. Brucker et al. I. E. E. E. Trans on Nuclear Science NS—13, No6, 188, 1966.