

AMT-2 γ 線照射実験報告

2001年8月31日

KEK 新井康夫

1. 目的

8月初めに行った東北大サイクロでの AMT-2 Single Event Effect 試験では[1]、陽子電流の測定系が充分でなかった為に、照射量の見積もり精度が高くなかった。一方、照射量の増加とともに、チップのリーク電流が増えていく様子が観測されたため、チップへ内での吸収線量とリーク電流の関係が求まれば、これを陽子フラックスを見積もる方法として使用できる可能性が有る。

そこで、今回都立大学理学部 RI 照射施設の ^{60}Co 照射装置（ガンマセル）を使用して、ガンマ一線の照射線量と AMT-2 チップのリーク電流の関係を測定した。

実験は新井と榎沢(農工大)で8月30日に行い、申し込み等は都立大の福永氏に協力いただいた。

2. 照射線量率の見積

都立大学の ^{60}Co 照射装置（ガンマセル）は、1991年5月の導入時に 12,000 キュリーの ^{60}Co を内蔵している。ガンマセルのガンマー線強度は、0.8N 硫酸第二鉄水溶液による測定で、1995年3月30日現在、試料室中心で $6.65 \times 10^5 \pm 0.5\%$ [rads/hour]と測定されている。この値を使うと2001年8月30日時点での強度の減衰は、次の式より

$$I_1 / I_0 = (1/2)^{*(T/T_{1/2})} \quad (T_{1/2} = 1921\text{日}) \\ = 0.429 \quad (@T=2344\text{日}) \quad \text{--- (1)}$$

と求められる。ここで I_0 は測定時のガンマー線強度、 I_1 は実験時の強度である。硫酸第二鉄水溶液で測定した吸収線量 D_{abs}^0 と他の物質での吸収線量との間には、次の関係がある[2]。

$$D_{\text{abs}}^s = D_{\text{abs}}^0 \times (Z/Aw)_s / (Z/Aw)_0 \quad [\text{rad}]$$

ここで Z は分子を構成する全原子の原子番号の和、 Aw は分子量である。0.8N 硫酸第二鉄水溶液の Z/Aw の値は 0.553, Si の場合は 0.498 であるので、

$$D_{\text{abs}}^{\text{Si}} / D_{\text{abs}}^0 = 0.901 \quad \text{--- (2)}$$

となる。チップのパッケージやプリント基板によるガンマー線の減衰量は、照射試料から見た角度ごとの厚さの分布を $t(\theta)$ として、次の式で表される。

$$I_2 = \frac{I_1}{2\pi} \int_0^{2\pi} \exp\left(-\frac{t(\theta)\rho}{\lambda}\right) d\theta$$

ここで ρ は物質の密度、 λ は γ 線に対する質量吸収長係数の逆数、 I_2 はパッケージによる減衰後の強度である。ちなみに、セラミックの場合これらの値は $\rho \sim 2.3 \text{ g/cm}^3$, $\lambda \sim 17 \text{ g/cm}^2$ である。上記の積分はチップの配置に基づいて正確に計算する必要があるが、ここでは仮に

$$I_1 / I_2 = 0.90 \quad \text{--- (3)}$$

として計算を進める。

この他に、チップのパッケージ内面で発生する低エネルギー光子により、"Dose Enhancement"

効果 [3] がおこり、SiO₂での吸収線量が見積りより実際には増える（最大 10%程度）可能性もあるが、ここでは無視する。(1), (2), (3) 式より、実験時の Si の吸収線量率 R_{Si} は、

$$\begin{aligned}R_{Si} &= (I_1 / I_0) \times (D_{abs}^{Si} / D_{abs}^0) \times (I_2 / I_1) \times (6.65 \times 10^5) \text{ [rad/hour]} \\ &= 2.31 \times 10^5 \text{ [rad/hour]} \\ &= 64.3 \text{ [rad/sec]}\end{aligned}$$

と求まる。

3. 測定結果

照射セットアップはサイクロ実験とほぼ同じで、AMT-2 の動作を止めた状態で、電圧と電流値を 5 秒毎に測定した。Chip E 及び Chip G に対しては連続して 1 時間(231 krad)の照射を行い、Chip F に対しては 5 分間の照射後 2 分間照射を休止するというサイクルを 8 回繰り返した。

測定結果を図 1 に示す。また、横軸を Irradiation Dose に縦軸を Log で表した図を図 2 に示す。5mA と 50mA のところでデータが飛んでいるように見えるのは、デジタルマルチメータを自動レンジモードで使用したために、この位置でレンジが切り替わった為と思われる。

この図から Chip E と Chip G の測定結果がきれいに一致しているのがわかる。またこの図の曲線は、MOS トランジスタのサブスレショルド曲線に良く似ている。フィールド酸化膜による寄生トランジスタのしきい値が、照射により下がって行ったと考えることが出来るのではないだろうか。

次に、サイクロ実験時のデータをこの上に載せてみる。サイクロ実験では 1 分半照射後 2-3 分の休止時間が有ったため、比較するためにはこの休止時間の影響をどう取り扱うかが問題である。図 3 では休止時間のデータを取り除いて、ほぼ曲線が重なるように横軸のスケールを変えてみた。やや強引な手法ではあるが、良く一致しているように見える。

この図からサイクロ実験時の吸収線量値を求めてみると;

Chip B : 0.317 krad/sec = 28.5 krad/90sec => Total 228krad

Chip C : 0.181 krad/sec = 16.3 krad/90sec => Total 163krad

と求まる。これは前回のレポートで推定した値、Chip B = 190 krad, Chip C = 160 krad に比較的良く有っていると云える。

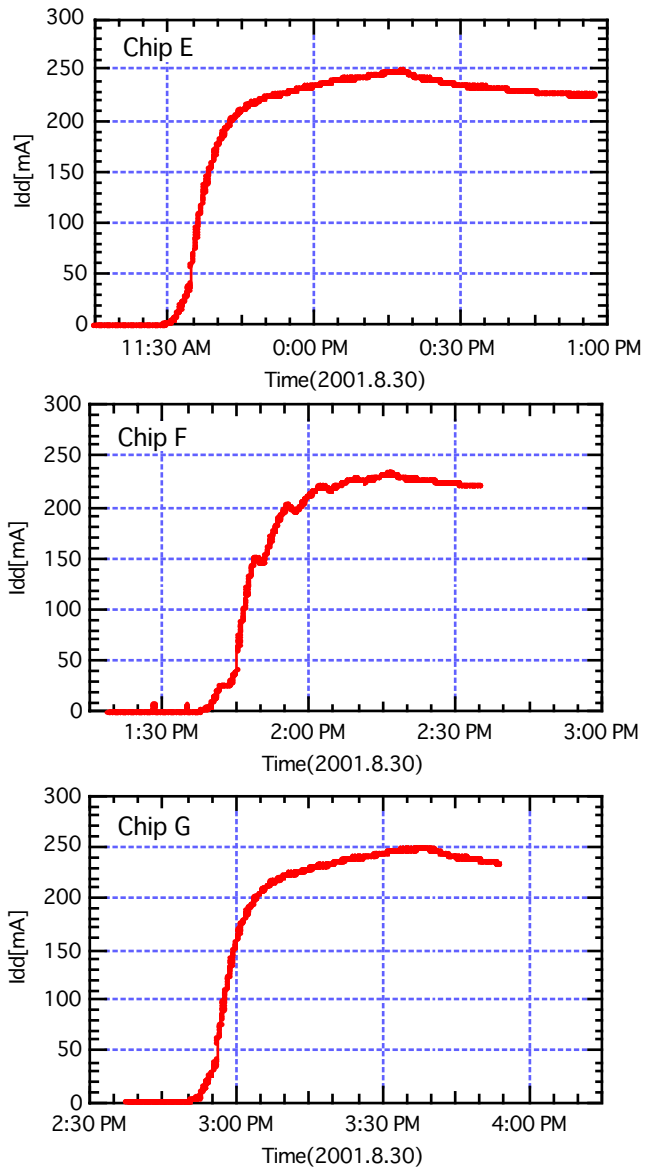


図1. AMT-2 ガンマ線照射リーク電流の時間変化。

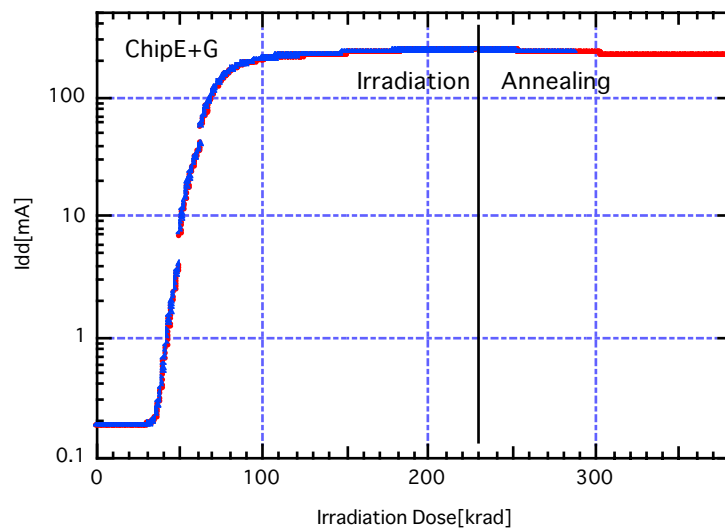


図2. リーク電流と照射量

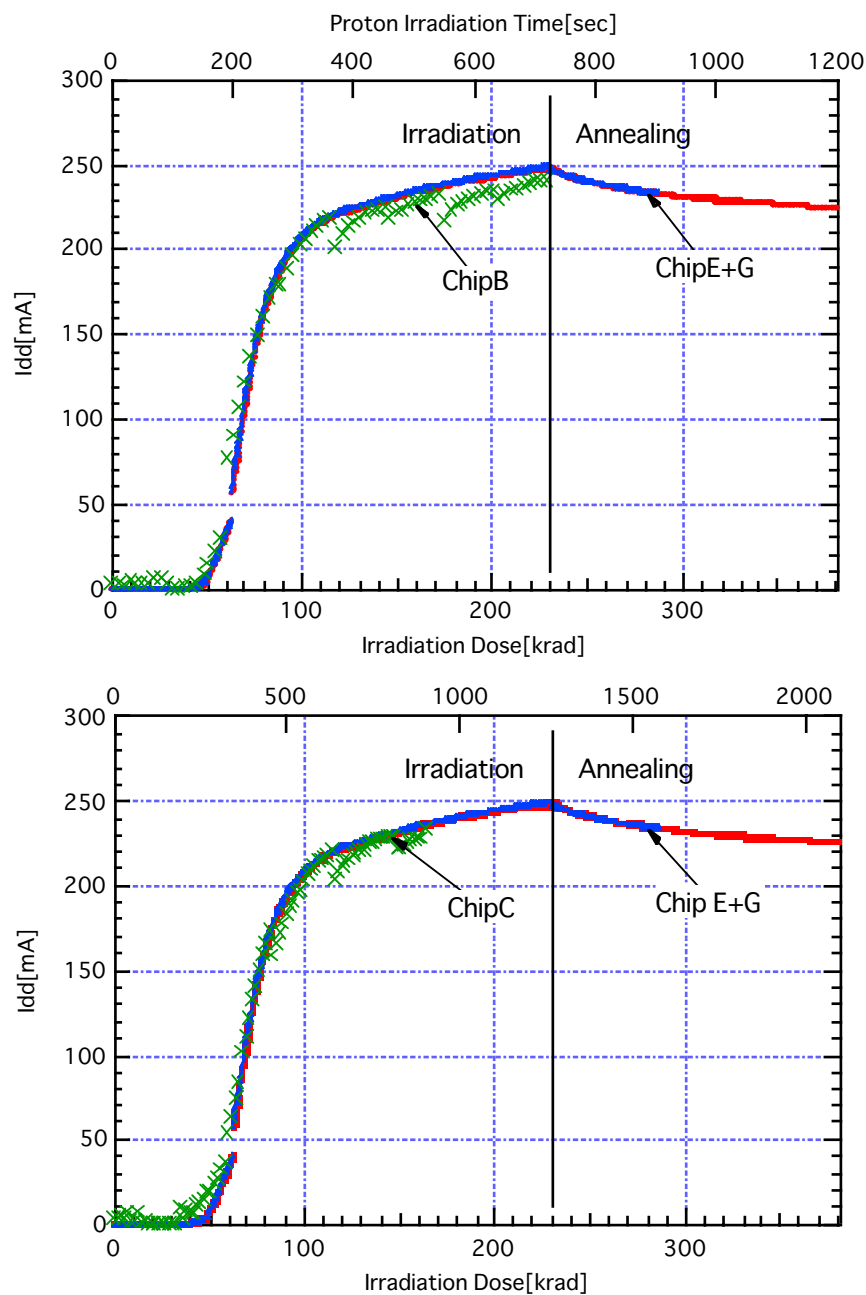


図 3. サイクロ実験のデータと今回のデータ。

[参考文献]

- [1] 「第 1 回 AMT-2 SEU 実験報告」、2001.8 新井康夫。
- [2] アイソトープ便覧、改定 3 版、1 5 3 ページ。
- [3] D.B.Brown and C.M.Dozier, "Reducing Errors in Dosimetry Caused by Low Energy Components of Co-60 And Flash X-Ray Sources", IEEE Trans. on Nucl. Sci. Vol. NS-29,1996(1982).