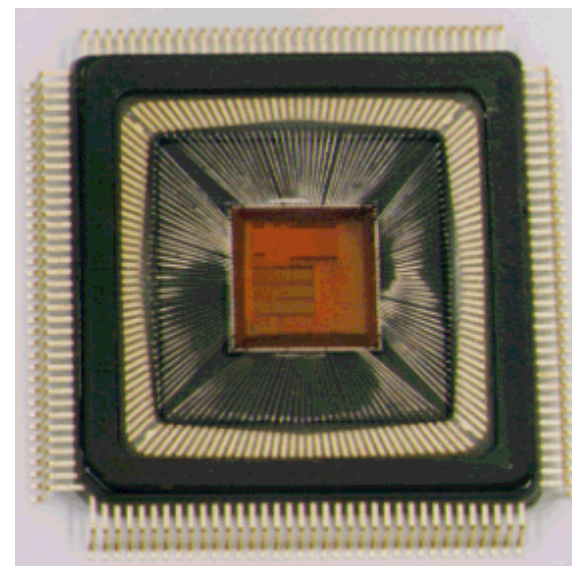




ATLAS 実験用TDC LSIの 陽子及びガンマー線耐性試験

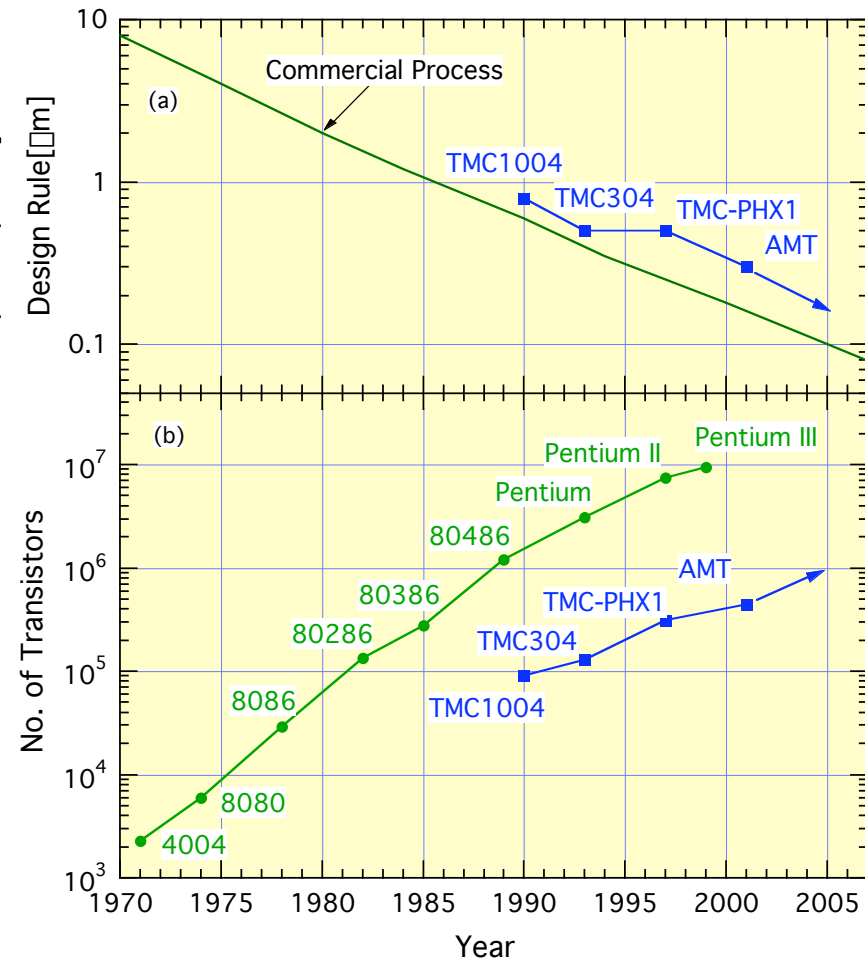
30 March 2003@東北学院大
新井康夫 (KEK)、江村恒夫(農工大)
yasuo.arai@kek.jp
<http://atlas.kek.jp/tdc/>

- AMT(ATLAS Muon TDC) Introduction
- TID(Total Ionization Dose) test
- SEE(Single Event Effects) test
- Summary



TDC開発と実験

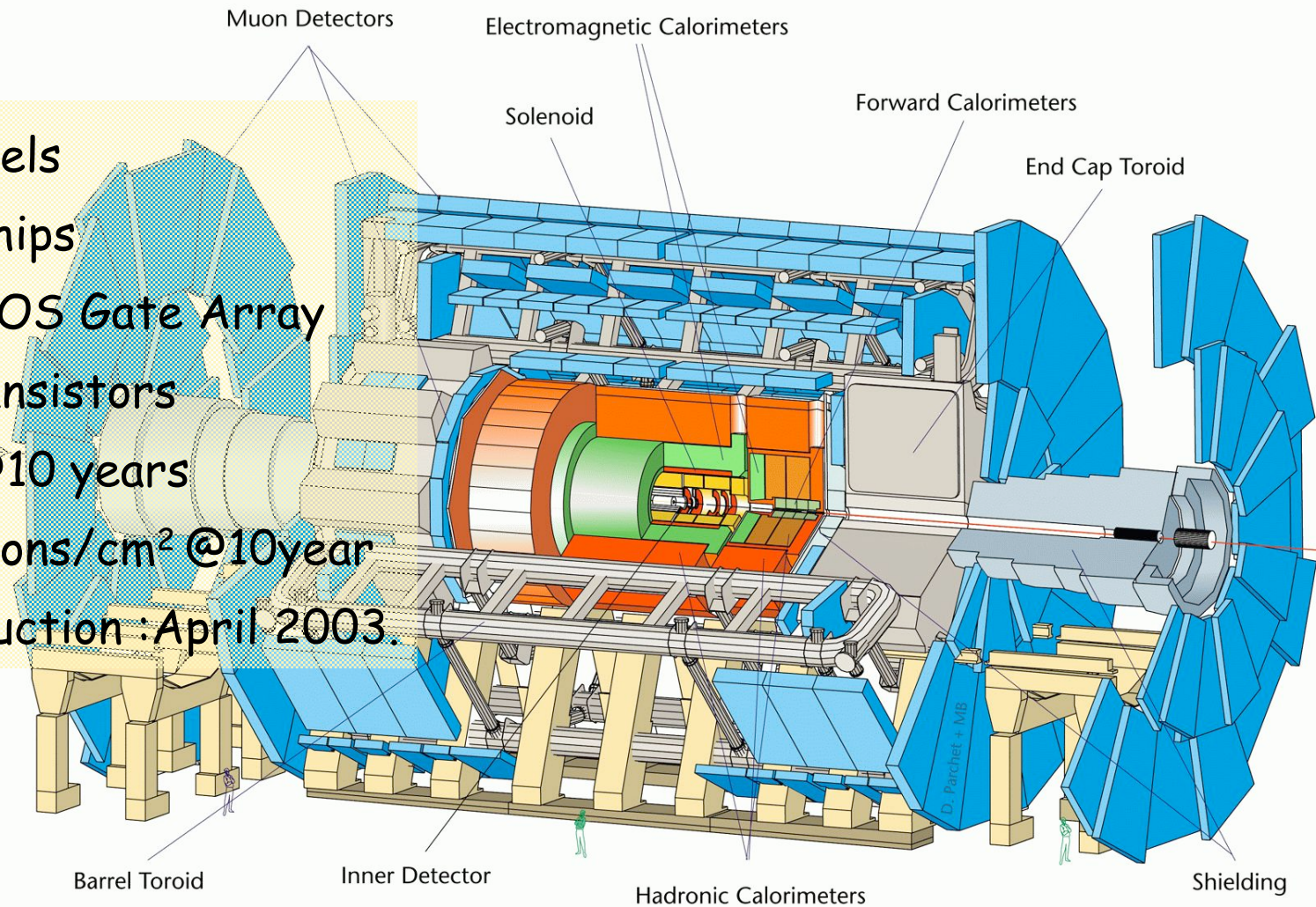
Chip	Experiments
TMC1004	H1
TMC304	D0, K2K SS-520-2 Rocket SELENE月探査機(2004) IonWerks Inc.(USA)
TMC-PHX1	PHENIX
AMT	ATLAS@LHC (2007) K2K, Cangaroo, ...
(TDC-X)	BepiColombo水星探査機(2009) SCOPE磁気圏衛星 Super Belle



ATLAS実験で使用するLSIは放射線耐性の試験が必須。
また、多くの実験が放射線耐性を持ったTDCを必要としている。

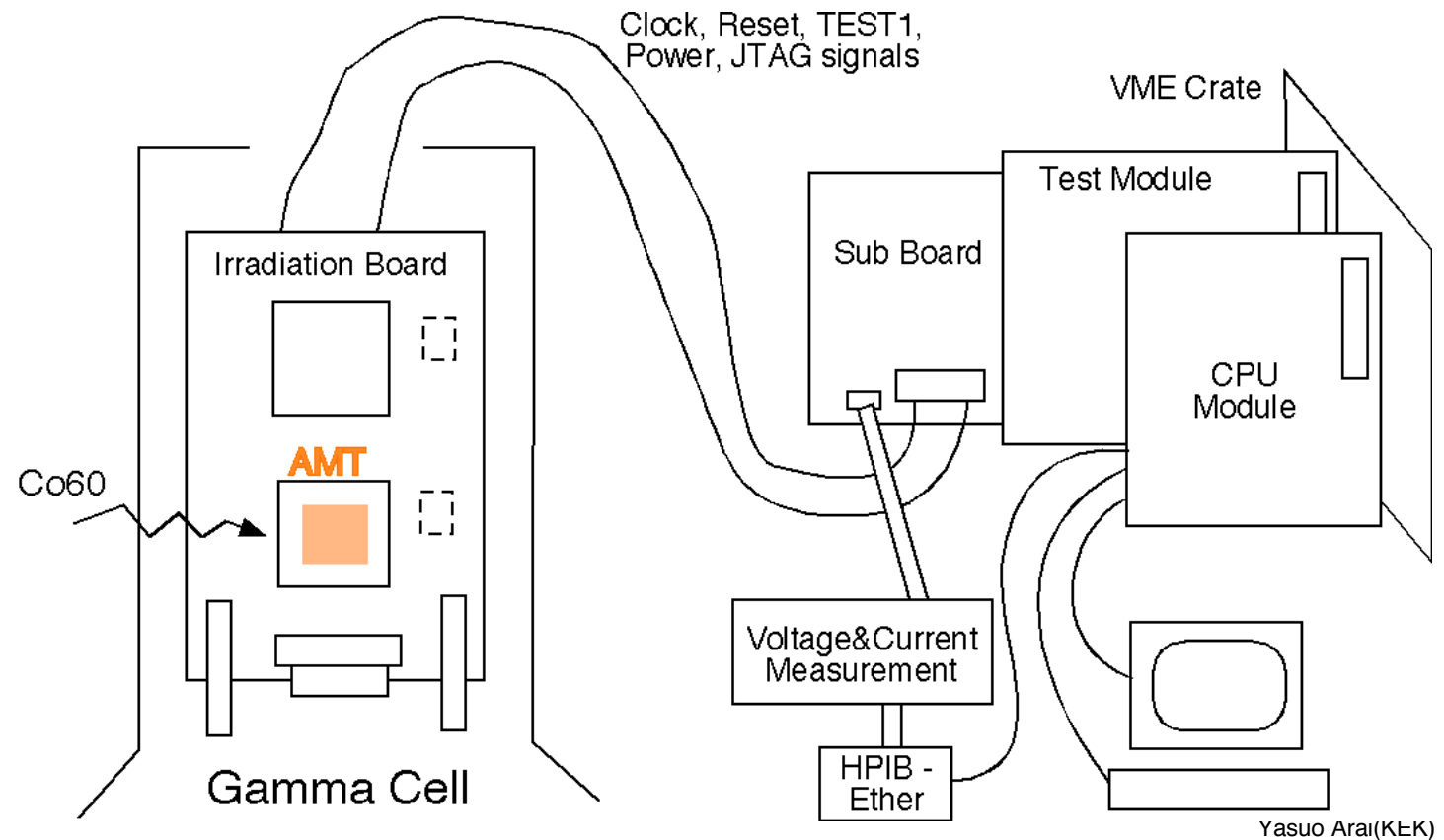
ATLAS MDT TDC

- 37 k channels
- ~20,000 chips
- 0.3 μ m CMOS Gate Array
- ~500 k transistors
- ~11 krad @10 years
- 2×10^9 hadrons/cm² @10year
- Mass Production : April 2003.



TID(Total Ionizing Dose) Test

- 東京都立大理学部RI施設
- ^{60}Co (60 rad/sec) -> 20 krad (300 krad)
- 40 MHz Clock running, Power On.
- Dynamic <-> Static state change through JTAG
- Voltage & Current were measured at every 10 sec.



Gamma Cell



照射後試験

Measure :

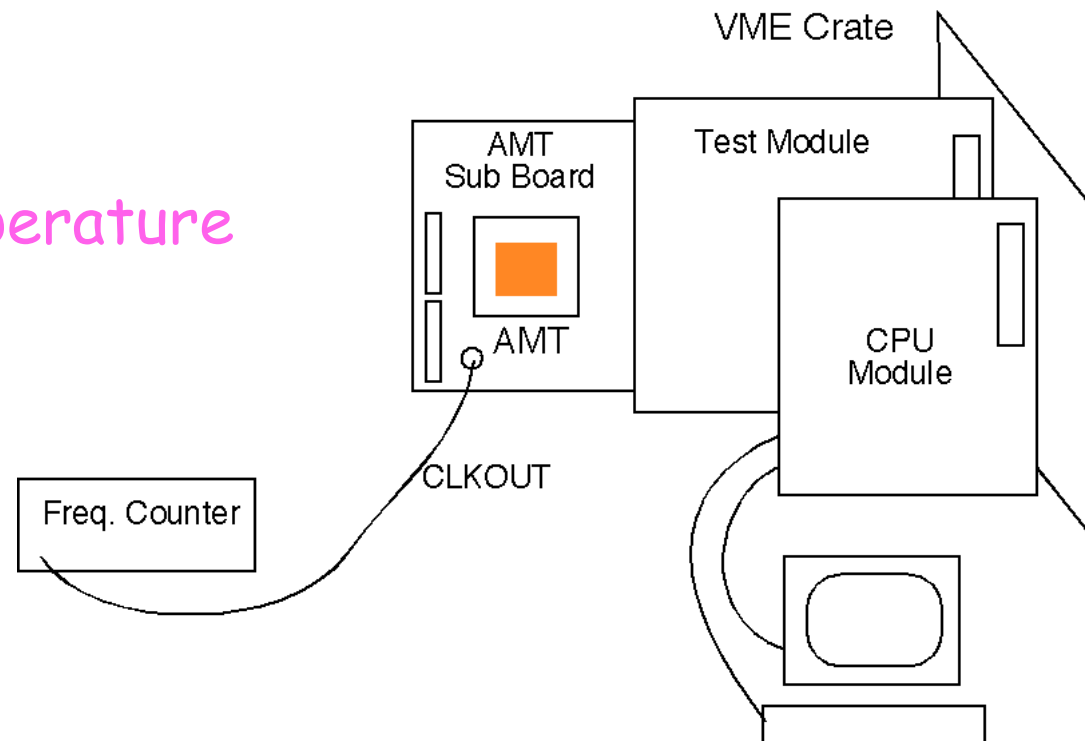
- Time Resolution
- Oscillating Frequency of PLL
- CSR Read/Write
- BIST (Built In Self Test) check

Annealing:

1 week at room temperature

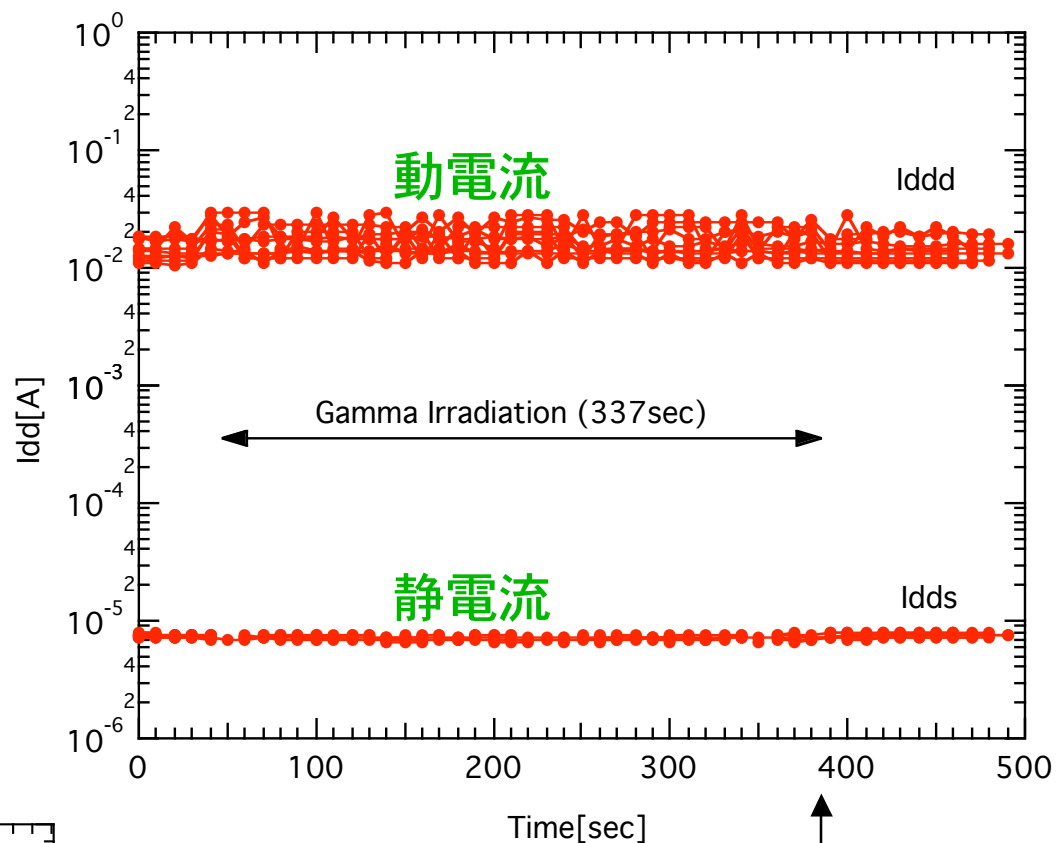
1 week at 100 °C

(MIL-STD-883)

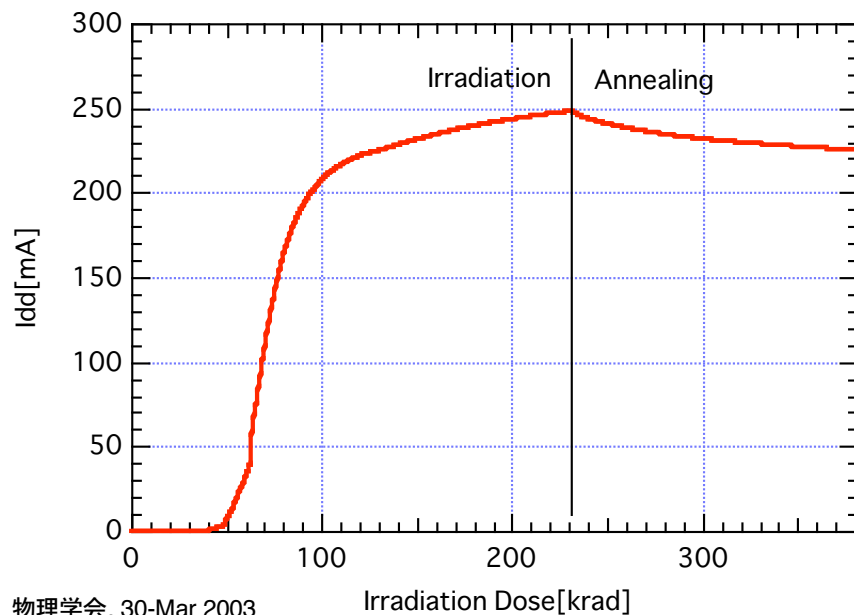


リーク電流の変化

No Increase



20krad



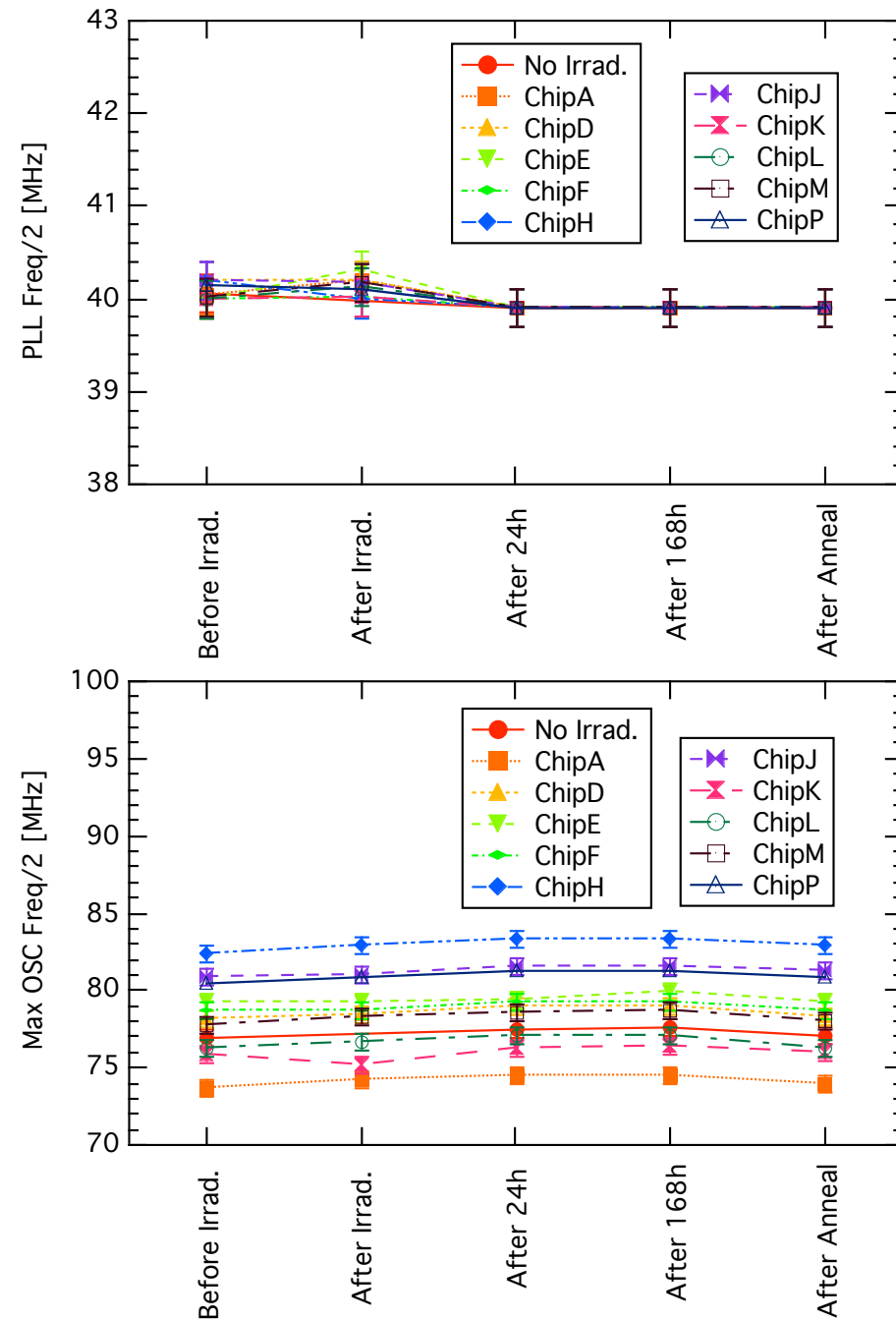
← 300kradまで照射した時のリーク電流の様子

Locked Frequency
@40MHz

OK!

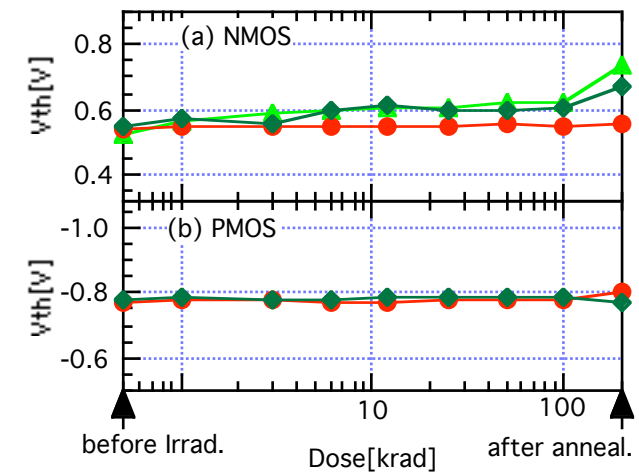
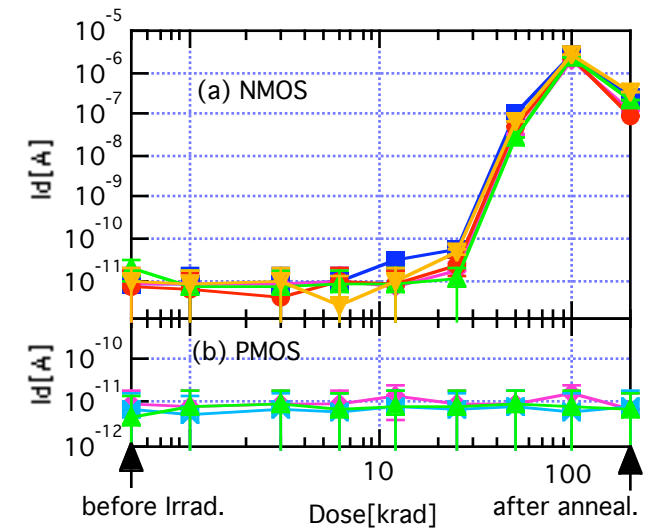
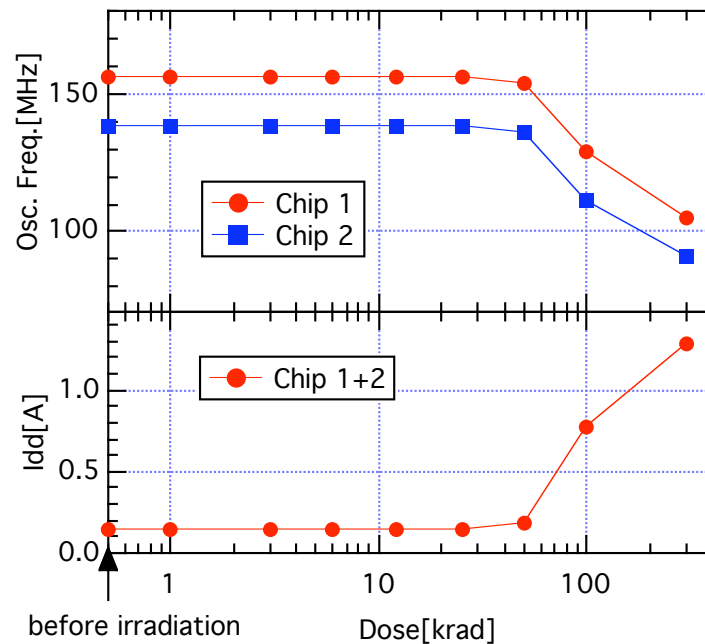
Max. Osc. Frequency

No Change



トランジスタ特性の変化

- Source : ^{60}Co ($\sim 90 \text{ rad(Si)}/\text{sec}$)
- Biased in worst condition (PMOS short, NMOS ON)
- 1 week annealing at 100°C

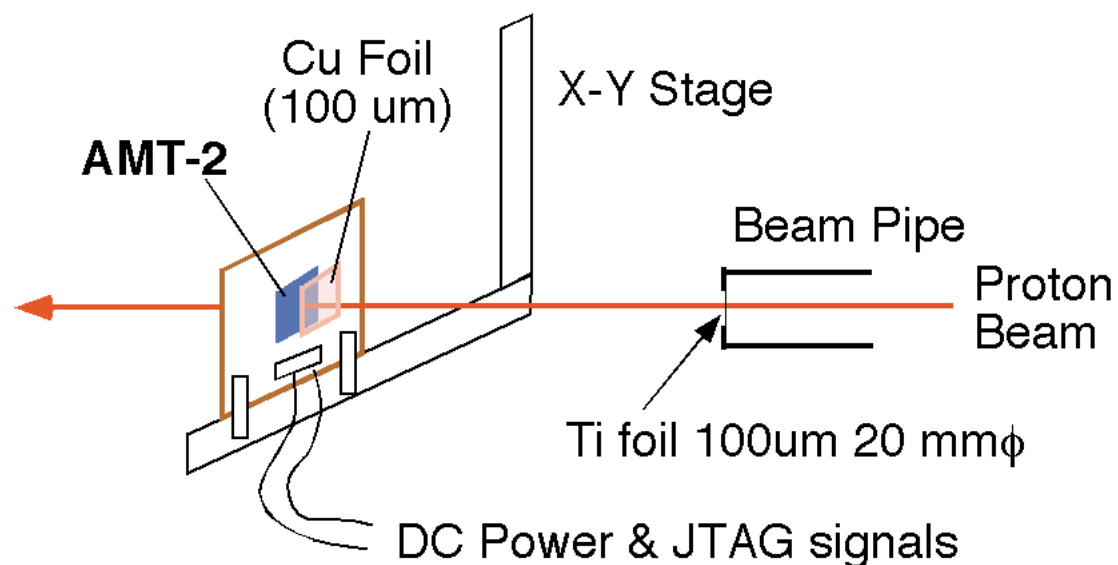


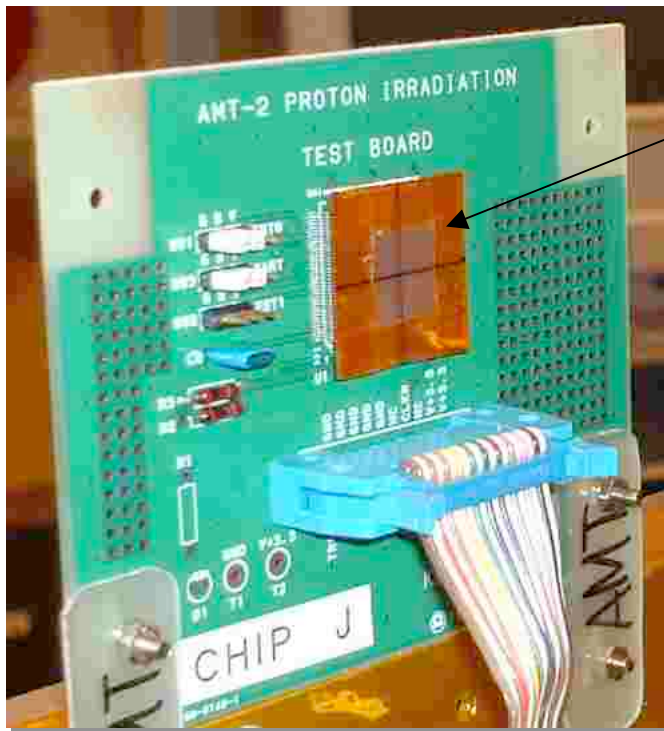
TID試験のまとめ

- 10 個のAMT-2 chipをATLAS標準試験方法に従って20kradまでCo⁶⁰ガンマー線照射を行った。
- 照射後 1 週間室温でのアニール、その後 1 週間100°Cでのアニール。
- リーク電流、発信周波数、時間分解能等に変化は見られなかった。
- CSR registers や JTAG ロジックにも異常は起こらなかった。
- 300kradまでの照射から、30krad付近からトランジスタ特性に変化が見られることが分った。
- 300krad照射後でも動作に異常はなかったが、消費電力の増加から実用的な使用限界は50krad程度と考えられる。

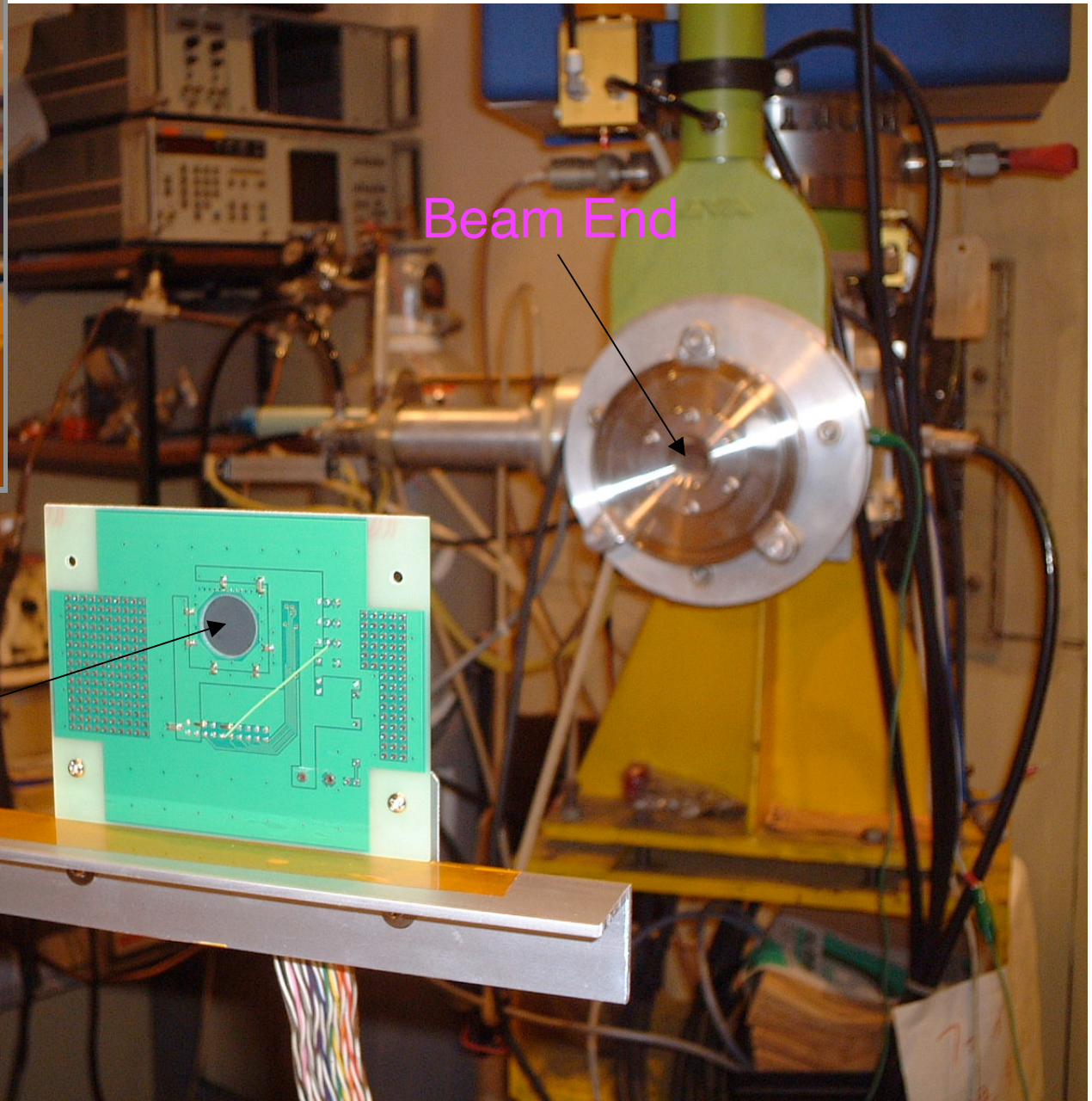
SEE(Single Event Effects) : 陽子線照射

- Proton beam at AVF Cycrotron (CYRIC, 東北大学サイクロトロン)
- Irradiation were done with $E(\text{proton}) = 70 \text{ MeV}$.
- 4 AMT-2 chips were irradiated.
- Beam intensity & profile are monitored with Dosimetry of Cu foil .





Cu Foil 100 μ m

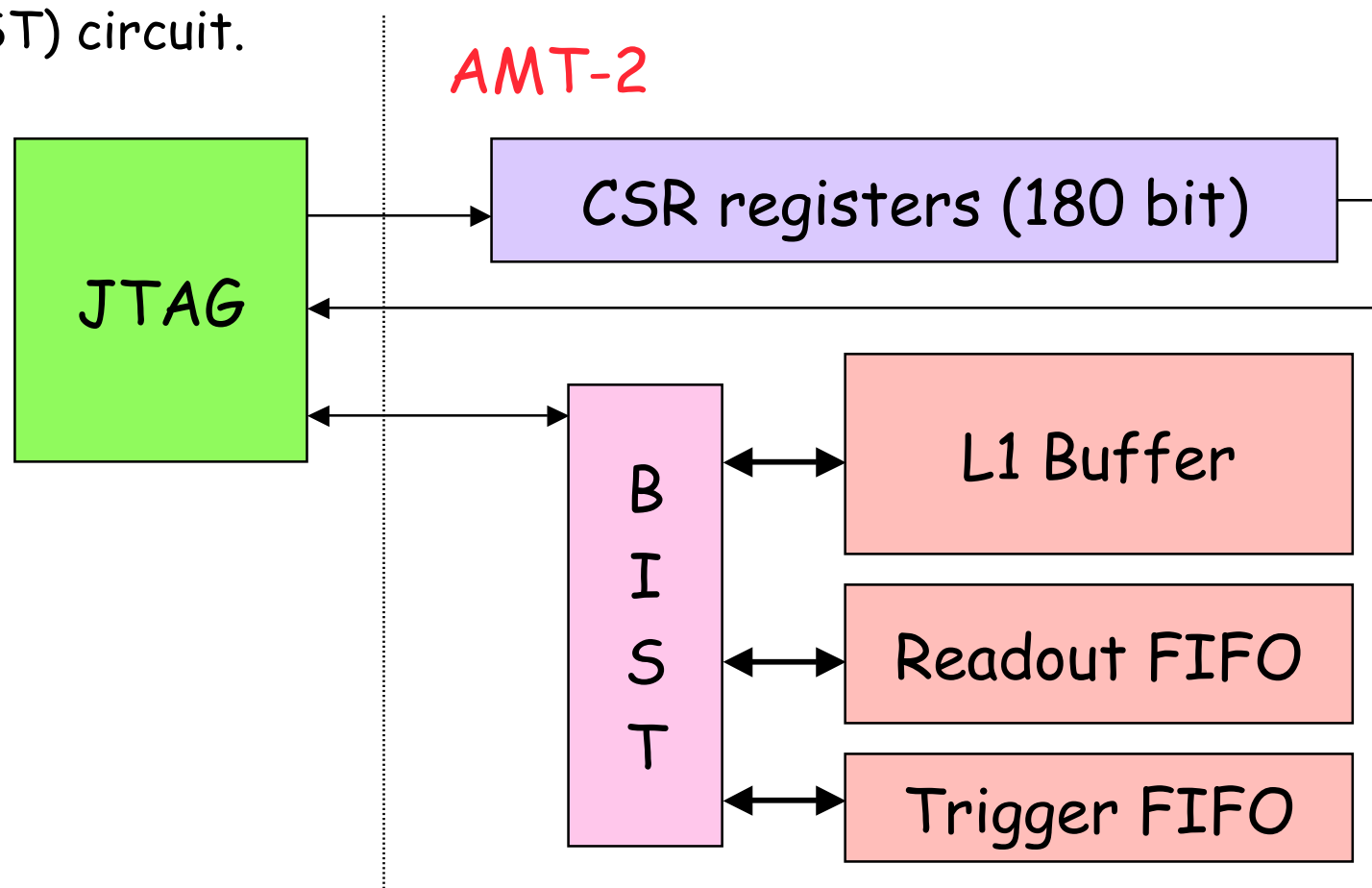


AMT-2

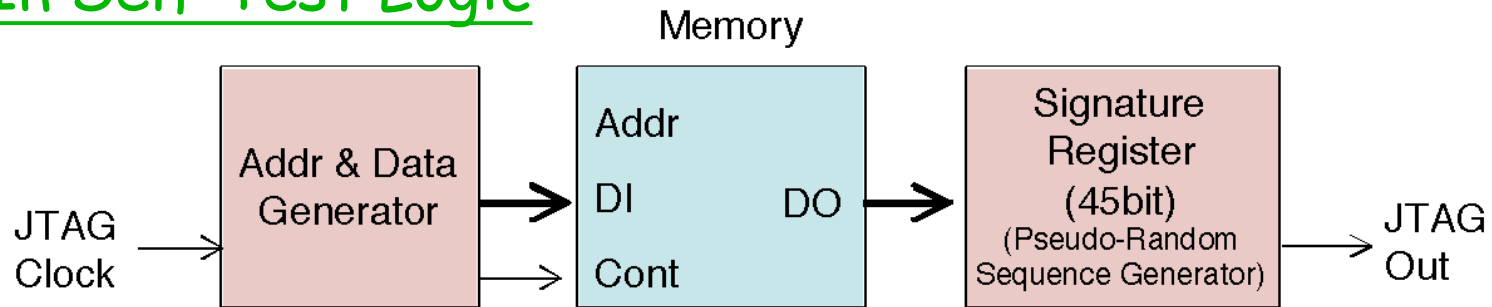
Beam End

Single Event Upset Test

- CSR registers (180 bits) are directly written/verified through JTAG.
- Data buffers (11,360 bits) are tested by using a Built-In Self-Test (BIST) circuit.



Built-In Self Test Logic



13N Marching Pattern ('10' & '11' Backgrounds)

Addr.	Initialize	1st Step	2nd Step	3rd Step	4th Step
0	W(1)	R(1)W(0)R(0)	R(0)W(1)R(1)	R(1)W(0)R(0)	R(0)W(1)R(1)
1	W(0)	R(0)W(1)R(1)	R(1)W(0)R(0)	R(0)W(1)R(1)	R(1)W(0)R(0)
2	W(1)	R(1)W(0)R(0)	R(0)W(1)R(1)	R(1)W(0)R(0)	R(0)W(0)R(1)
:	\	\	\	/	/
N-1	W(0)	R(0)W(1)R(1)	R(1)W(0)R(0)	R(0)W(1)R(1)	R(1)W(0)R(0)

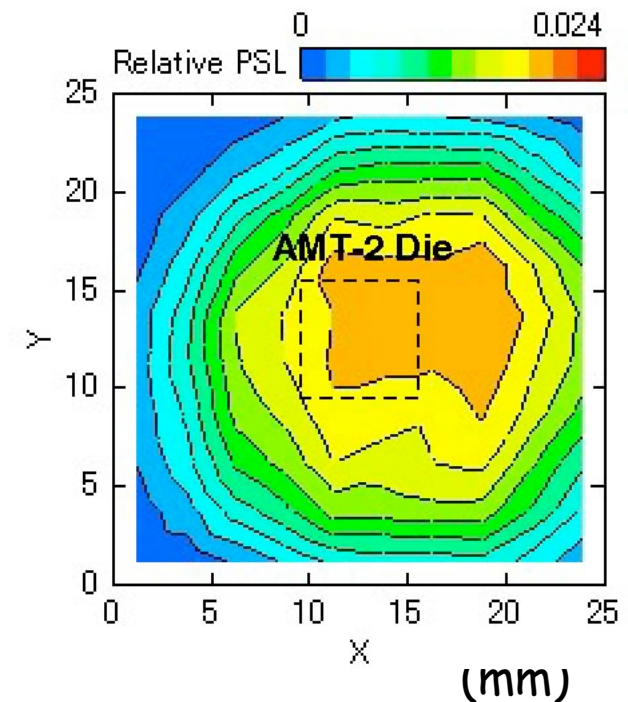
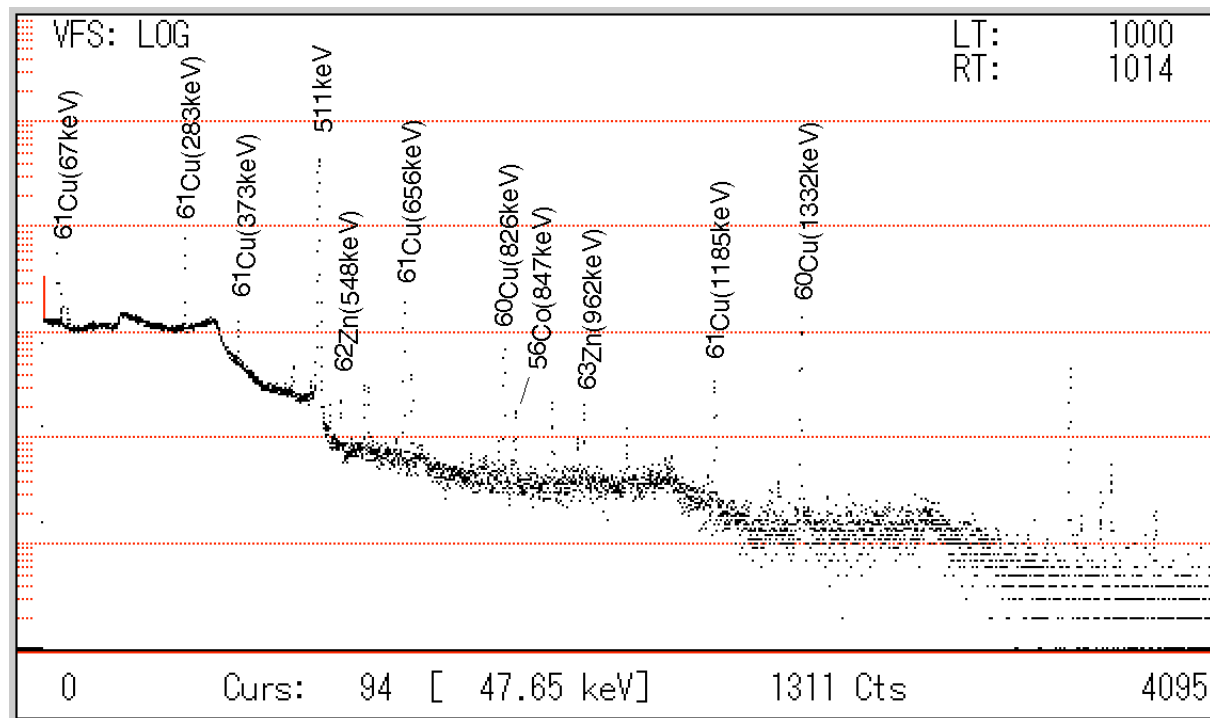
Pause A

Addr.	Initialize	1st Step	2nd Step	3rd Step	4th Step
0	W(1)	R(1)W(0)R(0)	R(0)W(1)R(1)	R(1)W(0)R(0)	R(0)W(1)R(1)
1	W(1)	R(1)W(0)R(0)	R(0)W(1)R(1)	R(1)W(0)R(0)	R(0)W(1)R(1)
2	W(1)	R(1)W(0)R(0)	R(0)W(1)R(1)	R(1)W(0)R(0)	R(0)W(1)R(1)
:	\	\	\	/	/
N-1	W(1)	R(1)W(0)R(0)	R(0)W(1)R(1)	R(1)W(0)R(0)	R(0)W(1)R(1)

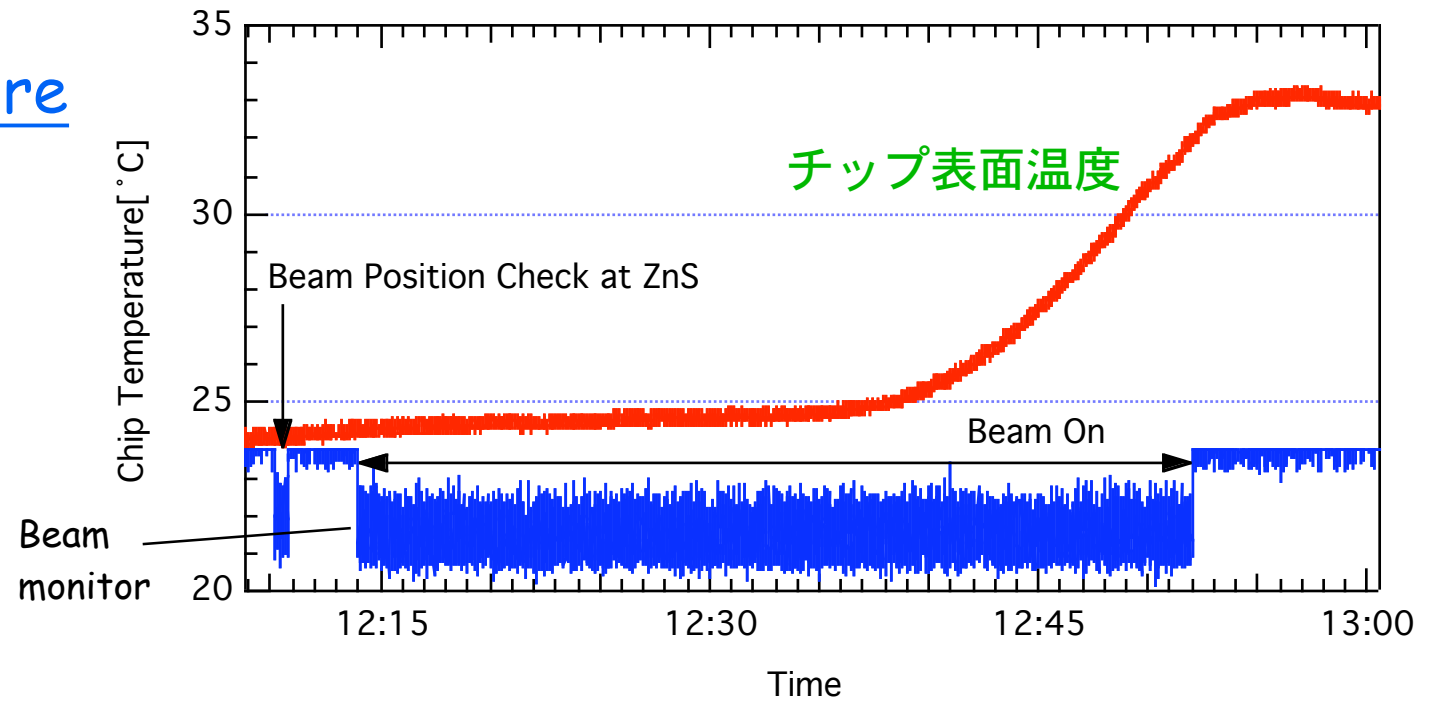
Pause B

Proton Beam Flux and Profile

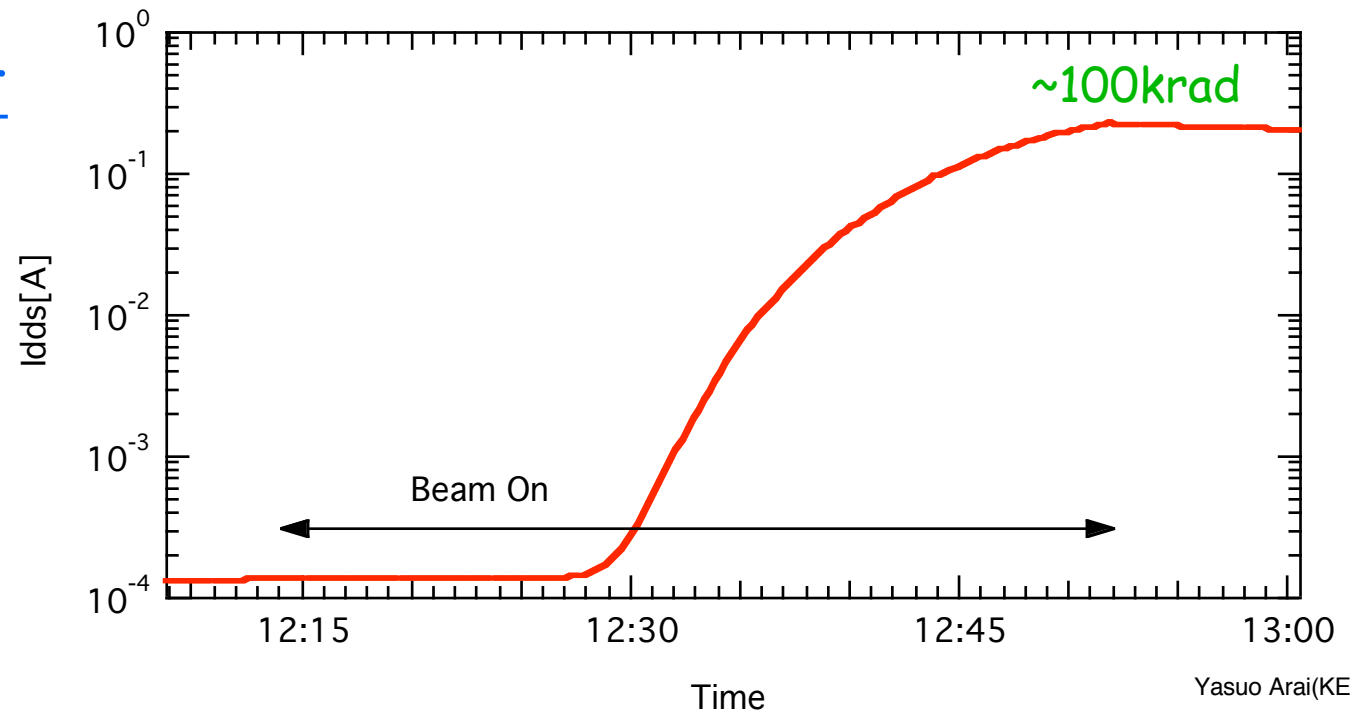
- 100 μ m thick Cu Foil (25 mm x 25 mm) was placed in front of the AMT-2.
- γ Spectrum was measured with Ge detector (measure absolute intensity).
- Relative intensity of 5 mm x 5 mm pieces were measured with Imaging Plate.



Temperature



Leak Current



SEE 試験結果

Chip	Proton fluence (1/cm ²)	Effective Fluence (1/cm ²)	Radiation Dose (krad)	Latch up	No. of SEU in Mem	$\square_{\text{SEU}}$ (Mem) (cm ² /bit)	No. of SEU in CSR	$\square_{\text{SEU}}$ (CSR) (cm ² /bit)
AA	8.10×10 ¹¹	5.94×10 ¹¹	130	None	0	< 3.6×10 ⁻¹⁶	0	< 2.3×10 ⁻¹⁴
CC	8.02×10 ¹¹	5.88×10 ¹¹	128	None	1	< 6.5×10 ⁻¹⁶	0	< 2.3×10 ⁻¹⁴
DD	8.03×10 ¹¹	5.89×10 ¹¹	128	None	0	< 3.6×10 ⁻¹⁶	0	< 2.3×10 ⁻¹⁴
FF	8.06×10 ¹¹	5.91×10 ¹¹	129	None	0	< 3.6×10 ⁻¹⁶	0	< 2.3×10 ⁻¹⁴
Total	3.22×10 ¹²	2.36×10 ¹²		None	1	< 1.6×10 ⁻¹⁶	0	< 5.6×10 ⁻¹⁵

- AMT中にメモリーは~11kbit, CSRは180bit。総数16,000チップ。
- Average value of the hadron flux is 2×10^9 h/cm²/y,
-> SEU < 55 (SEU/MDT system/year).
- No Latch up observed.

SEE Testまとめ

- SEE 試験を70 MeV 陽子ビームを使って行った。
- 2.36×10^{12} proton/cm²の照射に対して1回アップセットが観測された。
- メモリーに対するSEU断面積は 1.6×10^{-16} (cm²/bit)以下。
- CSRに対するSEU断面積は 5.6×10^{-15} (cm²/bit)以下
- MDT全体で、1日0.6回以下のアップセット。
- Latch Upは観測されなかった。

➡ AMTチップは、ATLAS Muon検出器で使用する上で、十分な放射線耐性を持っている。

Future Plan

Many Demands for High Resolution, Radiation Tolerant TDC
(JHF, Space, TOF, Ion analysis, ...)

Candidate Process

0.18 μm CMOS

Standard Cell

Radiation Hardness Tested
at NASDA

(TID > 500 krad(si),
 $\text{LET}_{\text{th}} > 64 \text{ MeV}/(\text{mg}/\text{cm}^2)$)

Target resolution

$\square < 50 \text{ ps}$

LSIテクノロジーの現状



設計ルール	0.25 μm	0.18 μm	0.11 μm	90nm
量産開始	1998-	2000-	2002-	2003-
動作電圧	2.5/3.3V	1.8/3.3V	1.2/3.3V	1.2/2.5V
配線層数	2P5M	2P6M	1P8M	1P11M
分離技術	STI	(Shallow Trench Isolation) →		
配線材料	Al	→		Al/Cu →
基板材料	バルク基板	エピ基板	エピ基板	エピ基板/ SOI基板?
6Tメモリ セル面積	7.6 μm^2	4.9 μm^2	2.2 μm^2	?
ステータス	-	実用試作	TEG試作	試作予定