

電子回路工学 小林研究室の紹介

<http://www-vlsi.es.kit.ac.jp>

大規模集積回路(LSI)を設計して
その信頼性を評価する

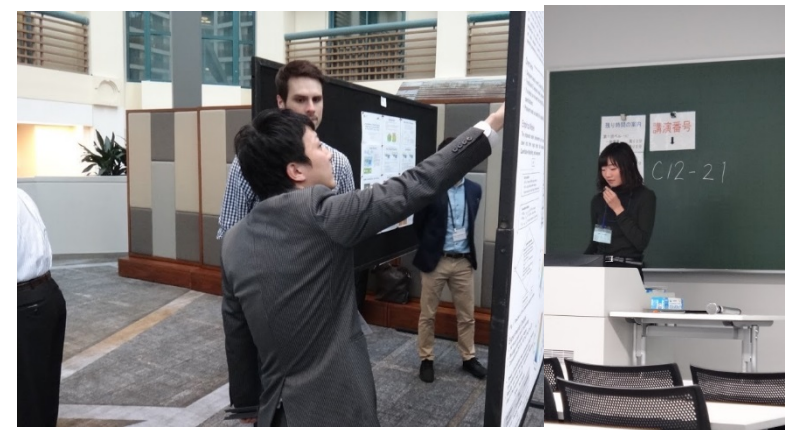
電子システム工学部門 小林和淑研究室



小林研での4つのできる

Kobayashi Lab.

1. 立案できる
基礎知識を元に
2. 設計できる
十分な設計環境
3. 測定できる
学内, 学外で
4. 成果を発表できる
国内, 国外で



研究内容

Kobayashi Lab.

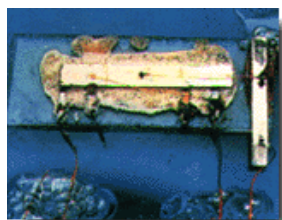
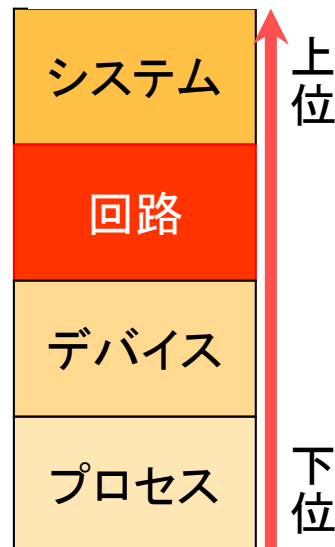
■ 二本の柱

- 集積回路(LSI)の信頼性
- パワーエレクトロニクス

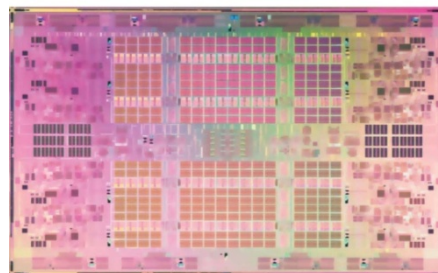
■ 設計、試作、評価

- 設計: 回路/レイアウト設計
- 試作: 製造委託後, プリント基板に実装
- 評価: LSIテスト, 加速器などで評価

設計階層



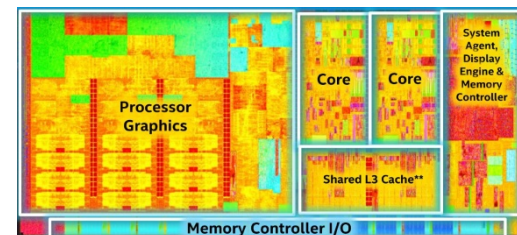
1個@1958



31億個(544mm²)@2011

32nmルール

40年で140万倍=1.5倍/年

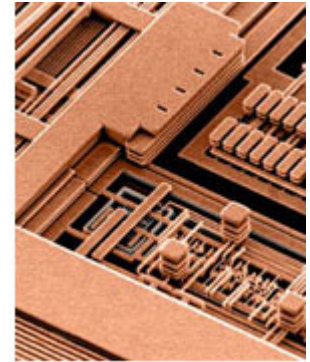


13億個(82mm²)@2014

14nmルール

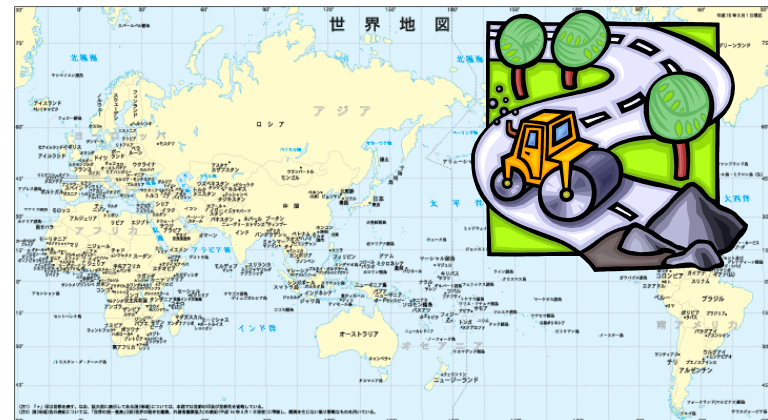
ナノスケールの巨大さ

- LSI上には, トランジスタと配線がnmスケールで描かれている
- 10mm角に最小22nmのパターンを書くのは, アジア大陸に15mの道路を15m間隔で書くのとほぼ同じ
- さらにLSIは多層配線(立体交差道路)



250nm LSIの配線

	mm	um	nm
チップ面積	$(10,000,000)^2$		
最小配線幅		22	
	km		m
アジア大陸面積	$(6,600,000)^2$		
道路の幅			15



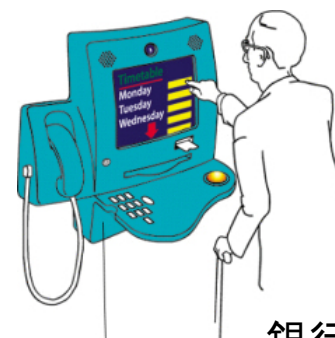
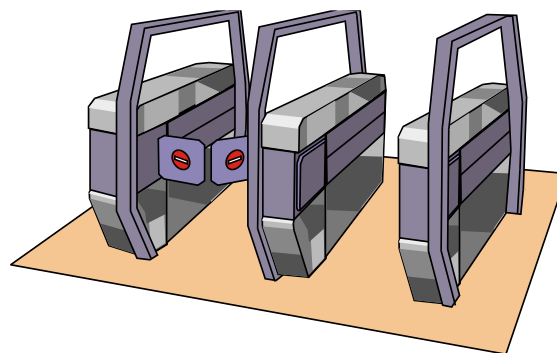
信頼性の低下が引き起こす問題

Kobayashi Lab.

- 日常生活は、LSIを使った電子機器に大きく依存



交通



銀行

- いったんトラブルが起こると、大きな影響が



200万
人に影響

2007年12月

SUICAシステムの故障

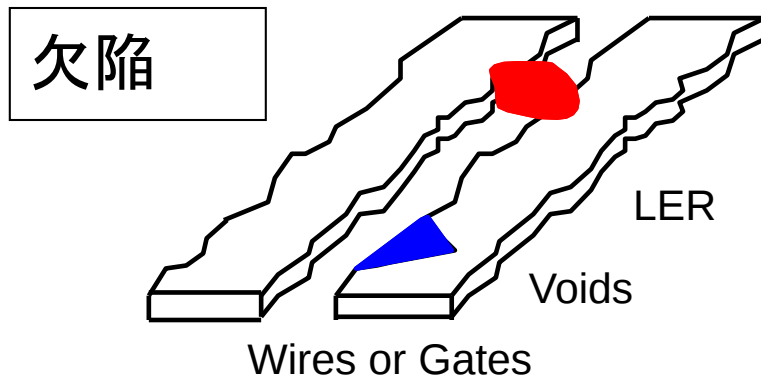
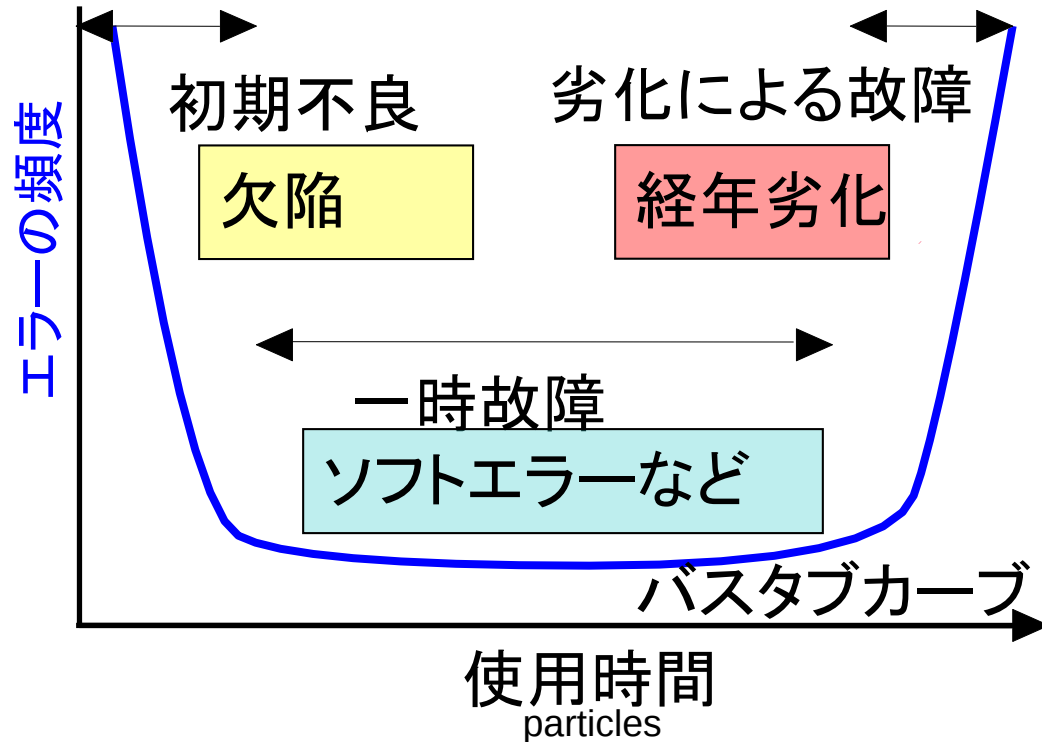


4.8万人に影響. ネットワー
クSWのLSIが故障原因

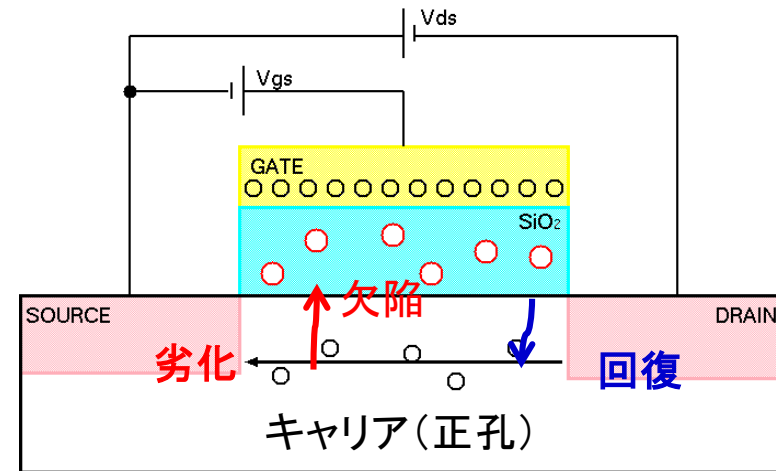
2016年3月 ANA 予約システムダウン

微細化による信頼性の低下

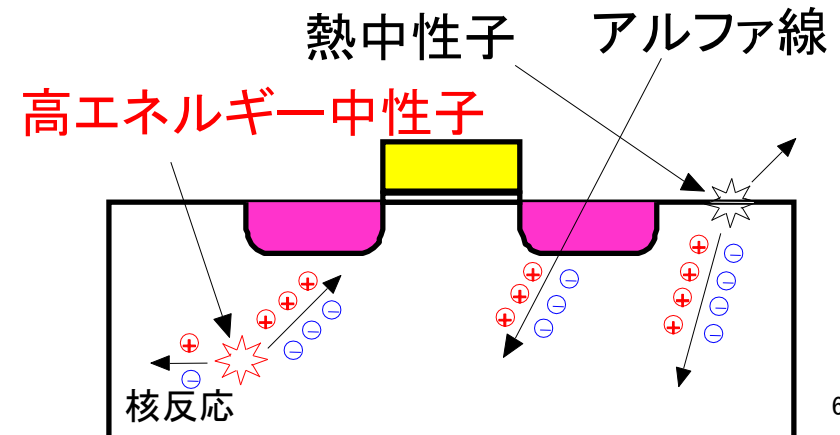
Kobayashi Lab.



経年劣化 (BTI)



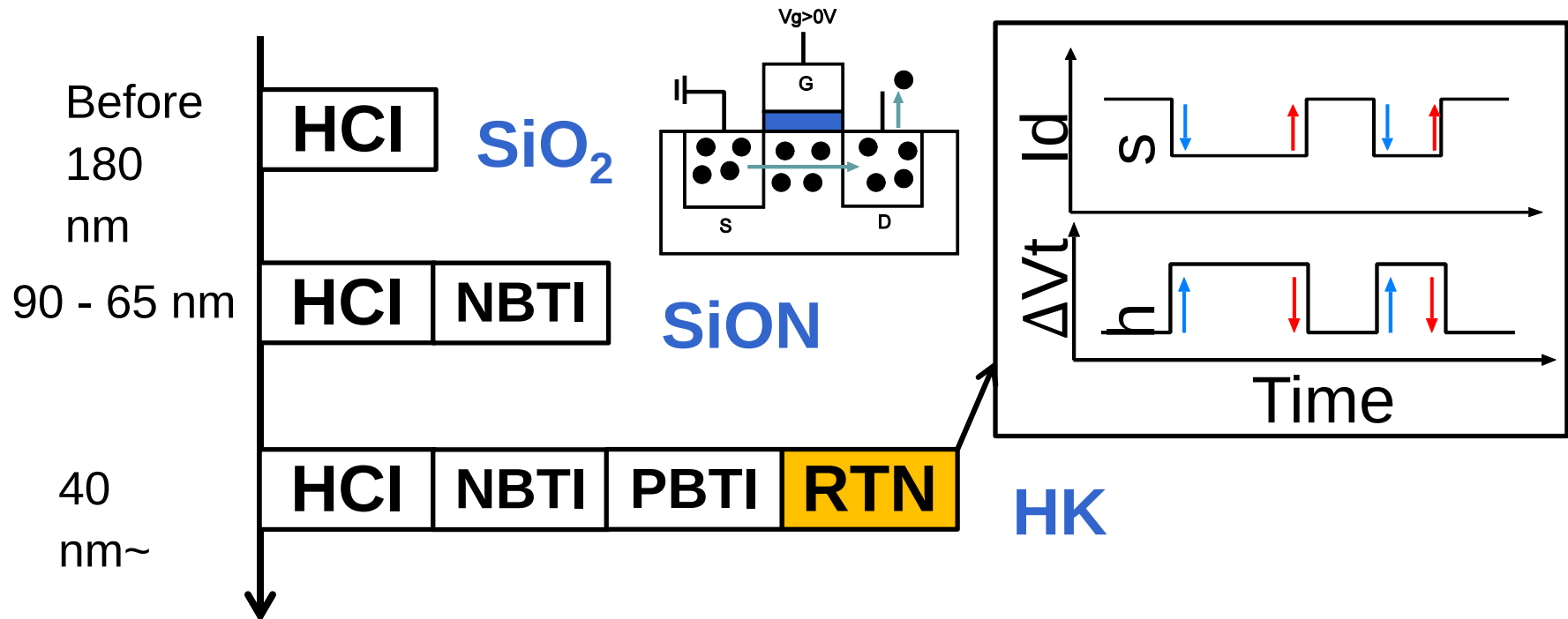
ソフトエラー



ゲート酸化膜起因の信頼性低下

Kobayashi Lab.

- 微細化に伴い様々な信頼性低下が顕在化

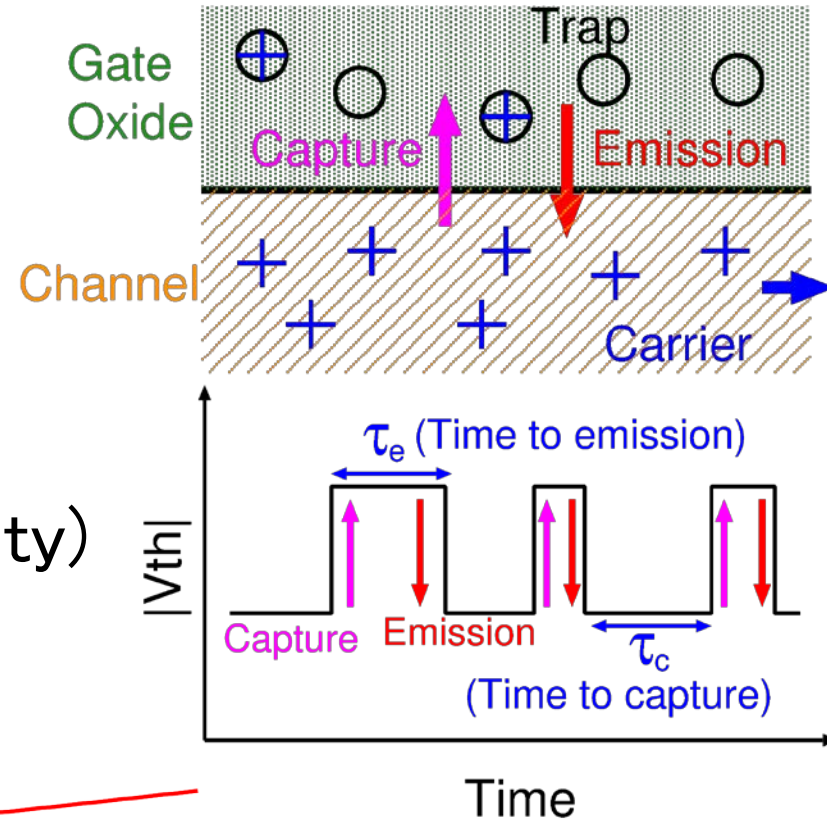


- RTN : V_{th} , I_{ds} がランダムに変動
- 微細なプロセスで特に深刻である

トランジスタ特性の動的変動

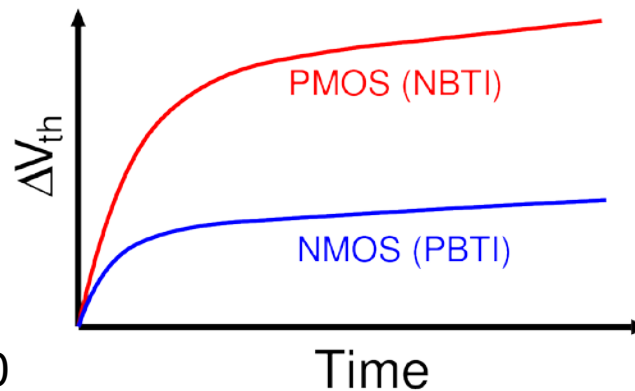
■ ランダムテレグラフノイズ(RTN)

- 一時的なドレイン電流変動
- ゲート酸化膜の欠陥に起因
 - 原因: キャリアの捕獲・放出
- しきい値電圧変動として表される



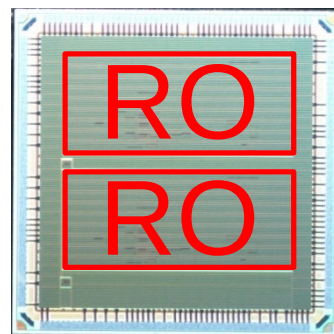
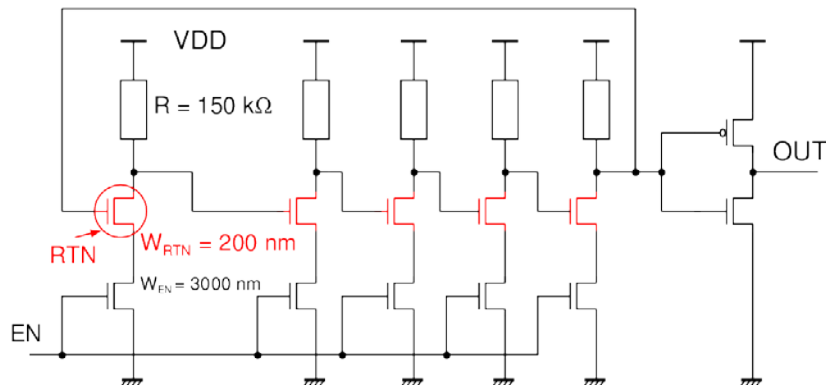
■ BTI (Bias Temperature Instability)

- 経年劣化現象
- メカニズム: RTNと同じ[4]
- PMOSで影響大
(@65 nmプロセス)

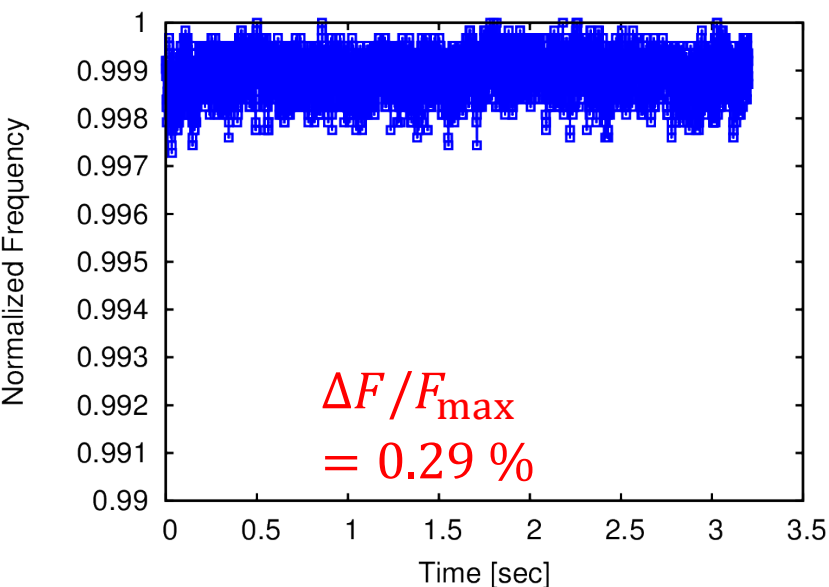


RTN測定用リングオシレータ (RO)

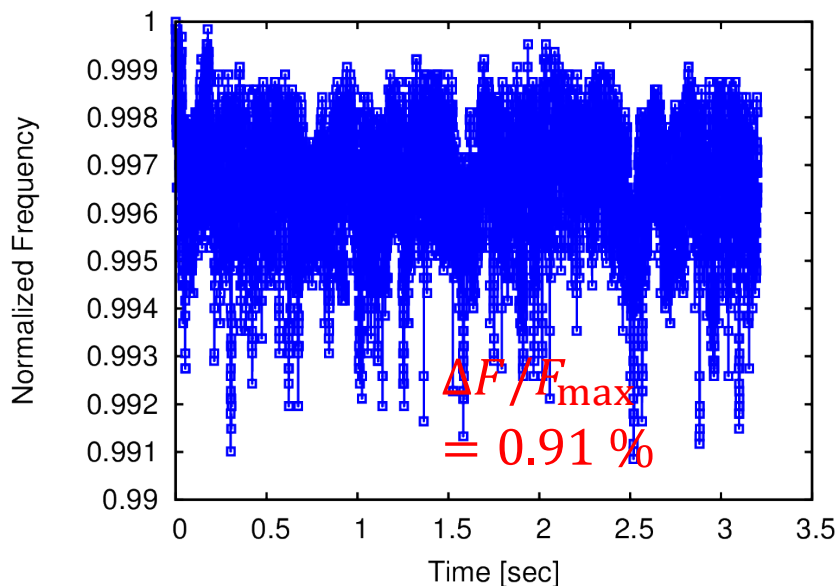
Kobayashi Lab.



特定のトラン
ジスタのRTN
が支配的とな
るように工夫



RO0



RO1

ROにより変動が異なる

ソフトウェアとは？

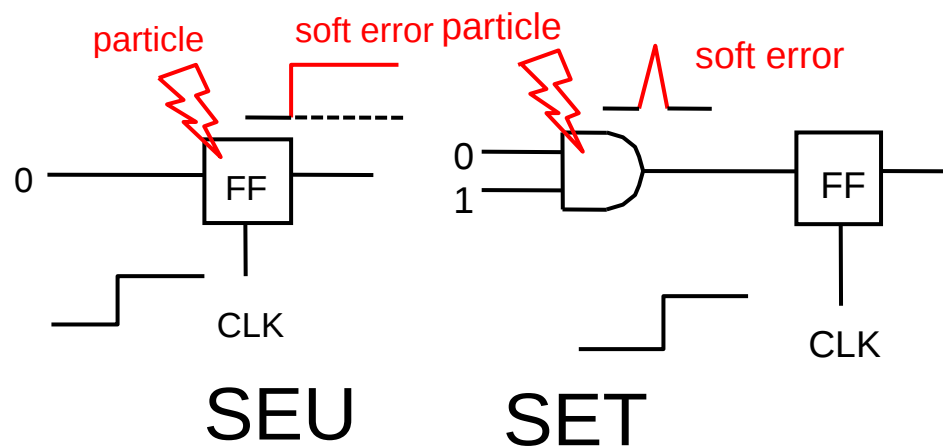
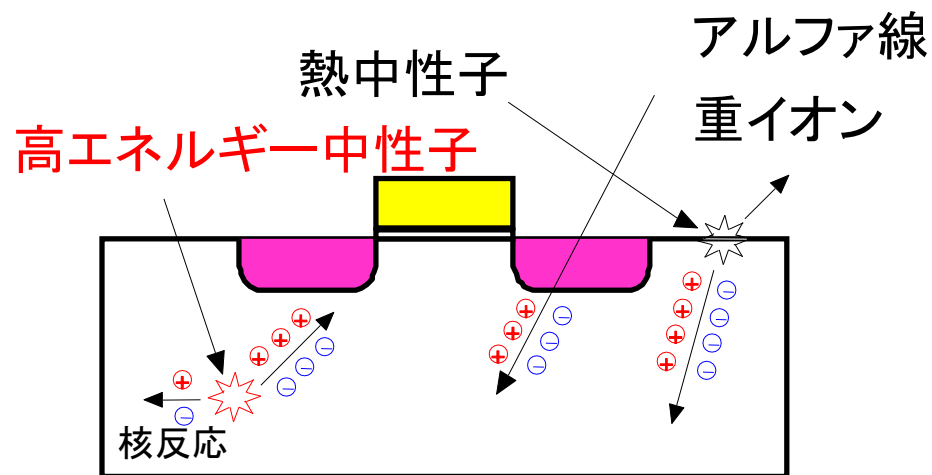
Kobayashi Lab.

■ 放射線がLSIに衝突

- α 線
 - 放射性不純物より
- 重イオン
 - 宇宙で問題
- 高エネルギー中性子
 - 宇宙より
 - 航空機では影響大
- 熱中性子

■ LSIが一時的に誤動作

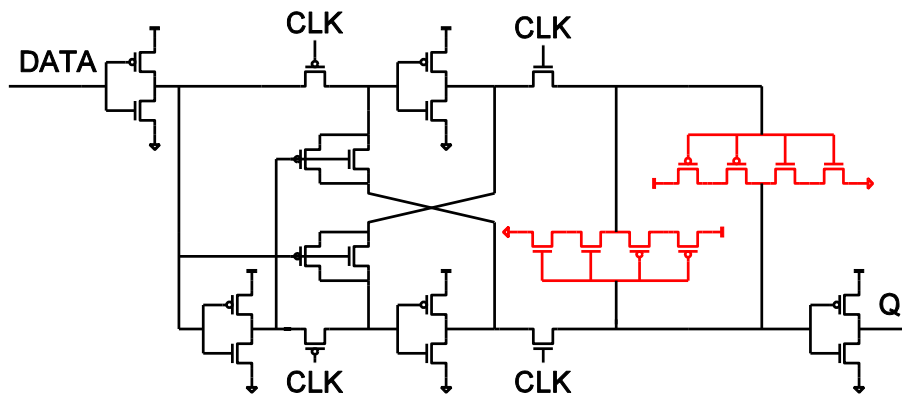
- スーパーコンピュータ(京)ではすでに対策済



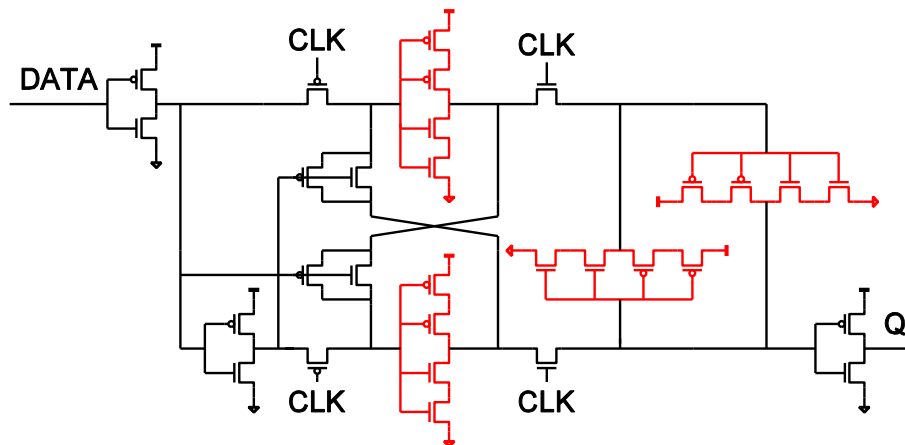
スタック構造による耐ソフトウェアFF

Kobayashi Lab.

AC Slave Stacked FF (ACSSFF)



AC All Stacked FF (ACASFF)



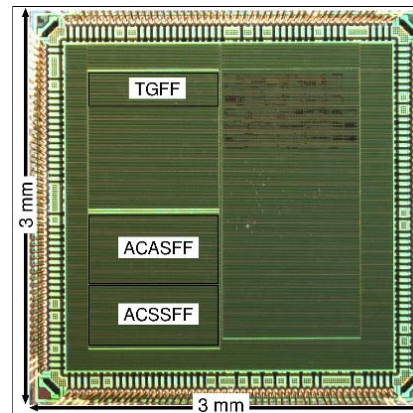
■ ACSSFF

- SLのインバータをスタック構造に置き換えたFF

■ ACASFF

- MLとSLのインバータをスタック構造に置き換えたFF

65 nm FDSOI プロセスで試作



FF	ビット数
TGFF	23,976
ACSS	41,760
ACAS	39,150

ソフトウェア耐性評価実験

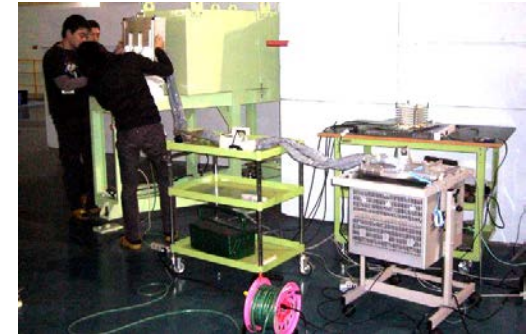
Kobayashi Lab.

■ 地上での耐性評価

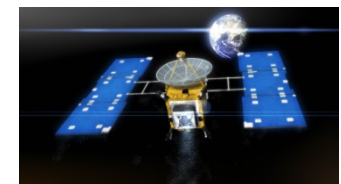
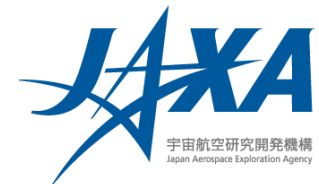
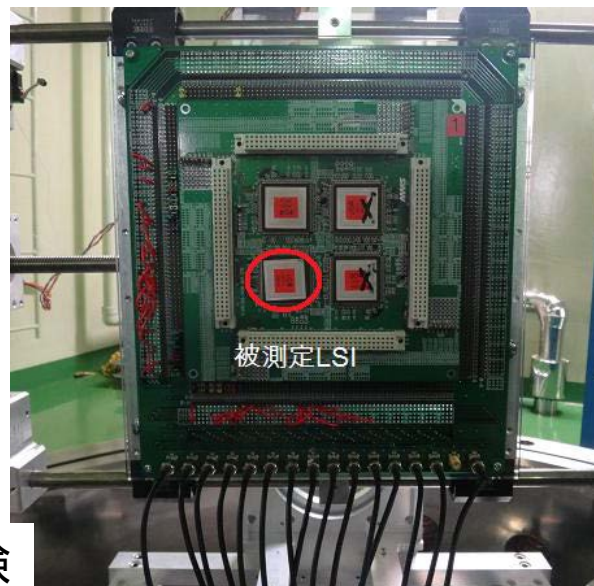
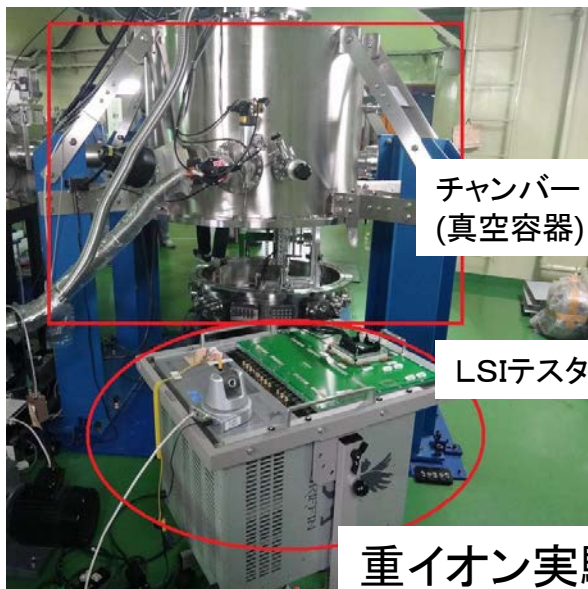
- α 線: 研究室内
- 中性子線: 大阪大学加速器

■ 宇宙での耐性評価

- 重イオン線: JAEA加速器 (JAXA所有のチャンバーにて)



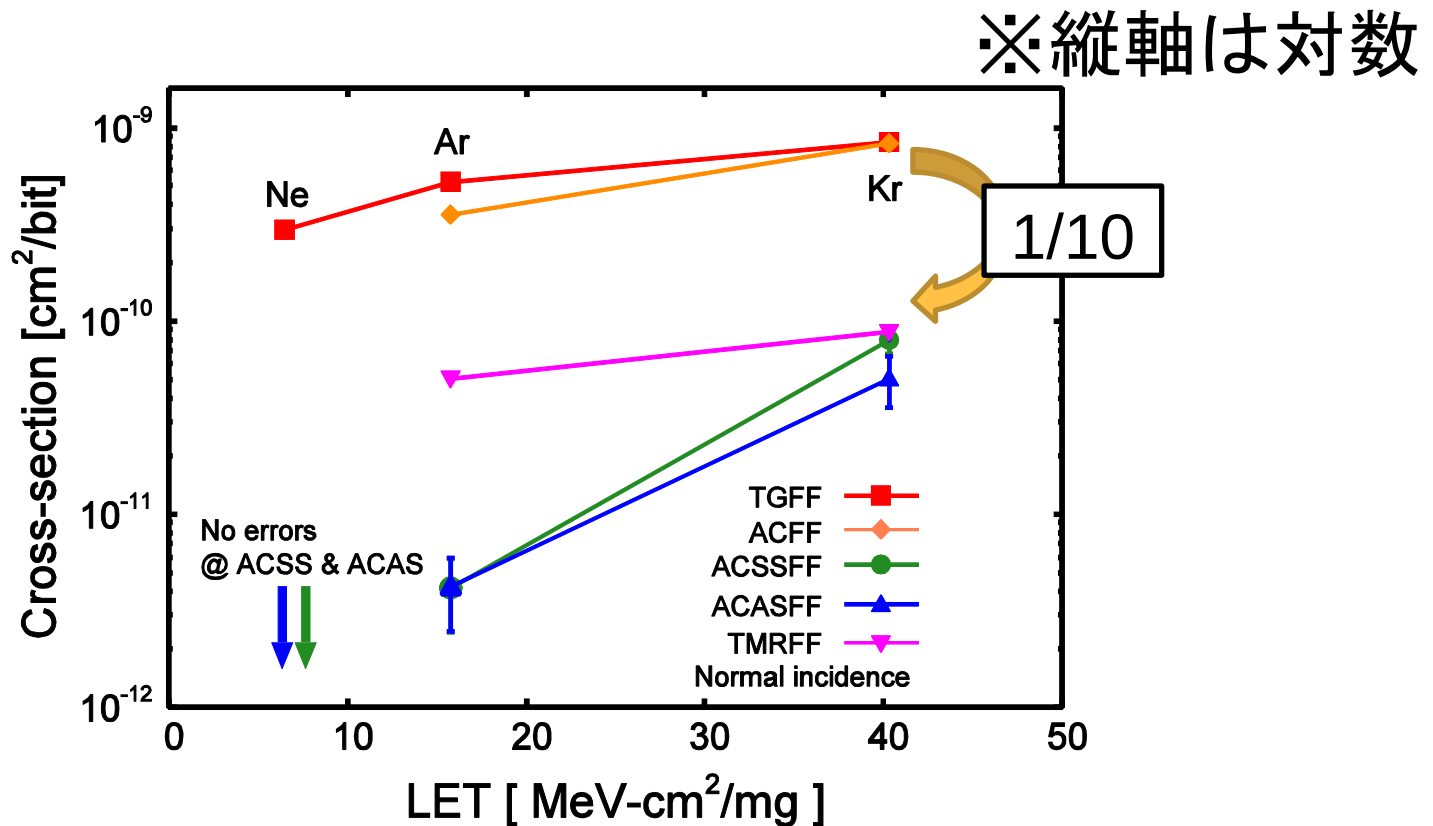
中性子線測定準備の様子



実測結果

Kobayashi Lab.

エラーの起こりやすさ

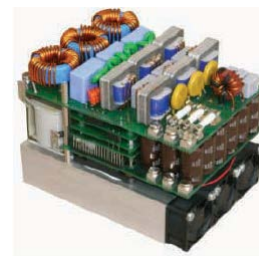
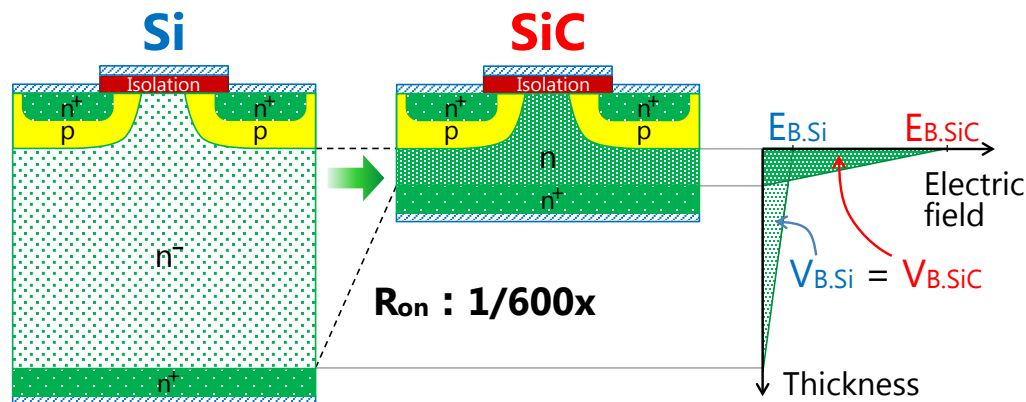


- TGFF(DFF)と比べ高いソフトエラー耐性
 - CS を1/10以下に低減 @ Kr照射
- TMRFF以上のソフトエラー耐性を達成

パワーエレクトロニクス

Kobayashi Lab.

- 電力変換を半導体電子回路で行う
 - 従来は機械スイッチや電気回路
- SiCなどのワイドギャップ半導体は耐圧が高く、ON抵抗を下げられる
- 高速化で小型化(1000倍速く→体積1/1000)



$f_{sw} = 72\text{kHz}$
 $\rho = 4.5\text{kW/dm}^3$

$\rho : 3x$



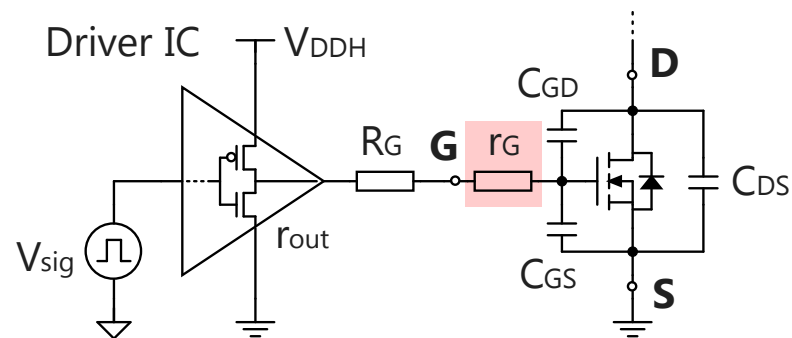
1MHz
 14kW/dm^3



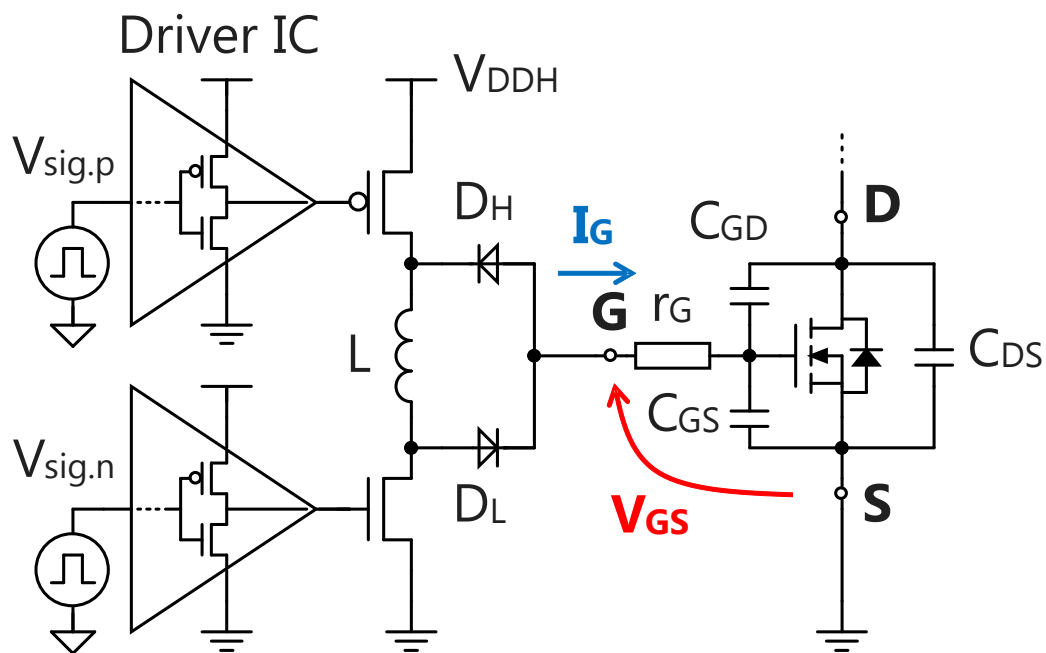
共振型ゲートドライバ

インダクタLとゲート入力容量 C_{iss} の共振により駆動

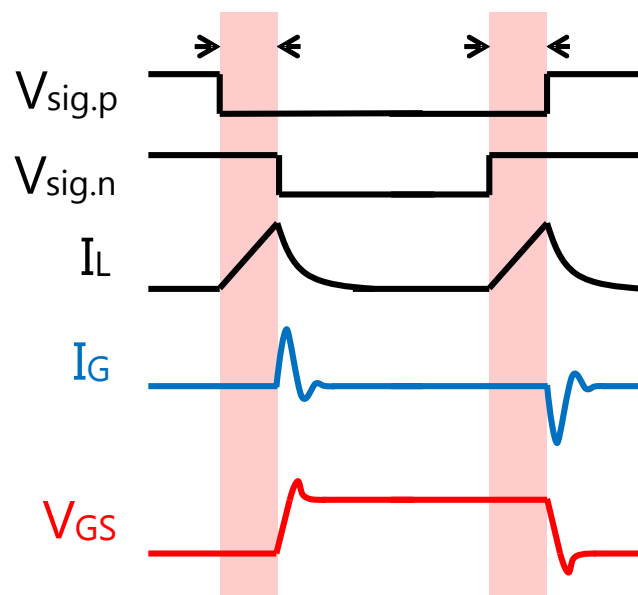
- 従来型は抵抗駆動
- 提案型は電流源駆動



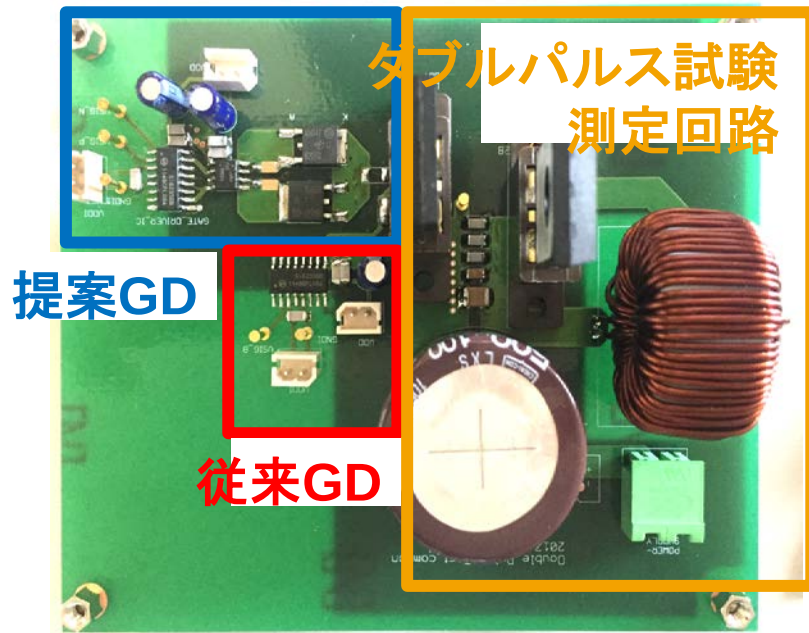
従来型



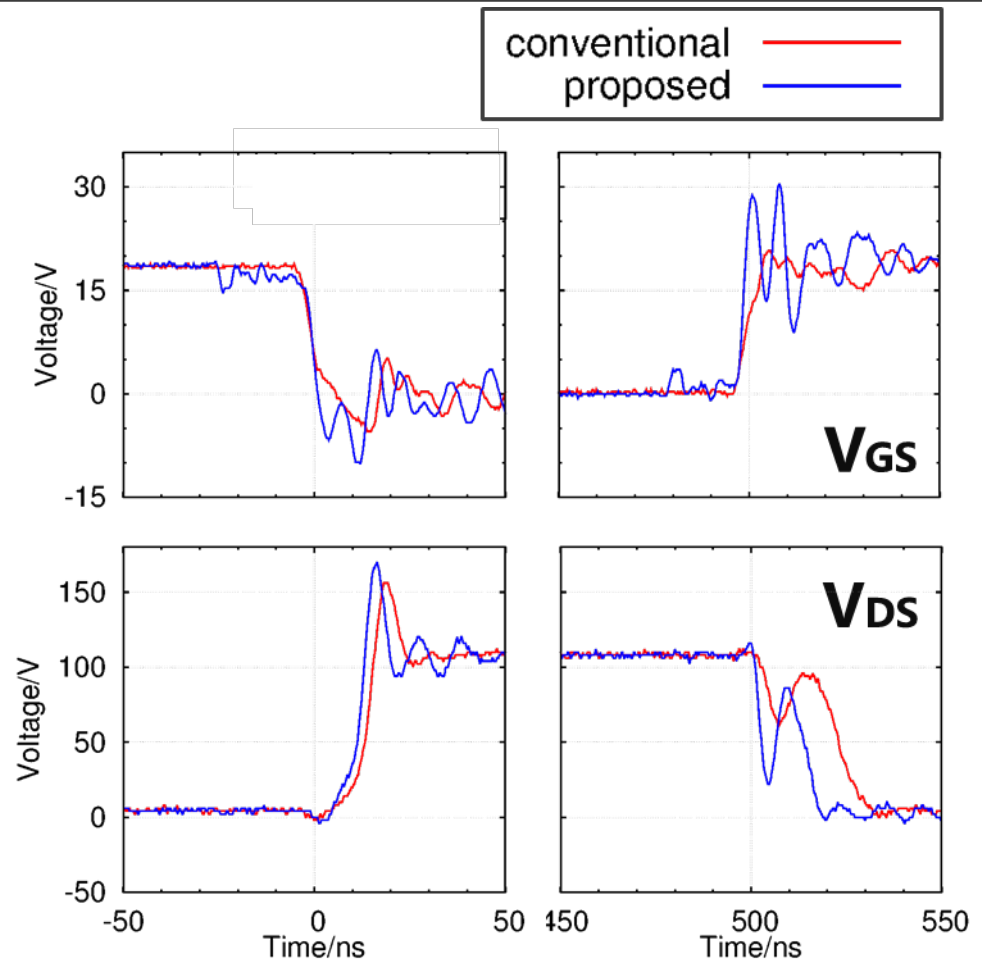
提案型



測定回路と測定結果

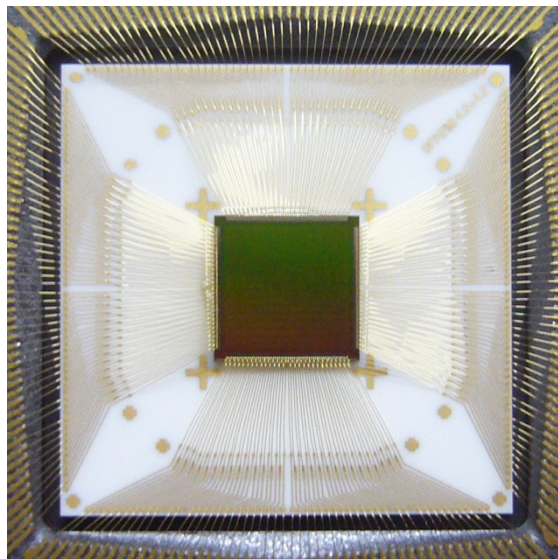


プリント基板上に実装

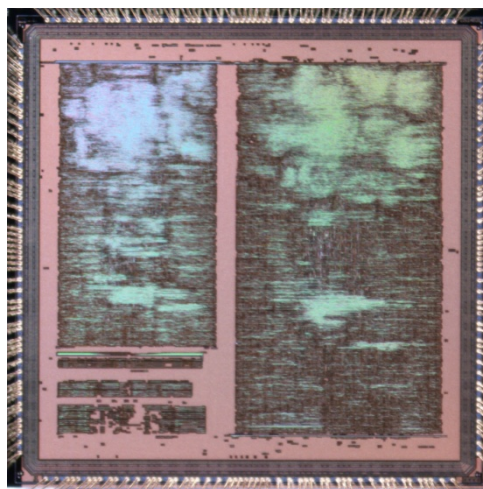


試作したLSIのチップ写真など

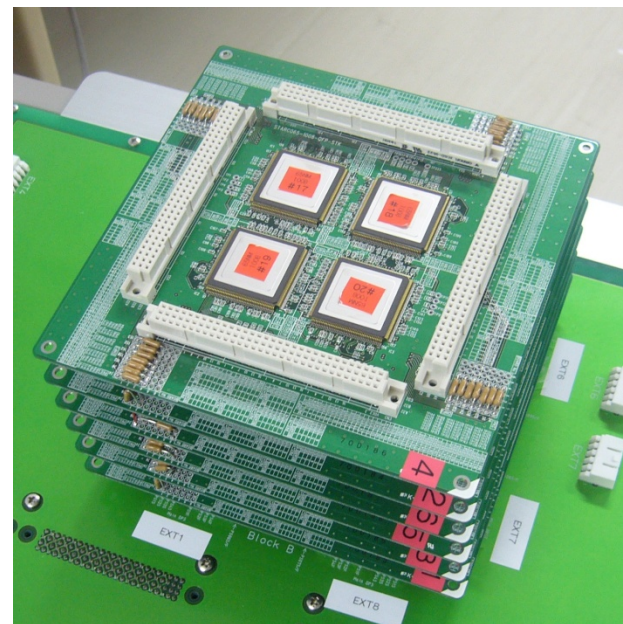
Kobayashi Lab.



65nm 耐ソフトウェアLSI
(チップとパッケージ)



180nm DARA
(高信頼性プロセッサ)



中性子実験用ボード
4枚積載ボードを6枚積層

小林研では、集積回路を設計、試作、評価できます

LSIに関する3つのテーマ

- 集積回路の経年劣化（永久故障，動的変動）
 - 集積回路の長期信頼性（BTI）の実測評価
 - 集積回路の動的変動（RTN, ランダムテレグラフノイズ）
- 一時故障（ソフトエラー）
 - 地上および宇宙向けの高信頼性集積システムの実現
 - 宇宙向け高信頼FPGA
- パワー集積回路
 - MHz動作電力変換回路の実現
 - GaN集積化パワー回路

進路と興味によりテーマ
を割り当て

多数の企業等との共同研究実績

- JAXA衛星開発企業(NECスペーステクノロジー)

- 準天頂衛星などの人工衛星に必須の高信頼回路
- 宇宙用FPGA

- 自動車半導体最大手(ルネサスエレクトロニクス, Panasonic)

- 経年劣化, 一時故障

電子システム工学課程で
最多の共同研究実績

- SoC会社 (Socionext, 富士通+パナソニックの合流会社)

- ソフトエラー測定方法の標準化 (九大, 阪大, JAEAとも)

- ITベンダー(日本システムウェア, NSW)

- SoC設計手法

- imec (ベルギーの研究機関)

- パワーエレクトロニクス, 耐放射線LSI, 経年劣化



研究の特徴

- 設計(Design)と 検証(Verification)の密接な連携
 - LSIを設計できる！
 - 作ったLSIを検証できる！自らが作ったLSIが動く！
- 設計から試作/評価まで一貫して取り組める
 - 各自の専用WSと各種設計用CAD
- 目的が明確な最先端の研究ができる
 - 学術的にも工業的にも価値のある研究ができる
 - 企業との共同研究により、実践的な研究、評価
 - **できる限り**修士課程に進んでほしい
 - さらに博士学位取得も目指してほしい



授業との関連

Kobayashi Lab.

- ◎デジタル電子回路 (担当小林)
 - 研究で主に取り扱っている内容
 - 単位が取れてなくてもよいが、全く理解してないと大変??
- ○アナログ電子回路(担当小林)
 - デジタル信号も高速になるとアナログ信号になります
- △集積回路設計基礎
 - 集積回路の基礎知識は輪講で学べます
 - 授業をとっていなくてもOK
- △電子デバイス基礎、電子デバイス
 - MOSTランジスタの動作原理
- ○プログラミング、ソフトウェア演習
 - プログラミングは、研究に必須のツール
 - 計算機(コンピュータ)を使うのが嫌いな人はちょっと大変かも..



教育・研究方針

- 教育(3回生まで)

- 必ず答えがある

「自ら考える」ことが
社会人としての第一歩！

- 研究(4回生以上)

- 答えのないことを自ら考え、発見する

導入教育を通じて、基礎知識を身につける

基礎知識を応用して、研究を行い

自ら考え発見する能力を養う



育てたい人材

Kobayashi Lab.

- 集積回路設計を通じて、システム全体を見渡せる人
 - － 研究で得た知見はその他の分野でも役に立ちます
- 意見を言える人
 - － 文句でも何でもよいので、発言することが重要
 - － 何も発信しなければ、やってないのと同じ
 - － 研究室内のミーティング、発表会、対外発表（国内、国外）で、磨きます。

イギリス、アメリカ、韓国、中国、オーストラリア、インド、ドイツ、フランス、スイス、スペイン、ハワイ、台湾……



研究室にほしい人材

- まじめな人
 - 遅刻したり、約束をすっぽかさない
- いろいろなことに興味を持っている人
 - サークル、趣味、スポーツなんでもOK
 - これからは研究にも興味を持ってください
- ONとOFFが切り替えられる人
 - やるときはやりましょう
 - 遊ぶときは遊びましょう



4回生の研究の流れ

- 導入教育, 輪講(週1-2回)
 - 計算機の使い方, 集積回路の基礎知識など
- 研究発表会聴講(2週に1回程度)
- 研究テーマ決定(5月中)
- 具体的な研究開始
- 研究打ち合わせ(週1回)
- 研究発表会(数回/半期)
- 大学院進学後
 - 積極的な対外発表(国内外)

メンバー/環境 (小林研)

Kobayashi Lab.

- メンバー(教員3名, 学生6名)
 - 教授 小林和淑, 助教 古田潤,
特任教授 熊代成孝, 秘書 嶋倉由美子
 - M2x2, M1x4, +B4
- 研究室の場所
 - 5号館3階 301, 302, 303号室
 - 机一つ+計算機2台 (Linux+Windows)



昨年のメンバー



302号室(学生居室)



301号室(実験室)



進学就職実績(2011年より)

Kobayashi Lab.

- 2012年度
 - 修士5名
 - ローム、タイガー魔法瓶、村田製作所、富士通、**博士進学**
 - 4年生4名
 - 2名本学大学院、1名東大大学院、■ 1名奈良先端大
- 2013年度
 - 修士2名: ダイキン, JR東海
 - 4年生3名本学進学
- 2014年度
 - 修士2名: **博士進学**, オムロン関連会社
 - 4年生3名 2名本学大学院, 1名京大大学院進学
- 2015年度
 - 博士1名 住友電工
 - 修士3名 日産, ダイキン, IT企業
 - 4年生3名 本学大学院進学(3x3)
- 2016年度
 - 博士1名 ルネサス
 - 修士3名 ルネサス、TOTO、研究生
- 2017年度
 - 博士卒 東京理科大助教
 - 修士卒 パナソニック, ローム, メガチップス
 - 学部卒 京セラ

研究発表実績(海外発表のみ)

Kobayashi Lab.

- 2013/3 SELSE at スタンフォード大
 - 2013/4 IRPS at モントレー
 - 2013/9 RADECS at オックスフォード大
 - 2014/6 IRPS at ハワイ
 - 2014/11 VMC at サンノゼ
 - 2015/4 IRPS at モントレー
 - 2015/09 RADECS at モスクワ
 - 2015/09 SISPAD at ワシントン
 - 2016/01 ASP-DAC at マカオ
 - 2016/03 SELSE at テキサス
 - 2016/07 NSREC at ポートランド
 - 2016/09 RADECS at ブレーメン
 - 2016/10 S3S at サンフランシスコ
 - 2016/11 WiPDA at アーカンソー
 - 2017/04 IRPS at モントレー
 - 2017/05 ICDTDT at オースチン
 - 2017/07 COMPEL at スタンフォード
 - 2017/09 EPE at ワルシャワ
 - 2017/10 RADECS at ジュネーブ
 - 2018/02 TPEC at ヒューストン
 - 2018/03 IRPS at サンフランシスコ
- 全リストは研究室のホームページに掲載



各種受賞歴(詳細はHP)