

## デジタル回路遅延の経年劣化とそのモデル化について

## Measurement and Its Modeling of Digital Circuit Delay Degradation

松本 高士<sup>1</sup> 小林 和淑<sup>2,3</sup> 小野寺 秀俊<sup>1,3</sup>Takashi Matsumoto<sup>1</sup>, Kazutoshi Kobayashi<sup>2,3</sup> and Hidetoshi Onodera<sup>1,3</sup><sup>1</sup> 京都大学大学院 情報学研究科<sup>1</sup> Department of Communications and Computer Engineering, Kyoto University, Kyoto, Japan<sup>2</sup> 京都工芸繊維大学大学院 工芸科学研究科 電子システム工学専攻, <sup>3</sup> JST CREST<sup>2</sup> Department of Electronics, Kyoto Institute of Technology, Kyoto, Japan, <sup>3</sup> JST CREST, Kyoto, Japan

## 1. はじめに

近年の微細化により、信頼性の高いシステムを設計することはますます困難になってきている。トランジスタのリーク電流のような従来より問題となっている要因に加え、特性ゆらぎ（ノイズ）、経年劣化、プロセスばらつきがディペンダブルなVLSIの実現を妨げる大きな要因として顕在化してきているためである。プロセスばらつきは製品製造時の状態を反映した時間に依存しない特性であるのに対し、経年劣化は製品出荷後の使用環境を反映した時間に依存する特性である。近年は、ゲート絶縁膜を薄膜化し、電源電圧をほぼ一定に保つように微細化がおこなわれてきたため、ゲート絶縁膜に加わる電界がますます増加し、この10年の間にゲート絶縁膜に起因した様々な信頼性劣化の問題が顕在化するようになった。代表的な経年劣化モードとして、NBTI (Negative Bias Temperature Instability)、HCI (Hot Carrier Injection)、TDDB (Time Dependent Dielectric Breakdown) が知られている。さらに High-k 膜の実用化とともに PBTI (Positive Bias Temperature Instability) も問題となっている。

以上の背景のもと、65nm CMOS テクノロジーにおいて試作したデジタル回路の遅延劣化を実測し、そのモデル化について検討をおこなった。

## 2. 遅延評価回路と劣化のモデル化について

図1にリング発振回路と分周回路から構成される遅延評価回路を示す。デジタル回路のうち、組み合わせ回路をリング発振回路によって代表させ、順序回路をD-フリップフロップで代表させている。リング発振回路と分周回路はそれぞれ独立に電源を制御することができる。リング発振回路は通常電圧では1GHzから5GHzの間の周波数を段数に応じて選択することができる。図1には、リング発振回路の電圧を2.2V、温度を125°Cとして発振周波数の劣化を測定した結果を掲載している。周波数劣化は時間のべきに従うことがわかった。順序回路の劣化は分周回路の分周

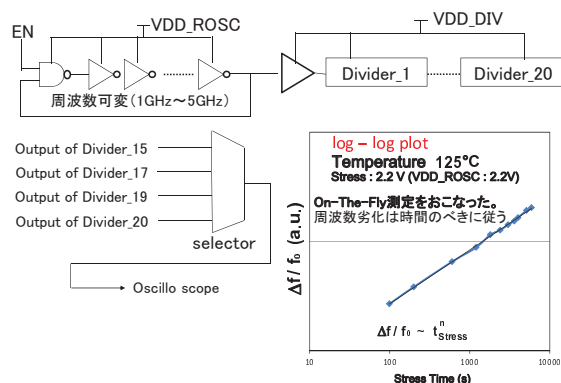


図1: リング発振回路と分周回路から構成される遅延評価回路と発振周波数劣化の測定結果。

可能最大周波数の変化として観測する。図2は絶縁膜中のトラップの幅広い時定数を容量とダイオードによって模擬したものである[1]。これらの素子の具体的な値を[2]で提案されたTDDS法(Time Dependent Defect Spectroscopy法)によって評価し、デジタル回路遅延の経年劣化のモデル化について検討をおこなった。

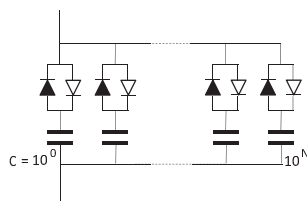


図2: 絶縁膜中のトラップの幅広い時定数を容量とダイオードによって模擬[1]。

謝辞

本研究の一部は、経済産業省からSTARCに委託された「次世代回路アーキテクチャ実用化支援事業」により実施した。チップ試作は東京大学大規模集積システム設計教育研究センターを通し株式会社半導体理工学研究センター、(株)イーシャトル、富士通株式会社の協力で行われたものである。

参考文献

- [1] B. Kaczer, *et al.*, IRPS, pp. 55 - 60, 2009.  
[2] T. Grasser, *et al.*, IRPS, pp. 16 - 25, 2010.