

RISC-Vコアと高速IF、組込FPGAを混載したSoC「SLMLET」

慶應義塾大学 理工学研究科 天野研究室 矢内 洋祐

イントロダクション

近年では、IoTエッジ側に求められる処理が高度化を続けている。エッジ処理の実装にはソフト、ASIC、FPGAなどから最適なものを選ぶ形になるが、近年新たな選択肢としてプロセッサと同じシリコンに実装できるeFPGA IPが登場している。今回天野研究室では、RISC-Vのプロセッサコアと熊本大学が作成したSLM再構成ロジックと呼ばれるeFPGA、そしてHyperBusと呼ばれる高速インターフェースをシリコンに統合したSoCを設計・製作した。

「SLMLET」 SoC

SoC概要

SLMLET SoCは、IoTのエッジ処理を行うことを主眼に置いて開発された、RISC-VとeFPGAの混載SoCである。チップは4.2mm四方(17.64mm²)のサイズであり、ダイのレイアウトの通り上部にRISC-V SoCおよびSRAM、下半分にSLM再構成ロジックが実装されている。チップはUSJC 55nmプロセスで実装されており、特徴としてボディバイアス制御を使用できることが挙げられる。これにより、通常のシリコン以上にトランジスタのリーク・スイッチング特性を大きく変えることができる。

また、SoCにはHyperBusと呼ばれる高速IFを実装しており、このIFを介してDRAMを接続しメモリ空間を広げたり、同じSLMLET SoCをカスケード接続することでスケーラビリティを確保している。

eFPGAであるSLM再構成ロジックは、約3000LEに相当する規模のものを搭載している。また、コアの指示によりランタイム・リコンフィギュレーションを行うことも可能である。

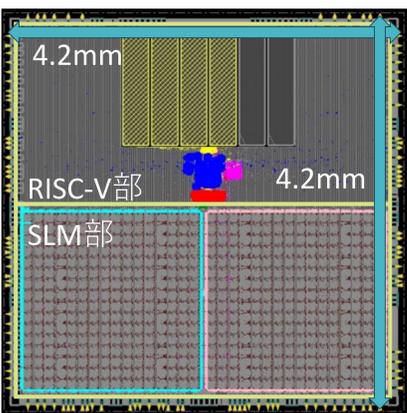


図1: SLMLET SoCの配置図

SLMLETのアーキテクチャ

SLMLETの内部は図2のような構造になっている。RISC-Vコア、SLM、そして外部I/Oに繋がるDMAコントローラーで共有されているメモリバスが二本あり、そこにそれぞれ128KBのSRAMが搭載されている。このバンクはRISC-V CPUの指示により接続先を決定できるスイッチとなっており、またそれぞれ独立して接続先を変更可能である。そのため、例えばBank1でDMA転送をしながらBank2をSLMで使用する、といった使い方も可能。また、SLMのConfiguration Dataもこの共有SRAMに保存される。

一方でプロセッサコアには専用のROM/RAMが存在し、ブート時にはこの命令・データメモリが使用される。

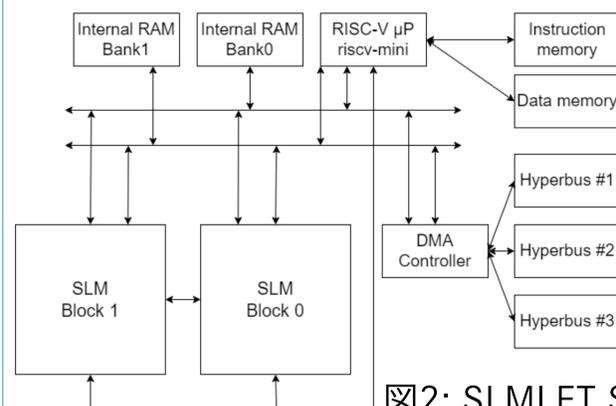


図2: SLMLET SoCのアーキテクチャ

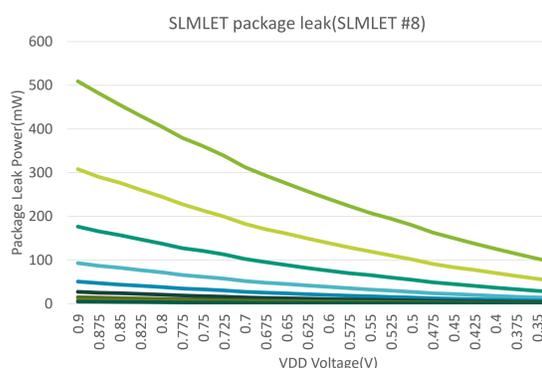
SLM/DMA/HyperBus等の制御はデータ用のSRAMバスと別範囲に確保されたMMIO経由で行われる。

SLMLET SoCの評価

実際にこのチップをUSJC 55nmプロセスを使用して製造し、実チップによる電力評価を行った。また、高速なチップ間I/Fとして採用したHyperBusの性能評価も行い、スケーラビリティの確保ができることも確認した。

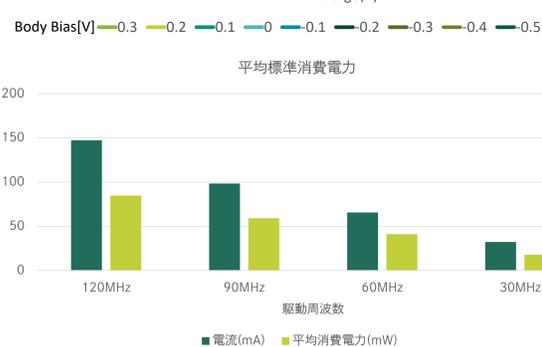
電力評価

SLMLETのリーク電力の測定を行った結果、標準電圧となる0.9V、ゼロバイアス設定で約93mWとなった。ボディバイアスの効果も非常に強く、バックバイアスを-0.4Vとしたところ、Vddは標準の0.9Vのまま、リーク電力はボディバイアス0と比較して16%まで削減できることを確認した。



実際にHyperRAMにアクセスをするプログラムを走らせた時の電力測定を行った結果が、平均標準消費電力のグラフである。

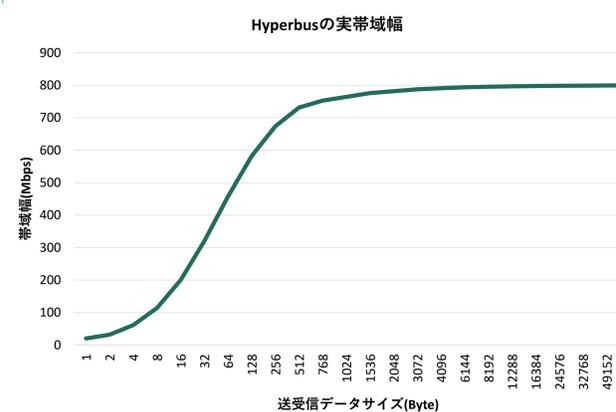
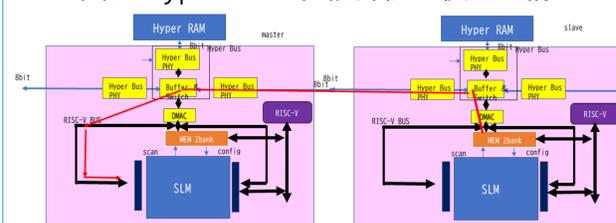
ボディバイアスおよび電圧を調整した結果、120MHz動作時にはVDD 0.575V、逆バイアス-0.1Vで84mW、30MHzで動作させた際にはVDD 0.55V、逆バイアス-0.4Vの設定の上で17.6mWでの動作が可能であることを確認した。



HyperBus性能評価

チップ間を接続する高速I/Fとして、HyperBusと呼ばれるインターフェースを採用している。これは、SPIバスをベースに8bit化、DDR等の技術を採用することで、ピン数を抑えながら速度を稼ぐバスである。このバスの実効速度を、シミュレーションを用いて性能評価を行った。

図3: HyperBusの性能評価で模した構成



100MHzのクロック入力動作させることを想定した場合のデータサイズごとの実帯域幅が右のグラフである。100MHz時の理論値は800Mbpsであり、データサイズが512Byteを超える際に、バスの効率が90%を超える。最大サイズである65535Byteを転送した場合、799.4Mbpsで転送が可能である。