

令和 4 年 6 月 20 日現在

機関番号：57102

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2017～2021

課題番号：17K01008

研究課題名(和文)アナログLSI設計者育成のための新しい教育システム開発と授業・公開講座の実施

研究課題名(英文)A novel education system for analog LSI designers

研究代表者

清水 暁生(Shimizu, Akio)

有明工業高等専門学校・創造工学科・准教授

研究者番号：90609885

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,600,000円

研究成果の概要(和文)：アナログLSI設計に興味を持って高等教育機関へ進学する子供を増やすために、小中学生を対象としたアナログLSI設計講座を開催した。本講座では、アナログLSIの基本回路ブロックであるCMOSオペアンプを設計した。さらに、事前に試作しておいた同オペアンプにスピーカーを接続し、音が増幅されていることを確認した。設計するオペアンプの出力段として三種類の回路を用意し、それぞれの音質の違いを確認することができた。一般的な回路設計には数ヶ月を要するが、回路ブロックを用意することで、レゴブロックを組み立てるような感覚で設計できる環境を構築した。これにより、3時間程度で講座を実施することができた。

研究成果の学術的意義や社会的意義

半導体消費量の増加やセンシングデバイスの需要増加に伴い、アナログLSI設計技術の重要性が高まっている。既に大学や企業においてアナログLSI設計教育を行っているが、アナログLSIに関わる研究室や会社に興味を持つ学生が少ないことが問題になっている。日本のアナログLSI開発の歴史は長く、海外と比較して高い設計技術を有している。しかし、高度な知識を持った人材の高齢化に伴い、技術の伝承が難しくなるため、早期教育が重要である。

本研究によってアナログLSI設計に興味を持った子供たちが、将来、アナログLSIに関わる職業に就いたとき、日本の高いアナログLSI設計技術を未来へ繋げられることが期待される。

研究成果の概要(英文)：In order to increase the number of children who are interested in analog LSI design and go on to higher educational institutions, an analog LSI design workshop was held for elementary and junior high school students. In this workshop, the students designed a CMOS operational amplifier (OP), which is a basic circuit block of an analog LSI. In addition, the students connected a speaker to the OP, which had been fabricated in advance, and confirmed that sound was amplified. Three different circuits were prepared as the output stage of the OP to be designed, and the differences in sound quality were confirmed for each. Typical circuit design takes several months. However, by preparing circuit blocks, we created an environment in which participants could design as if they were assembling Lego blocks. As a result, it possible to conduct the workshop in about three hours.

研究分野：アナログ集積回路

キーワード：アナログ集積回路 工学教育 演算増幅器

1. 研究開始当初の背景

近年、様々な分野で半導体の消費量が増加しており、LSI 設計技術はますます重要になってきている。特に IoT や 5G、バイオインピーダンス計測など、今後、アナログ LSI 技術が重要になると考えられる分野においては超低消費電力・超低ノイズのアンプなど高度なアナログ LSI 設計技術が求められる。しかし、企業や高等教育機関においてはアナログ LSI を熟知した技術者や教員の退職が深刻な問題となっている。アナログ LSI 設計技術の伝承のためには若手のアナログ LSI 技術者を育成することが急務である。企業や大学においては既に新入社員や大学生を対象とした高度なアナログ LSI 設計教育が実施されている。しかし、アナログ LSI 設計には、電子回路の知識だけでなく半導体工学や設計ツールの知識も必要であり、習得に時間を要する。また、最近の電子機器は分解が困難なものも多く、さらに電子機器内部の LSI は樹脂でモールドされているため、学生の興味を LSI に引きつけることは難しい。

このような背景から高等教育機関に進学する前の子供たちが LSI に興味を持つような教育コンテンツが必要だと考えた。

2. 研究の目的

本研究では、アナログ LSI に興味を持つ学生を増やすことを目的とし、小中学生を対象としたアナログ LSI 設計講座を実施する。幅広い知識が必要なアナログ LSI 設計を小中学生が短期間で修得することはできない。しかし、アナログ LSI 設計を経験することで、身近に感じることでできなかったアナログ LSI 設計エンジニアのイメージを小中学生が持ち、アナログ LSI 設計が将来の職業選択の一つになることを期待している。子供たちに工学分野に興味を持ってもらうために、既に様々な工作教室が実施されており、アンケート結果から小中学生に対する工作教室によって子供たちが工学や理科に興味を持つことが実証されている。

しかし、筆者が調べた限り、アナログ LSI に関する小中学生向けのイベントが今までに実施された例はない。提案する教育システムでは LSI 設計ツールである SX-Meister (株式会社ジューダット) を使用し、アナログ LSI 設計の一連の流れを体験できる。また、小中学生がオシロスコープなどの測定機器を用いてアナログ LSI を評価することは難しい。そこで、音や光など五感を用いて評価する方法が適していると考え、小中学生が設計したオペアンプをオーディオアンプとして評価する教育システムを構築する。

3. 研究の方法

本研究では文献[1]、[2]の成果を基に、小中学生がオペアンプを設計、シミュレーション、レイアウト、評価する教育システムを提案した[3]。提案するアナログ LSI 設計講座では、受講者が事前に準備された回路ブロックを組み合わせてオペアンプを設計し(図 1)、シミュレーション、レイアウト、実験を行う。この提案手法では、配線作業が主となり、回路設計の全てを体験できるわけではない。LSI 設計全体の流れを子供たちが理解するためには、複雑な工程を省く必要があると考えている。例えば、ブレッドボードによる回路製作であったり、LittleBits のように磁石で接続して回路を作る教材などは初学者でも簡単に製作できるように工夫されている。製作工程が容易であれば子供であっても一人で作業でき、設計から実験までの流れを短時間で経験できる。このような考えから、本研究では配線を引くだけの設計手法を採用する。また、設計したオペアンプのレイアウトデータを半導体ファウンドリに提出してからチップが届くまでに数ヶ月かかる。本講座の試作においても、データ提出から納品までに約 4 か月を要した。そのため、本講座では予め試作しておいたオペアンプを用いて実験を行う(図 2)。参加者自身が設計したものではないが、回路およびレイアウトはほとんど同じものであり、一般的な回路設計と同様の経験ができると考えている。仮に参加者が設計したものを製造して実験したとしても、製造自体は半導体ファウンドリが行うため、本講座の流れと大差はない。さらに、本講座においては、製造したチップをパッケージしていないベアチップ状態のまま顕微鏡で確認することができ、ミクロなモノづくりを経験していることを受講者に認識してもらう。受講者自身がレイアウトしたものとほとんど同じ形の回路を目視で確認でき、樹脂でモールドされたものづくりをしている感覚が薄れてしまう問題も解決できる。

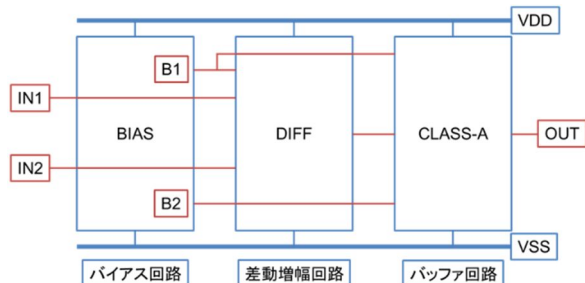


図 1 回路ブロックをつなぎ合わせたオペアンプ

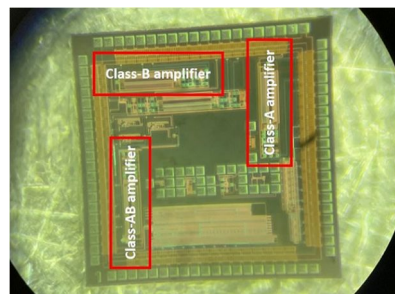


図 2 試作したオペアンプ

4. 研究成果

本研究により構築した教育システムを利用して、2019年と2020年に小中学生を対象としたアナログLSI設計講座を開催した。各講座の参加者は20名弱で、小学5年生から中学3年生までの子供たちが参加した。2019年の講座では、SX-Meisterを使用した回路設計からレイアウトまでの作業を3時間(図3)、試作したオペアンプの評価を3時間で行った[5]。また、パッケージされたLSIでは回路を直接見ることができないため、顕微鏡を使用してパッケージするまえのペアチップの状態を回路を観察してもらった(図4)。2020年の講座では、これらの実施時間を短縮し、レイアウト作業までを2時間弱、評価を1時間で行った。

2019年の講座の最後にアンケートを実施した。受講者の88%は「LSI」という言葉を知らなかったが、本講座を通して受講者全員が「LSIに興味を持った」と回答していることから、本研究の目的に合った講座を実施できたことがわかった。また、「LSI設計の仕事をやってみたいと思ったか」という質問に対しては受講者の半数が「思った」と回答した。実際にLSI設計を希望して高等教育機関に進学するかについては追跡調査で明らかにする必要があるが、受講直後においては職業選択の一つに入るということがわかった。



図3 受講者がレイアウトしている様子

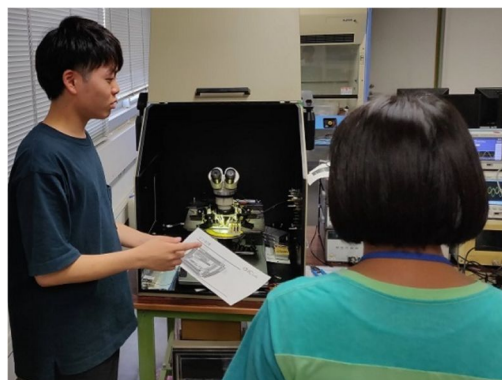


図4 試作チップについて説明している様子

近年、世界的な半導体不足により日本の半導体産業の弱点が明らかになった。そこで、高専機構は半導体教育に力を入れることを発表した。一方で、半導体を用いたLSIを設計できる人材育成もますます重要になってきている。今までは大学院生など高度な知識を持った学生がLSI設計を学んでいたが、今後は高専生のような若い人材もLSI設計を学ぶことが大切だと考えている。本研究成果の特徴の一つは、様々な学年の授業に転用できることであり、今後は小中学生だけでなく、高専生の授業でも活用できるように工夫しなければならない。既に、本教育システムで設計できる回路数を増やし[4],[8]、オシロスコープなどの実験装置を利用した測定環境を構築した[6]。高専生のレベルに適した教育システムを構築できれば、LSI設計者不足の解消と日本のLSI設計技術力向上が期待される。

- [1] 清水暁生, 吉富貴司, 野口卓朗, 石川洋平, 深井澄夫, “IC設計初学者向けの演算増幅器設計教育に関する一考察”, 電気学会電子回路研究会, ECT-18-049, pp.29-33, June 2018.
- [2] 清水暁生, 梅崎千晴, 馬場智, 吉富貴司, 野口卓朗, 石川洋平, 深井澄夫, “小中学生を対象としたオーディオアンプ製作教室”, 電気学会電子回路研究会, ECT-19-007, pp.33-37, Jan. 2019.
- [3] Chiharu Umezaki, Akio Shimizu, Takashi Yoshitomi, Takuro Noguchi, Yohei Ishikawa, Sumio Fukai, “Headphone Amplifier and Its Layout for Education for High School Student”, 2019 IEEE International Symposium on Circuits and Systems (ISCAS), May 2019.
- [4] 梅崎千晴, 清水暁生, 吉富貴司, 野口卓朗, 石川洋平, 深井澄夫, “小中学生を対象とした教育システム向け Rail-to-Rail オペアンプ”, 電気学会電子回路研究会, ECT-20-078, pp.19-24, Dec. 2020.
- [5] 清水暁生, 吉富貴司, 野口卓朗, 石川洋平, 深井澄夫, “小中学生を対象としたアナログLSI設計講座”, 2021年度電気学会電子・情報・システム部門大会, TC5-4, pp. 160 - 165, Sep. 2021.
- [6] 山内日那, 野口卓朗, 清水暁生, 石川洋平, 吉富貴司, 深井澄夫, “初学者向けアナログLSI測定教育システムの開発”, 2021年度電子情報通信学会九州支部学生会講演会・講演論文集, C-14, Sep. 2021.
- [7] 坂口真那斗, 清水暁生, 野口卓朗, 石川洋平, 吉富貴司, 深井澄夫, “小中学生を対象としたアナログLSI設計環境の改善”, 2021年度電子情報通信学会九州支部学生会講演会・講演論文集, D-10, Sep. 2021.
- [8] 木村倫華, 野口卓朗, 石川洋平, 深井澄夫, 清水暁生, “アナログLSI設計教育のためのADCの検討”, 令和3年度(第12回)電気学会九州支部高専研究講演会, pp. 31-32, 2022.

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計0件

〔学会発表〕 計8件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 1件）

1. 発表者名 木村倫華, 野口卓朗, 石川洋平, 深井澄夫, 清水暁生
2. 発表標題 アナログ LSI設計教育のための ADCの検討
3. 学会等名 令和3年度（第12回）電気学会九州支部高専研究講演会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 坂口真那斗, 清水暁生, 野口卓朗, 石川洋平, 吉富貴司, 深井澄夫
2. 発表標題 小中学生を対象としたアナログLSI 設計環境の改善
3. 学会等名 2021年度電子情報通信学会九州支部学生会講演会・講演論文集
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 山内日那, 野口卓朗, 清水暁生, 石川洋平, 吉富貴司, 深井澄夫
2. 発表標題 初学者向けアナログLSI 測定教育システムの開発
3. 学会等名 2021年度電子情報通信学会九州支部学生会講演会・講演論文集
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 清水暁生, 吉富貴司, 野口卓朗, 石川洋平, 深井澄夫
2. 発表標題 小中学生を対象としたアナログLSI設計講座
3. 学会等名 2021年度電気学会電子・情報・システム部門大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 梅崎千晴, 清水暁生, 吉富貴司, 野口卓朗, 石川洋平, 深井澄夫
2. 発表標題 小中学生を対象とした教育システム向けRail-to-Railオペアンプ
3. 学会等名 電気学会電子回路研究会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Chiharu Umezaki, Takashi Yoshitomi, Yohei Ishikawa, Akio Shimizu, Takuro Noguchi, Sumio Fukai
2. 発表標題 Headphone Amplifier and its Layout for Education for High School Student.
3. 学会等名 IEEE International Symposium on Circuits and Systems (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 清水暁生, 梅崎千晴, 馬場智, 吉富貴司, 野口卓朗, 石川洋平, 深井澄夫
2. 発表標題 小中学生を対象としたオーディオアンプ製作教室
3. 学会等名 電気学会電子回路研究会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 清水暁生, 吉富貴司, 野口卓朗, 石川洋平, 深井澄夫
2. 発表標題 IC設計初学者向けの演算増幅器設計教育に関する一考察
3. 学会等名 電気学会電子回路研究会
4. 発表年 2018年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究分担者	石川 洋平 (Ishikawa Yohei) (50435476)	有明工業高等専門学校・創造工学科・准教授 (57102)	
研究分担者	深井 澄夫 (Fukai Sumio) (30189906)	佐賀大学・理工学部・客員研究員 (17201)	
研究分担者	淡野 公一 (Tanno Koichi) (50260740)	宮崎大学・工学部・教授 (17601)	
研究分担者	中武 繁寿 (Nakatake Shigetoshi) (10282831)	北九州市立大学・国際環境工学部・教授 (27101)	

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------