

基本的な集積回路設計および 半導体プロセス教育システムの構築

静岡県立科学技術高等学校 教諭 安田倫己

事業の概要と成果

半導体集積回路(I C)技術は、電子制御技術から、システム設計、回路設計、デバイス設計、半導体プロセス工学までを統合した知識と技術を必要とするため、従来、主に大学がその教育を担って来た。しかし、これらの技術に熟達するには長い時間を要することを考えると、できるだけ早い時期から教育を実施することが望ましい。一方、高校では、I C設計や半導体プロセス(製作)工学の実習が、施設・設備面の制約から実施されておらず、ロボット等のI C利用技術の教育に偏している。この教育的偏向は、広い視野を持った半導体技術者を育成する上で問題である。そこで、高大連携によるI C設計・製作導入の実習カリキュラムを構築し、実践した。これにより、I Cの設計・製作からI C活用の電子制御技術教育までの実習カリキュラムがつながることになり、I C技術者の効果的導入教育に資することを期待した。

まず、高校生が有する半導体知識のバックグラウンドを調査した。その結果、I C設計・製作体験に必要な基本的知識は、普通教科・理科や専門高校の専門教科で、すでに教えられていることがわかった。そこで、本研究では、最も簡単な論理回路であるインバータ(NOT、出力反転)回路を題材に、I C設計・製作体験実習カリキュラムを構築し、実践し、導入教育の可能性を検討することとした。

平成22年4月、I C設計用のソフトウェアの開発を行った。事業会社や大学などでは、高価なI C設計専用ソフトウェアが導入されているが、これを高校に導入することは難しい。そこで、高校生にも馴染みの深い汎用表計算ソフト「エクセル」を用いた簡易I C設計ソフトウェア(図1)を開発し、これを用いた。あわせて、専門高校2年生を対象に、I C設計実習説明用プレゼンテーション、製作模範例、テキスト教材などを作成した。

平成22年5月から7月にかけて、実際のI C製作実習を、本校情報システム科2年生を対象に実施した(図2)。13人ずつ、3グループに分け、1グループあたり3時間×2回の時間配分で、インバータ回路の設計を行った(図1)。設計の基本ルールを守りながらも、各自の考えを反映したI C製作用GDSデータ40名分を配置(図3)した後、40名分をまとめて、北九州共同研究開発センターのpMOSおよびCMOSFETプロセス施設に転送し、I C製作を依頼した。

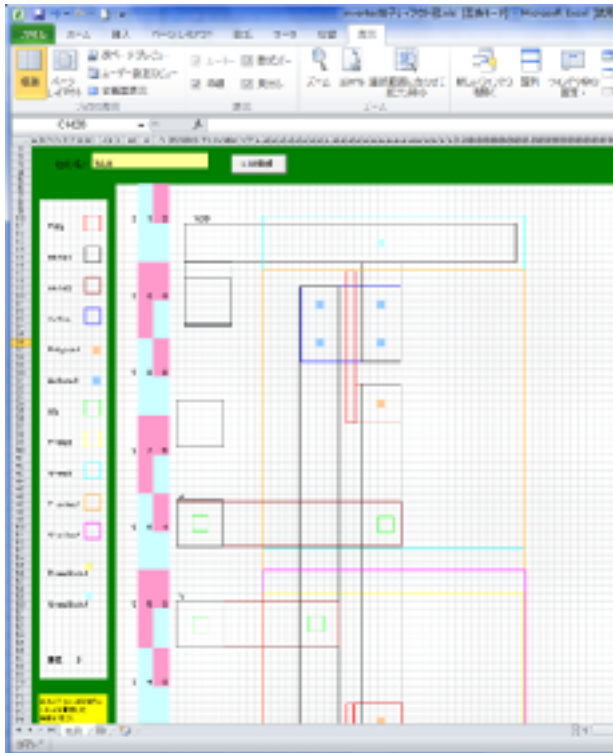


図1 IC設計ソフトウェアとインバータ回路の設計例



図2 インバータIC設計実習の様子

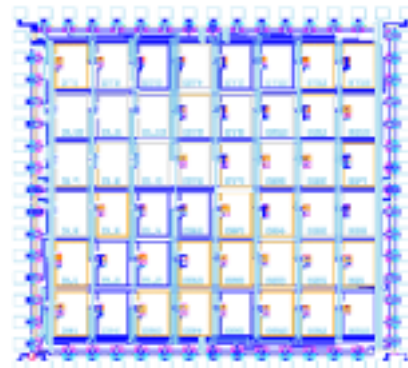


図3 ダイスへの生徒データ配置

マイIC（各自違った設計によるIC）が、夏休み中の製造工程を終了し、9月に納品された（図4）。むき出しのICチップと樹脂封入されたものが届いた。これらを使って、インバータ回路の性能評価実習を行った。マイICは、配線の幅、長さ、配置などが生徒によってまちまちに設計されているため、インバータ回路の伝達特性の計測実習（図5、6）を行なって動作を確認したところ、それぞれに違った特性を示した。生徒同士が、各特性を比較しあったり、光学顕微鏡（図7）や電子顕微鏡（図8、9）で観察することで、集積回路の理解が深まった。また、知的財産権の回路配置利用権の理解にも役立った。



図4 マイIC



図5 伝達特性の計測実習

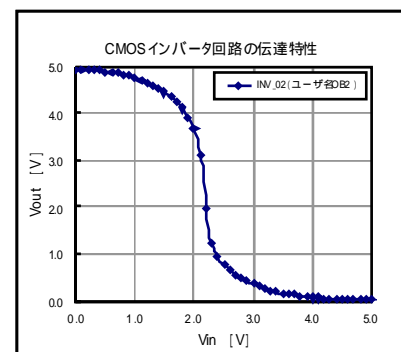


図6 インバータ特性

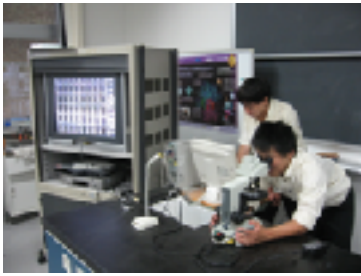


図7 ICチップ光学顕微鏡
観察

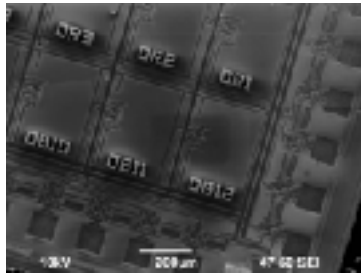


図8 ICチップ電子顕微鏡
写真

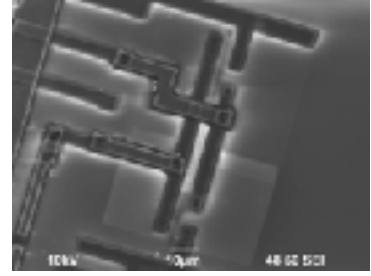


図9 インバータ回路
電子顕微鏡写真

平成22年11月から12月にかけて、インバータ回路の設計・製作を体験した生徒の中から、希望者4人を選び、放課後を利用して、インバータ回路の発展的回路であるNAND回路の設計を行った(図10)。NAND回路は、AND回路(2信号が入力された時にのみ出力信号を出す回路)とインバータ回路の組み合わせで表現されるので、それぞれの回路を別々に設計し、それを組み合わせることで実現した。この設計データを北九州共同研究開発センタープロセス施設に転送し、実際のIC製作実習に用いた。

平成23年1月6、7日、北九州共同研究開発センタープロセス施設で、生徒の代表4名が実際にIC製造を行なった(図11、12、13)。一ヶ月近くにおよぶIC製造工程全体をすべて体験することは難しいので、最終工程にあたる外部との接続用リード線をアルミ配線する作業とそのアルミ配線をシリコンチップと接合するための焼成作業を行った。そして、黒色の樹脂で、封入する前のICチップを用いて、性能評価試験を行った(図14)。

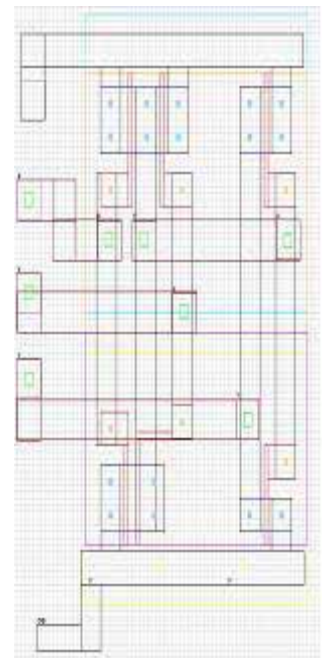


図10 NAND回路



図11 IC製作実習の様子(1)



図12 IC製作実習の様子(2)



図13 IC製作実習の様子（3）

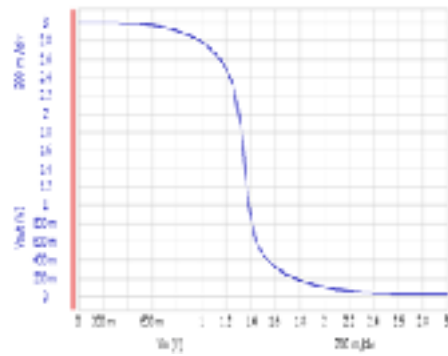


図14 IC特性試験結果

平成23年2月、IC製造体験学習の報告会を実施し、情報の共有を図るとともに、本実習内容等について、アンケート調査を実施した。集積回路のレイアウトについての興味関心をたずねたところ、5段階評価で、ほぼ3.2とおおむね良好な評価を得た（図15、16）。背景知識として、半導体構造についての知識を補習して臨んだグループのほうが、よりLSI設計に興味と関心を醸成することができた。

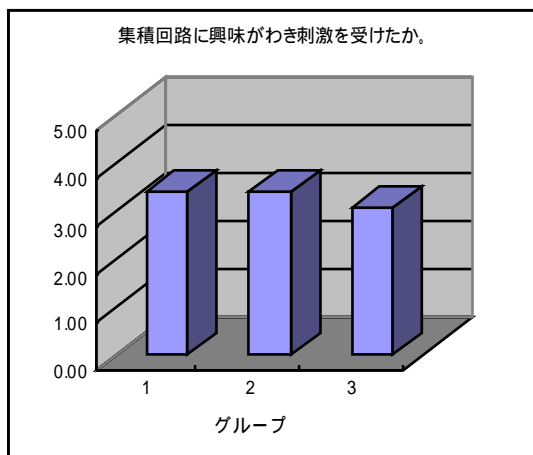


図15 アンケート結果（1）

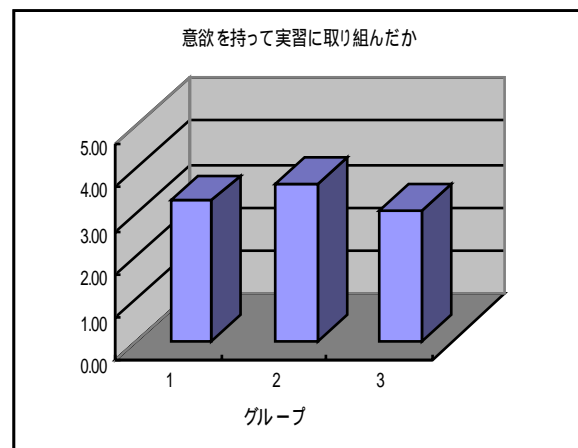


図16 アンケート結果（2）

生徒は、ICまたはLSI技術は、複雑で難しいものとの先入観をもち、半導体やトランジスタ程度の知識しか持ち合わせていないのが現状である。今回、簡単な論理回路のレイアウト設計を汎用アプリケーション「エクセル」で実現できたことで、集積回路のレイアウト設計が馴染みやすいものとなった。アンケート調査によれば、トランジスタの基礎知識をより多く獲得してから、さらには、トランジスタ素子の立体構造のイメージを得た後、レイアウト設計を行うとより効果的であることがわかった。また、論理回路の動作原理とそのレイアウト図との対比やIC設計特有の専門用語に対する不慣れを訴える生徒が多かったなど、解決すべき課題も残った。しかし、今回の実習は、今まで、単にICを使うだけだった多くの生徒に、LSIの内部に関する興味関心を抱かせ、学習への意欲を刺激した。

今回の実践を通して、IC技術者の効果的導入教育が高校段階からも可能であるこ

とが分かった。また、知的財産 - その他 - 半導体集積回路の回路配置に関する法律（回路配置利用権）への関心喚起にもつながった。

なお、本研究の内容の一部を電気学会フロンティア教育研究会（2010年9月電気学会本部市ヶ谷）「Excelを用いた、高校における集積回路のレイアウト設計教育」として発表した。

最後に、実習後アンケート調査に協力くださった生徒諸君、研究の場を提供してくださった財団法人静岡総合研究機構に感謝します。