

台湾積体電路製造 (TSMC) における発展の謎を探る —工業技術研究院のスピンオフから世界最大のファウンドリー企業— (前編)

朝元 照雄 (九州産業大学経済学部 教授)

はじめに

1987年に台湾積体電路製造 (Taiwan Semiconductor Manufacturing Company、以下、TSMC) は、新竹科学工業園区に設立された世界初のファウンドリー専門企業である。「ファウンドリー」とは、自社ブランドを持たず、他社からウェハー加工による半導体の製造委託を受けるビジネスである。TSMCの運営方式は、ウェハー加工によるロジックICのASIC (特殊用途別集積回路) およびSoC (System on a chip、システムLSIとも呼ばれている) を作る専門企業であると位置付けていた。独創的に、新たな半導体ビジネスモデルを開拓したのである。

かつて、ファブレス企業 (製造部門を持たないで、半導体の設計のみを専門に行う企業) は、IDM (Integrated Device Manufacturer、垂直統合型) 企業に半導体の製造を委託していた。ファブレス企業がIDM企業に半導体製造を委託した場合、IDM企業は自社製品を製造していたため、製品の設計機密がこの企業に流出する可能性がある。また、IDM企業は本業の自社製品の製造を優先に行っているために、余裕がある時に製造委託を受けることである。当時、ファウンドリー製造は“ニッチビジネス”と見なされていたが、TSMCの誕生によってファブレス企業とファウンドリー企業が緊密に連携を行なうようになり、新たな独創的なビジネスの協力形態を造り上げたのである。

本論は次の過程によって展開する。まず第I節は、TSMCの実力を考察する。続く第II節は工業技術研究院 (ITRI) のスピンオフを説明する。第III節はTSMCの誕生のプロセスを説明する。最後の節は本論のまとめとする。

I. TSMCの実力

TSMCは世界最大規模のファウンドリー企業であり、安定した設備投資で同業他社を超えて、業界のリーダーに躍進している。2012年の売上高は5062億5000万台湾元 (171億2000万米ドル) に達し、税後の純利潤は1661億6000万台湾元 (56億2000万ドル) に達する。世界では3万7000人を超える従業員を擁している。顧客のニーズに満足な対応をするために、TSMCは台湾、北米、欧州、日本、中国、韓国およびインドなどで顧客サービスのために事務所を設けて、顧客に最も良いサービスを提供している。

現在、TSMCは最も先端の12インチウェハー工場3つ、8インチウェハー工場4つおよび6インチウェハー工場1つを擁し、企業本部、ウェハー第2工場、第3工場、第5工場、第7工場および第12工場などを新竹科学工業園区に設け、ウェハー第6工場および第14工場を南部科学工業園区 (台南) に設けている。そのほかに、アメリカの子会社WaferTech、中国上海に台湾積体電路 (中国) 有限公司およびシンガポールに共同出資のSSMCを設けている¹。TSMCは台湾証券取引所に証券 (TSMCの証券コードナンバーは2330) を上場し、「TSM」の証券記号でアメリカのニューヨーク証券取引所でも上場している。

1987年にTSMCが設立されてから次第にハイテク産業の主役に躍進し、注目されるようになった。董事長 (会長)・CEO (最高経営責任者) の張忠謀 (モーリス・チャン) の指導および経営チームの優れた管理の下で、TSMCは急速に展開し、工業技術研究院 (ITRI) からスピンオフした成功のビジネスモデルとして語られるようになった²。

TSMCは先行者(First Mover)優位によって、世界最初で最大のファウンドリー企業に成長し、業界をリードしている。現在、企業間競争がますます激化し、十分な資金による設備投資および先端技術を擁することが不可欠な条件になり、それがこの業界の勝敗を分けることになる。ライバル他社の参入によって、短期的にはTSMCの運営に影響を及ぼすが、長期的に見ると、資金や技術は他のライバルに優れ、依然として競争力の優勢を保っていることである。

張忠謀会長は「バーチャル・ウェハー工場」という新しい概念をいち早く提出した。つまり、ファウンドリー企業は顧客にフルセットのサービスを提供し、TSMCの工場はまるで顧客(ファブレス企業および一部のIDM企業)の自分の工場のように、製品の製造過程の進み具合を顧客にチェックできる体制を構築したことである。TSMCは戦略同盟の締結や投資協力の方式を通じて、全方位のバーチャル工場概念を造り、同時に顧客からの受注リスクの分散を図ることである。バーチャル工場のモデルによって、顧客はTSMCのホームページで検索すると、製造委託の製品の作業の進み具合を確認することができる。顧客にとってバーチャル工場はまるで自分の工場のようにあり、顧客にとっては大変有難い存在である。

TSMCは業界で最も先端なIC製造技術および最も完備されたデータバンク(Library)、知的所有権(IP)、設計ツール(Design Tools)および設計の流れ(Reference Flow)を擁し、世界の顧客から半導体の製造を受託している。2012年のTSMCの生産能力は8インチウェハー(換算)1,404万枚に相当する。それは先進製造技術(65nmウェハー以下)の売上額はTSMCの全ウェハー売上額の62%を占めている。TSMCは多くの競争者の挑戦を受けたが、持続的に優れたパフォーマンスを挙げることができ、ファウンドリービジネス領域で先導者の地位を保持し、2010~2012年の世界シェアは45%

で、トップの座を占めている。

最新の製造技術を擁し、それによってTSMCは業界のリーダー役を維持することができた。顧客との密接的な協力関係を持ち、TSMCは業界で先駆けて65nm(ナノミクロン)および40nmウェハーの製造技術を開発した。2012年以降、28nmウェハーの製造技術の基礎のもとで、TSMCはさらに先進的な20nm SoC(システムオンチップ=システムLSI)および3D Fin FETフレームワークの16nm製造技術の開発を行っている。2012年11月に20nm SoCウェハーの製造技術の試作を行っていて、2014年に量産化の予定である。そのほかに、20nmウェハー製造技術も試作段階に移行している。

さらに、2012年に16nm Fin FTF製造の定義を完成して開発に入り、チップの設計が決まり、Fin FETフレームワークを基礎とするSRAM Bit Cellで性能の確認を行っている。両者のリード線の密度が似ているために、20nm SoCの開発が終わると、直ちに16nm Fin FETのプロトタイプの試作に入り、更に速いスピードで量産化に移行することである。同時に、多重感光現象機台の10nmの製造技術の準備作業もスタートし、イノベーション技術の開発によって次世代へ挑戦することである。TSMCは前工程のウェハーの製造から後工程の封止(パッキング)および検査にいたるまで、トータル・ソリューションのサービスを行っている。TSMCの封止技術は先進的なリード線、高密度誘電層シリコン穴あき(TSV)チップ積み重ね技術および先進的ウェハーチップの寸法封止(WLCSP)技術を擁し、顧客に設計のツール、技術および量産化を十分にサポートすることができる。

TSMCは設計レファレンス5.0バージョン(Reference Flow 5.0)のトータル・ソリューションを顧客に提供し、顧客が先進的な製品設計時に直面する課題を有効的に解決した。TSMCは顧客に完璧な知的所有権およびデータバンクを提供

し、顧客の製品設計のコスト低減に協力し、製品設計の成功率を向上させ、製品の販売期間（time to market）の加速に協力している。

TSMCは0.18 μm 、0.15 μm 、0.13 μm からナノミクロン時代の90nm、65nm、45nm、28nmのCMOSロジックIC（相補型金属酸化膜半導体）の製造技術、65nm浸透式製造技術、90nm混合信号（Mixed-Signal）および周波数製造技術（Radio Frequency）、フラッシュメモリー（Flash Memory）、0.13 μm 高密度嵌め込み式メモリー製造技術、Bi CMOSとSiGe CMOS ICの製造技術、0.18 μm 高圧製造技術および1.0 μm 80ボルト高圧製造技術などの先進技術およびサービスを提供している。先進技術のほかに、R&Dの成果および顧客サービスの堅持によって、優れたパフォーマンスを構築することができた。

II. 工業技術研究院からのスピノフ

TSMCはITRIからスピノフして設立したものである。したがって、ITRIがIC技術の習得経過を吟味する必要がある。次ではITRIによるICの技術導入のプロセスを論じることにする。

（1）RCAからの技術導入

韓国科学技術研究院は、海外で活躍していた韓国人研究者・技術者を高給料で招聘し、韓国の電子、化学および紡績技術の発展を積極的に推進した。1969年、当時の孫運璿・経済部長（経済相）が韓国を訪問した時、この状況を見て、大きな衝撃を受けた。何かの対策を講じないと、そのままでは台湾は韓国の産業発展に負けると孫経済相は危機感を感じた。孫経済相は帰国後、韓国科学技術研究院に類似した研究機構を設けるよう、海外の専門家の意見を聞いたあと、1972年に「工業技術研究院設置条例草案」を立法院（国会）に送り、承認が得られた。

台湾政府から100万台湾元を創設基金として出資を受け、経済部（経済省）所属の聯合工業研究

所、聯合鋳業研究所、金属工業研究所を合併して工業技術研究院（ITRI）が設立した。ITRIは財団法人制を採用し、この3つの研究所の資産7億台湾元余りをITRIに寄付することにした。立法院の厳しい審議を通過し、1973年7月5日にITRIが設置されるようになった³。

1974年初めに、当時の蔣經國・行政院長（首相）は国家プロジェクトの「十大建設」の後続計画としてハイテク産業を発展させることが必要であると提言した。そして、蔣氏は費驊行政院秘書長（官房長官）に、次はどのようなハイテク産業の導入が必要なのかを検討するように指示した。1974年2月7日の朝、台北市内の小欣欣豆乳店で朝食会議が開催され、費驊、孫運璿・経済相、方賢齊・電信総局長、潘文淵・アメリカRCA社の集積回路R&D統括長のほか、高玉樹・交通相、王兆振・TSMC院長、康寶煌・電信研究所長の7名が参加した。会議の中で、潘文淵氏は台湾の電子産業の発展を促すには、IC（集積回路）産業の導入は不可欠であり、アメリカから技術を導入すると発展の期間を短縮できると主張した。会議参加者は潘氏の提言に同意し、この朝食会議によって台湾の半導体産業の発展の方向性を決定することになった。

半導体技術の導入に合わせて、経済部（経済省）は「電子工業第1期発展計画」を通過させ、1974年9月にITRIは「電子工業研究発展センター」（以下、電子センター）を設置した。この第1期計画は4年間で4億8900万台湾元の経費で、「集積回路のパイロットプラント（モデル工場）」を設置した。この計画の目的は、パイロットプラントの設置と海外企業から技術の導入である⁴。

潘文淵氏はベール研究室、IBMと大学で研究に従事している華人系専門家を集めて、在米電子技術顧問委員会（Technical Advisory Committee、以下、TAC）を組織し、台湾での半導体産業の発展に協力を要請した。潘氏によるとTACの主要な任務は、技術協力の計画案をTSMCに提供することである。

電子センターと TAC のメンバーとの検討によって、ロジック IC の技術範疇に属する CMOS IC (相補型金属酸化膜半導体) の技術を導入したほうが良いと判断された。それは CMOS IC の市場の応用範囲が大きく、将来の成長潜在力は他の IC 製品よりも大きい。それに、民生用消費市場における半導体産業の発展に適応していると考えられたからである。また、1970 年代における CMOS IC が持続的に発展しており、台湾がこの技術を導入すると、先進国の半導体技術に追いつくと考えられた。技術の導入・吸収および将来の発展性を考慮した後、数多くの原料による半導体から CMOS IC と NMOS IC の技術を導入のターゲットにした。

TAC のメンバーはアメリカのいくつかの半導体工場を視察し、会議を重ねた後、ITRI に 14 社の半導体企業リストを提出し、これらの企業に技術提携計画書を提出するように要求した。そのうち、半導体企業 7 社から技術提携計画書が提出された。

半導体技術の供与別規格、技術提携の熱意と経費予算を総合的に考慮し、TAC から提出された技術提携の優先的な条件は次のようなものである⁵。

- ①電子センターが導入する半導体技術は、台湾における IC の研究能力の向上に適すること。提携する半導体の技術種類は、IC のパイロットプラントの製造に適していること。
- ②提携先企業は合法的に製造技術のノウハウ・特許を提供し、IC 計画の成功を保証すること。
- ③技術提携先企業の誠意を重視し、既に台湾での投資実績がある企業を優先すること。
- ④技術提携の費用は予算以内に収まること。

そのうち、GI (ゼネラル・インストルメンツ)、ヒューズ・エアクラフト (Hughes Aircraft) と RCA の 3 社に絞り込んだ。特に、CMOS 型 IC の技術が成熟しており、所員の實習が提供され、パイロットプラントで製造された IC の購入承諾の RCA を最終的に技術提携先パートナーとして選ぶことになった。

1976 年 3 月、電子センターは RCA と「集積回

路の技術移転授權契約書」を締結した。その契約書の主な内容は次のようなものである⁶。

- ① RCA 社は CMOS IC、NMOS IC および Bipolar IC の製造技術を提供すること。それは設計、ウェハの製造、封止および検査の技術が含まれ、ある程度のウェハの歩留り率 (良品率) が保証されることである。
- ② RCA は台湾側のパイロットプラントの建設に協力すること。それはパイロットプラントの設計、製造設備のリストおよび配置図を提供すること。
- ③ RCA は台湾側に工場管理、生産工程、製造技術および保守などの人員の研修を提供すること。
- ④ RCA は台湾側に技術移転 (管理制度を含む) に必要とするすべてのドキュメント資料と技術資料を提供すること。そのうちに、製造項目であるフォトマスクの仕様、製造手順および品質管理を含むこと。
- ⑤ RCA が提供された資料に基づいて、台湾側はその特許を使い、IC の製造が認められること。
- ⑥ 技術協力は 5 年間とし、5 年間以内に双方が得た新しい技術を互いに提供すること。満期後は状況を見て、期間の延長または契約の修正ができること⁷。

契約書の中で、RCA は台湾側に IC の設計、製造、検査および設備関連の 4 チームに合計 330 人・回の實習の機会を提供した。フォトマスクの製造技術を除いて、台湾側は RCA における MSI 技術水準の $7\ \mu\text{m}$ (= ミクロン) の CMOS 型 IC 技術、NMOS 型 IC 技術および Bipolar 製造技術を導入し、それに製造工程、工業の業務、会計および製造作業の技術移転が含まれていた。RCA 社の原価計算 (standard cost) およびマーケティング (cycle time management) は企業秘密のために、この技術移転の契約書から除かれていた⁸。實習と技術移転の過程において、アメリカの半導体産業の技術と経営思想を学ぶことができた。当時、重視された製造技術のほか、R&D (研究開発) の設計思想も学び、台湾における半導体産業の基礎を築くことができた。

半導体の回路パターンをシリコン・ウェハーに転写するために必要なのはフォトマスクである。当初、電子センターと RCA の契約書の中では、設計と製造技術に重心を置き、開発初期における設計能力が未熟のため、フォトマスク製造の活動を行う余裕がなく、契約書ではフォトマスクの製造技術の移転は含まれていなかった。しかし、パイロットプラント計画の実施過程において IC 製造にはフォトマスクの製造工程が必要になる。そのために、1977 年にアメリカの IMR (International Material Research Inc.) 社とフォトマスクの複製技術の移転契約書を締結した⁹。

RCA から移転した半導体技術と経営知識によって、1977 年 10 月に電子センターは台湾初 3 インチのウェハーのパイロットプラントを設立した。翌年 1 月には時計用 IC と標準ロジック IC の試作に成功した。後には「TA10039 型」電子時計用 IC の歩留り率 (良品率) は 88% に達し、技術提携先の RCA の歩留り率を超え、アメリカの平均工場歩留り率の 83% も超えるようになった¹⁰。

これは技術導入の成功を意味するものである。パイロットプラントの設置の目的は、台湾で IC 製造の大量生産化、商業化の可能性を検証することである。電子センターのパイロットプラントの歩留り率は高いが、開発初期には実績がないために台湾の電子時計メーカーからは信頼されず、注文がこなかった。最初の注文書はパイロットプラント工場長の史欽泰氏の人脈によって、友人の香港の電子時計企業からの受注であった。その後、優れた製造能力によって、パイロットプラントは数多くの注文を得ることができた。

設計と製造の優勢のもとで、パイロットプラントは計時用、電話用、音楽用 (クリスマスカードなどを開くとミュージックが鳴る)、玩具用 (動物縫いぐるみの鳴き声) などの消費性電子 IC を提供し、電子産業の部品を積極的に支援して、付加価値の向上および輸出の拡大に大きな役割を果た

すようになった。そのうち、台湾の電子時計企業に時計用 IC の入手期間の短縮とコストの低下をもたらしたことである。それによって競争力が向上し、台湾は世界トップ 3 の電子時計輸出国に躍進するようになった。

(2) 聯華電子のスピンオフ

電子センターの売上額が増え、1979 年 4 月、「電子工業研究所」(以下、電子所) に昇格した。この時期に電子所はパイロットプラントの IC 受注量が増加し、所員は受注、製造、出荷の業務に翻弄され、半導体技術の R&D 活動にマンパワーを出すことができなかった。それに、ITRI は非営利目的の財団法人であり、設立の方針からいけば営利的な活動に従事するには適していないことである。ITRI の最も重要な任務は、半導体技術を民間企業に拡散することであり、それによって、台湾の産業の高度化を促進することである。以上の理由に基づいて、電子所は半導体技術を民間企業に移転することが決まった。

半導体技術の民間企業への移転について、經濟部 (経済省)、ITRI と民間電子業界の関係者との議論を通じて、技術移転の 3 つの方式が提起された。① レンタルによる技術移転方式、② 技術費代金支払いによる技術移転方式、③ 企業組織の設置による技術移転方式の 3 つの方式が考えられたのである。繰り返し会議を重ねた結果、最終的に企業組織の設置による技術移転方式を採用することになった。

新たに民間企業を組織するにはいくつかの課題が提起された。1 つは法律上の規定によると、国有財産を民間企業に移転することはできず、政府出資のパイロットプラントは直接的には民間企業への移行が認められないことである。1 つは、IC 技術の進歩が速いために、パイロットプラントが持つ半導体技術を台湾の民間企業は素早く吸収しないと、政府によってせつかく投資した莫大な資金が浪費になると考えられた。それに、台湾では

早く半導体企業を設立しないために、電子所で育成した人材が外資企業にヘッドハントされた場合、台湾の民間企業の発展に不利益をもたらすことになると考えられていた¹¹。

確かに、1970年代後半に電子所はCMOS型ICの技術を確立したが、当時の台湾企業にとって半導体技術は未知の領域である。それに、半導体の製造に投資するには莫大な資金が必要になる。利潤を得られるか否かなど、不確実性が存在しているために、民間企業は半導体製造への投資に躊躇していた。

台湾の民間企業による半導体産業への投資が行われていない状況を見て、政府は主導的に民間企業を組織する必要があると感じていた。そのために、1979年9月に電子所は聯華電子の設置準備室を設け、經濟部（経済省）工業局は声宝、大同、東元、裕隆など大企業にこの新設企業に投資するように要請した。しかし、これらの民間企業の投資意欲は高くなく、投資に参加した企業の持株比率も低い。孫運璿・経済相の尽力によって、公営銀行および党営事業に投資させ、民間企業への再三の説得によって、創業資本金5億台湾元を集めることができた。事実のところ、聯華電子における政府（党営企業を含む）の実質的持株比率は70%に達したが、政府は光華投資、中華開発および創新技術移転公司からの出資は民間企業の資本と認定した。この認定方式によって、民間資本の持株比率が55%に達し、法律上では民営企業の場合、民間資本は51%以上であることの規定をクリアしたことになった¹²。

パイロットプラントの設置を終えた後、電子所の「電子工業研究発展第2期計画」（1979年7月～1983年6月）の目標の1つは、聯華電子の設立に協力することである。1979年12月に、ITRIは聯華電子と3年間の技術協力計画を締結し、既存の技術、人材および進行中の研究計画の成果を聯華電子に移転することにした。それに加えて、聯華電子に全面的に協力し、工場配置の企画と建設、

購入する機械設備の規格の選択、製造機械の設置と試運転、人員の研修などを行った。

注目すべき点は、聯華電子の工場は電子所の協力によって構築した4インチのウェハー工場であり、電子所から移転した工場ではない。それは電子所が製造能力をキープし、製品の開発能力を維持することである。この時期になると、電子所のIC製造設備は世界の主流に遅れていたために、パイロットプラントの設備をそのまま聯華電子に移転しても、聯華電子の競争力には寄与しないことである¹³。そのほかに、電子所はRCAから得られた技術・特許をそのまま聯華電子に移転することはできないが、自らの設計によって開発された電子時計用IC、音楽用ICなどの技術を聯華電子に移転することができた。聯華電子の設立初期は電子所によって築かれた基礎を使って、ICの製品化に成功したことになる。

1980年5月に電子所初のスピノフ企業の聯華電子(UMC)が設立された。この時期は主に電子時計用IC、音楽用ICおよび通信用ICを製造した。1983年にアメリカ政府によるアメリカ国内の電話市場の自由化による電話用ICの需要の増加を予測し、聯華電子は量産化の準備を行い、自由化の開放初期に75%の市場シェアを占めるようになって、同年12月には収支バランスを黒字化することができた¹⁴。

聯華電子の急速な発展によって、1985年の売上額は12億8900万台湾元に達し、台湾における民間企業の売上額ランキングの第183位に躍進した。そして、聯華電子の年間利潤額は2億1700万台湾元に達し、台湾における民間企業の利潤率ランキングのトップを記録するようになった¹⁵。

聯華電子の成功例から、ITRIによってスピノフされた企業は国内外において競争力を持ち、台湾における半導体産業の発展の可能性を証明したことになる。石油危機以降、労働集約型産業から技術集約型産業へのレベルアップを図りたい

台湾政府にとって、スピノフの成功は台湾産業の高度化を牽引するリーリングセクターを育成したことになる。半導体産業の育成によって、パソコン、音響関係の電子消費性製品の競争力を強化することができた。それに、半導体産業の育成によって独自の国防産業を求めたい台湾にとっても、必要不可欠であると考えられた¹⁶。

電子所の「電子工業研究発展第2期計画」は前記の聯華電子の設立への協力のほかに、ICの設計と検査の開発、CAD（コンピューターによる設計補助）の能力の構築、フォトマスクの製造能力の育成、ハイレベル製造技術の開発、人材の育成などが含まれていた¹⁷。

ICの設計について、電子所の第2期計画で開発した設計技術を太欣半導体と合徳積体回路の2社に移転した¹⁸。1982年に太欣半導体が設立されたが、この企業は電子所回路設計部の経理（部長）の王国肇氏と同僚が組織したものであり、電子所の協力によって台湾初のIC設計企業になった。

1983年に合徳積体回路も太欣半導体のように、電子所の所員と技術によってIC設計企業として設置されるようになった。

フォトマスクについて、1980年に電子所はアメリカ・Electromark社と契約を結び、フォトマスクの製造設備を購入し、製造技術の移転が行われた。1年間の準備を経て、電子所はフォトマスクの複製からフォトマスクの製造技術にレベルアップし、国内の業者にフォトマスクを製造させることができた。自らフォトマスクの技術を掌中に入れたことは、外国のフォトマスク企業から高い価格で委託製造の必要がなくなり、国産化によって2週間ぐらいのスケジュールの短縮もできた¹⁹。そのことは産業の競争力向上の強化に大きく寄与することである。また、フォトマスクのR & Dが進んだ結果、1979年の7 μm （ミクロン）から1983年の3.5 μm に技術が向上することになった。

（次号に続く）

¹ 台湾積体回路製造『2012年台湾積体回路製造年報』2013年。

² 張忠謀『張忠謀自傳（上冊）1931～1964』天下遠見出版、2001年；楊艾俐『IC教父 張忠謀の策略傳奇：1年賺兩百億的人』天下雜誌、1998年。

³ 朝元照雄『台湾の経済発展：キャッチアップ型ハイテク産業の形成過程』勁草書房、2011年、第1章と第3章を参照せよ。

⁴ 工業技術研究院電子工業研究發展中心『「設置積体回路示範工廠計劃」執行終了報告』工業技術研究院電子工業研究發展中心、1979年；Tsai, Terence, and Bor-Shiuan Cheng, *The Silicon Dragon: High-Tech Industry in Taiwan*, Edward Elgar, 2006.

⁵ 蘇立瑩『也有風雨也有晴：電子所20年的軌跡』工業技術研究院電子研究所、1994年、14ページ、29ページ。

⁶ 陳明訓『台灣半導體產業的發展：國民經濟的觀點』暨南國際大學公共行政與政策學系碩士論文、2005年。

⁷ 吳思華・陳宗文「一個新興產業的知識建構：台灣半導體產業創世記、1975～1980」吳思華編『知識資本在台灣』（台灣產業研究4）遠流出版、台北、2001年。

⁸ 工業技術研究院電子工業研究所『電子工業第2期計劃執行終了報告』工業技術研究院電子工業研究所、1983年、35ページ。

⁹ 工業技術研究院電子工業研究發展中心、前掲書、1979年、47ページ。

¹⁰ 洪懿妍『創新引擎－工研院：台灣產業成功的推手』天下雜誌、2003年、55ページ；佐藤幸人『台灣ハイテク産業の生成と發展』岩波書店、2007年。

¹¹ 吳思華・沈榮欽「台灣積體回路產業的形成和發展」吳思華編『管理資本在台灣』（台灣產業研究1）遠流出版、台北、1999年、86～87ページ。

¹² 蘇立瑩、前掲書、1994年、63ページ。鍾杰輝「産業結構分析之分析：以台灣IC製造業為例」政治大學企業管理學系修士論文、1995年。

¹³ 齊若蘭「聯華的崛起」『天下雜誌』第32期、1984年、44～45ページ。

¹⁴ 吳思華・沈榮欽、前掲論文、1999年、89ページ。

¹⁵ 吳迎春「開闢一條新絲路－積體電路的引進」『天下雜誌』第16期、1982年、36～38ページ。

¹⁶ 林錫銘「開發中國家新興產業發展過程之研究－我國IC工業實例探討」台灣大學商學研究所碩士論文、1986年、31ページ。

¹⁷ 陳修賢「科學園區的新星：太欣、豐業、昂特三部曲」『天下雜誌』第72期、1987年、107ページ。

¹⁸ 楊丁元・陳慧玲『業競天擇：高科技產業生態』工商時報、1996年、174ページ。

¹⁹ Meaney, Constance Squires, "State Policy and the development of Taiwan's Semiconductor Industry," Joel D. Aberbach, D. Dollar, K. L. Sokoloff, (eds.), *The Role of the State in Taiwan's Development*, New York, M. E. Sharpe, 1994, p.180.