

世界最小クラスの

IC タグチップ「ミューチップ」発明の背景

株式会社 日立製作所中央研究所 主管研究長 宇佐美光雄



1. はじめに

無線技術を用いて高速に識別する技術はレーダ技術を進展させて、1970年代からデータキャリアという名称で主として家畜の認識などにヨーロッパで使われ始めたのがその端緒です。日本では1980年ごろからスキー場のリフト券の電子化が進められ、非接触認識の有用性が認められてきました。一方、非接触認識技術の大きなマーケットとして電子乗車券は同じくそのころから研究されていましたが、半導体技術や無線技術がなかなか成熟しなかった面があり、導入には少し時間を要したようです。

日立の非接触認識技術の研究は1994年1月の研究所でのアクションフェア(研究所自発研究で進めているテーマ展示会)ではじめて展示した薄型非接触ICカードが来客者のアンケートでトップを取ったことがきっかけでした。この技術はテレホンカードの非接触ICカードの受注へ進み、一気に事業化が推進されていきました。

ICタグは一般にはものに貼付されてバーコードのように認識されるものですが、その読み取り性とセキュリティ性はバーコードを凌駕するものです。「ミューチップ」は世界最小クラス(チップサイズ0.4mm角)のICタグチップです。この技術の誕生はユビキタス時代の要請に答えたタイムリーな提案と開発と進化がなされたひとつの例として大変興味深いものがあります。その「ミューチップ」の発明の背景などを述べていきたいと思えます。

2. 「ミューチップ」の発明素地

世界最小クラスのICチップと言われる「ミューチップ」もいくつかの技術的素地があって発明されたものです。ひとつは半導体の欠陥救済技術がスタート点にありました。また、厚さ0.25mmの薄型非接触のICカード(Fカードといいます。Fは柔軟を意味するFlexibleからきています)の開発がありました。それから、1996年から3

年間日立が参画したTRAMET(Technological Research Association of Multi Purpose Electronic Ticket、汎用電子乗車券技術研究組合)も「ミューチップ」を生み出す事業マインドを涵養するのに役立つものと思えます。「ミューチップ」が発明された素地となる技術ですので、それらの足取りについてふれてみたいと思えます。

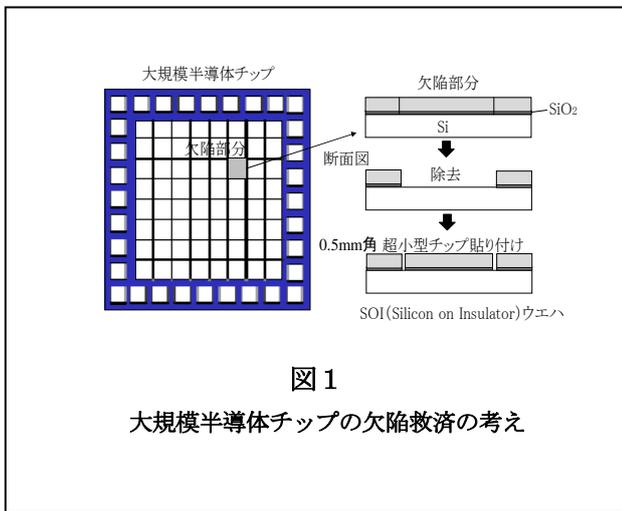
2.1 欠陥救済技術

半導体ではメモリのように繰り返し性がある設計のものでは、欠陥部分の救済をすることが大変重要な技術となっています。ここでいう救済とは、欠陥部分が検出されるとその部分は使用しないとする手法です。しかし、繰り返し性のないランダム論理回路では、この手法をとることがかなり困難となっています。一方、マイクロプロセッサなどのチップサイズが大きくなると、一箇所でもトランジスタが動作しないと、全体を不良とせざるを得ません。これでは経済的ではないし、また省資源という観点から望ましいことではないと思えます。

そこで考えられた新しい発想は、悪いところを探して、その部分を強制的に除去してしまい、良品で置き換えてしまおうというものでした。部屋や廊下の床にはがれなどの欠陥が出てきても、すべてのタイルをはがして修理することではなく部分的修理でよいことと同じ発想です。半導体の最初の設計段階から大きなチップを基盤の目のように設計しておくことは不可能ではありません。配線工程の前半ではこの基盤の目のなかを形成して検査します。全部がよければなにもなくてよいのですが、確率的に大きなチップ内で数個の基盤の目で欠陥が見つかると思えます。このときは、その基盤の目を除去して良品の基盤の目を埋め込む方法をとります。この基盤の目のサイズが「ミューチップ」と同じような0.5mm角という小さなサイズだったのです。このようなサイズを見たこともさわったこともない人には恐ろしく小さいものと思われていたと思えます。世の中は不思議なもので、シリコンダイオードやLED(Light Emitting

Diode)などではこのサイズは常識なのですが、分野が異なると驚きが変わるよい例のように思えます。

欠陥救済技術の検討は1991年から1993年にかけて行われましたが、特筆すべき点はすでにこのころ SOI (Silicon on Insulator)ウエハという半導体ウエハ技術を使って、今まで述べてきた基盤の目の入れ替えを行おうとする考え方をとっていることです。この考え方を図に示すと図1のようになると思います。SOI ウエハは5μm程度の超薄型化加工が大変簡単にできることや、加工仕上がり精度がよいことが特徴です。「ムーチップ」の最初では、SOI ウエハを作成できるプロセス技術が手元になかったため採用は見送りました。ただし、抜本的に超小型、超薄型ICチップを作成する上ではどうしても必要な技術となります。



2.2 Fカード技術

SOI ウエハによる実験を繰り返していくと、この技術の可能性を欠陥救済のみにしておくのではなく、より多くの用途開発をすべきだということに気がつきました。全体を称して、SDIT (Super Device Integration Technology) といいます。大きく次の4つの応用分野を考えました。

- (1) 欠陥救済用途
- (2) 積層半導体用途
- (3) シリコンと化合物の融合用途
- (4) 薄型非接触 IC カード用途

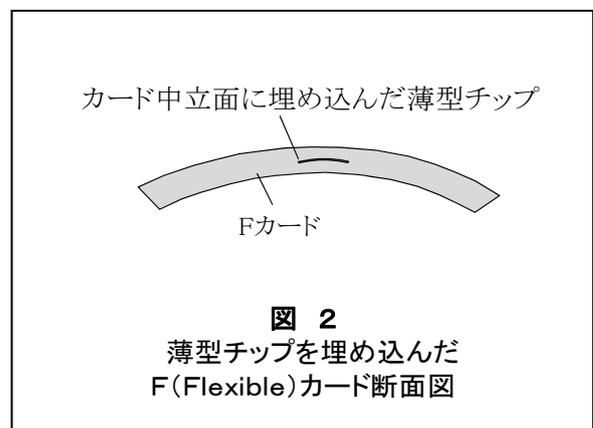
IC カード用途では、SOI で設計されたチップサンプルが関連会社のご協力で購入できることがわかり一気に研究がすすみました。それまでは、SOI ウエハをウエハメーカーから購入してウエハ単位で薄型化の実験をしていました。これで、薄型化はかなりの自信をもっていましたが、いきなりチップサンプル単位で薄くするという

のはかなり困難なことでした。ドライエッチングでおこなえば、比較的チップサイドからのダメージは少ないと思います。ところが、それまで実験は水酸化カリウムという強い溶液を使い、シリコンとシリコン酸化膜のエッチング選択比の違いを活用したウエットエッチングでウエハ単位の薄型化の腕を磨いてきました。チップサンプル単体ですと、わずかなサイドエッチングでもトランジスタにダメージが入ってしまいます。チップ周囲を水酸化カリウムという強アルカリ性液に耐える保護材料を必要としました。なかなかよい材料が見つからなかったのですが、なんとか探し当て実験に供することができたときは、とても大きな喜びを感じました。

この薄型非接触ICカードの大きな特徴は、半導体を極限まで薄くすると曲げに強くなることでした。ものを曲げるといことはガリレオが発見し述べているように、伸びる面と縮む面があるからだという原理となります。半導体も薄くすれば曲げやすくなるということ、また曲げても動作するということは、SOI ウエハによる薄型化で強く主張し、また実験で示したのですが、これ自体が従来の半導体の概念を覆すように思われた面がありました。ただし、薄型半導体のみではハンドリング性もよくないし、また引っ張りストレスで簡単に破壊してしまうことに気がつきました。そこで、同じ厚さの基板で挟むという構造体に気がつきました。この構造体のちょうど中間の面のことを機械工学では中立面と呼んでいるようです。全体を曲げても伸び縮みのない平穏な場所のようで、半導体にとっても都合のよいところとなります。

図2にその断面図を示したいと思います。

1994年1月に、前述したようにスポンサーのない研究所自発研究を一堂に集めて展示する会が研究所で開かれました。SDIT 技術は4つの用途を網羅的に展示してみましたが、その中の薄型非接触 IC カードの形状見本がアンケートでトップ評価を受け、幹部の注目



度が抜群によかったということで、かなり話題となりました。それまでは、研究所で IC カードを研究されたことは全くなかったのですが、そのころ社会のさまざまなところでカード化が推進されている時代背景があったものと思います。当初は IC カードを薄くしてどうなる、という議論もありましたが、従来の磁気カードにせまる薄さは、印刷装置が共通化できるなどのメリットがあることがわかりました。

この技術を F カード技術と名付けて、また非接触 IC カードに特化して研究をすすめていったことは大きな成果をもたらすことになりました。結果的に、この日立の薄型非接触 IC カード技術がヨーロッパと異なり、日本で非接触 IC カードのテレホンカードに採用される大きなきっかけとなったようです。

2.3 TRAMET 技術

1990 年代も後半に入って、日本でも乗車券の非接触 IC カード化の機運が出てきました。また国内各社も磁気カードに対して、偽造防止や電子マネーへの展望が出やすい次世代カード技術として期待感が大きくなり、技術習得チャンスをうかがっていました。当時の運輸省の肝いりで、汎用電子乗車券技術研究組合 (TRAMET) が結成され、52 社におよぶ幅広いメーカーが参加しました。日立は IC カード部会の主査をつとめ、参加国内 16 社による IC カード仕様作成や試作のとりまとめを行いました。

実証実験は今の地下鉄大江戸線の一部で行われ、約 2 千枚の IC カードを各社分担で作成しました。IC チップは共通でしたが、IC カードの作成法は各社得意技術か、または検討途中のアイデアで作成したものでした。日立は IC チップを手作りで $60\mu\text{m}$ 程度に薄くして、かつ IC チップを薄いメタルで挟む構造にしました。残念ながらそのチップは SOI ウェハによるものではなかったのですが、薄くして強度を向上させるコンセプトを十分応用したものです。実証実験ですので、毎週のように動作しない参加各社の IC カードが収集、不良分析報告がされていきました。各社ごとに動作しない IC カードの率は大きく異なりました。幸いにして日立の IC カードは大変高成績を残すことができました。

この TRAMET での活動で大変役に立ったことは、各社の IC カード化の開発状況や一線のエンジニアと接触し、さまざまな悩みを共有化することができた点です。そのなかでも IC カードは話題性があってもなかなかピ

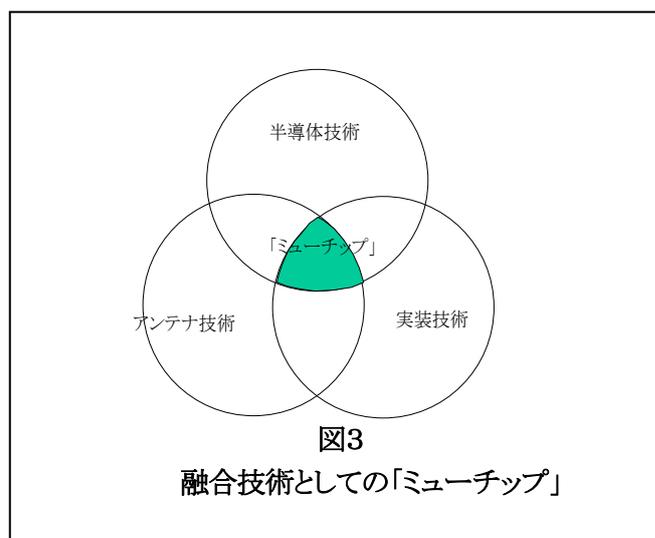
ジネスにならない悩みや、IC カードチップが外部から供給されるためコストが思うように下げられない悩みを何うことができました。

IC カードといえども IC チップが命であること、よい IC チップの開発に成功したら、マーケットでイニシアチブをとれるチャンスがめぐってくる可能性があることなどを痛切に感じることができました。研究開発も実用化を強く求められる時代ですから、時代はどこに向いているのか、またチャンスはどこにあるのかを探る努力は大変重要と思いました。このことが次の「ミューチップ」の発明と開発につながっていくわけです。

3. 「ミューチップ」の発明

発明はある日突然浮かんでくる要素もあると思いますが、実際はかなり問題意識をもって考えてきていて、なんらかの強いきっかけで一気に具体的アイデアとなって現れるという面は否定できないと思います。

ものづくりで一番こころがけなければならないのは、コストと性能と信頼性ではないかと思います。大きなプロジェクトですと、性能と信頼性が決め手になることが多く、コストは次の原価低減活動にゆだねるという戦略がよくとられます。IC カードのように大量に使われるものでは、コストが高いということは致命的で、いずれ市場からの退場を余儀なくされてしまうものと思います。とはいえ、その技術内容は図 3 に示すように、半導体技術に加えて、無線技術、アンテナ技術の集合体という融合技術の典型例となっています。ものはできてもビジネスとして成功するためには、コストという強敵がある



ため、大型計算機の開発よりある意味で難しい面があ

るかもしれません。

IC カードの原価構成を分析するにつれて、次に開発するチャンスがめぐってきたときは、チップサイズは思い切って 0.3mm 角程度まで極端に小さくしてみたいと思うようになってきました。それは、欠陥救済技術の検討過程で、小さな IC チップに対して心理的アレルギーがなくなっている面があったためと、IC チップを小さくすることは一枚のウエハからの取得数と歩留まりの向上に大きく寄与するという事実からです。

ブレーンストーミングの過程で、こんな大きさのチップなら近い将来作れそうということで、切断したシリコン片を前に議論しました。極小の IC チップそれも 0.3mm 角で、電池無しでかつ無線で動作する IC チップを紙幣の中に漉き込む提案を行いました。大きな技術発明はそれを実現する技術力も当然必要ですが、その提案をもたらす課題提起があることも発明の大事な要素であると思います。優れた技術指導力とは、タイミングのよい課題提示ができることもそのひとつではないかという、よい例ではないかと思えます。

それを目の前にしているいろいろとイメージを膨らませながらシステム検討を実施しました。まず、チップには最低限のメモリと通信機能が入っている、としました。通信機能があれば、インターネットに接続でき、一挙に応用は広がります。そのときの課題の一つがセキュリティでした。セキュリティは安全性とコストとの見合いで、ぎりぎりの選択を迫られる技術分野です。最低のセキュリティとは何か、それは、何も対策しないことです。しかし、それでは、あまりに弱すぎます。では、少し機能を入れるとして一番安くできるのは、何か、・・・といった具合に議論を展開しました。開発コードを「ミューチップ」と名付けて検討を続けました。

「ミューチップ」の特許出願は 1998 年 12 月です。これは、社外の顧客に技術提案をするときは必要な発明を必ず出願してから、という規定に従って、徹夜で明細書を書き上げて出願したものです。今では特許登録されている代表的な特許請求項目は、このときのアイデアである「0.5mm 角以下の IC チップサイズの無線による認識チップ」がそのひとつになっています。

顧客へのプレゼンは大きな関心をもって受け取られたのですが、試作品もないコンセプトのプレゼンであったために、2 回までが限界でした。有効な顧客を確保するためには、動作品の有無が決定的な要素をもつという認識で、その後の活動が始まりました。尚、0.3mm 角チップの動作確認は日立中央研究所で 2000 年 7 月

4 日に成功しました。ただし、量産品ではマージンを考慮して 0.4mm 角としました。

4. おわりに

「ミューチップ」をめぐる研究開発はまだまだ端緒についたばかりという認識をもっています。これは、世の中の現場からの視点の中で、相手がものであり、人間であり、ネットワークでありといった対象の複雑性に起因しているためと思っています。IC タグが今後とも注目されていくのは、この実世界とインターネットの広大な仮想世界を繋げる橋渡しの役割を担っているためです。バーコードシステムはシンプルで信頼性の高いシステムですが、課題も多く含んでいます。スーパーマーケットのレジの風景のように、自動認識といいながら人手認識である現実をどのように解決していくか研究開発すべき課題はたくさんあります。

日立がこの分野に参画したのはまだ長くはなく、実際は試行錯誤の連続ではなかったかと思えます。それでも、関係者一様に大きな夢をもって仕事に従事し邁進している姿がとてもすがすがしいという印象をもっています。先端技術は夢を運ぶこと、そしてよい技術、製品で世の中に貢献するという日立の本来の使命をここに改めて強く感じます。最後になりますが、ここまで「ミューチップ」を育て、成長させていただいたお客様、関係者の皆様に心から御礼を申し上げる次第です。

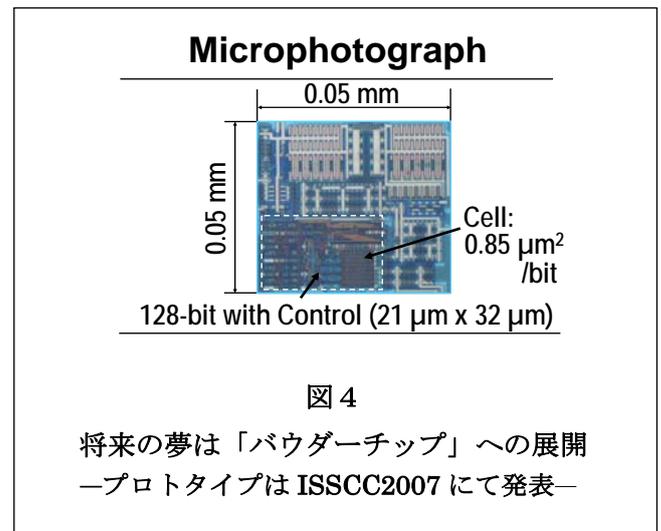


図 4

将来の夢は「パウダーチップ」への展開
—プロトタイプは ISSCC2007 にて発表—