

球面半導体・基本特許

(1)球面半導体とは

ボール・セミコンダクター社は1996年10月に、**石川 明**によって設立されたベンチャー企業である。本社はアメリカ・テキサス州アレン市にある。石川はこの企業を起こす前まで、米国の大手半導体メーカー、テキサス・インスツルメント社の上級副社長であった。

彼が会社を退社(退職とは言いたくないそうだ)して起業すると言った時、家族は大反対であった。だってその時59歳で、日本で言えば定年退職して年金で悠々自適の生活をするの考えるのが普通だろう。しかもシリコンボールに半導体集積回路を作る会社であると言えば、家族でなくてもそんな物はできるはずがないと考えるのが普通である。「普通」という言葉を2度続けて使ったが、彼が普通でないからできた会社でもある。彼のイノベーションを信ずる先見の明がある方たちの名前が雑誌等でよく登場する。京セラの稲盛名誉会長、ICの発明でノーベル賞を受賞したジャック・キルビー、三井ハイテックの三井孝昭社長、ディスクの関会長などさまざまな方がエールを送っている。

彼は40年近く、半導体関係の企業で働いてきて思うところがあった。

1つは、半導体集積回路の微細化技術が進むにつれ半導体工場を作るのに莫大な投資(数100億円)が必要で、これに耐えられる企業は絞られてくるであろうということ。現在の半導体産業はマネジメントが入り込む余地はなく、投資力だけが勝負を決する産業になってしまった。しかもウェーハの大口径化が今後も進んだ場合、15インチ以上になるとインゴット生成から現状の技術では不可能という限界点を迎える。今の半導体技術は微細化と大ウェーハ化という技術面と莫大な投資というコスト面の両方で限界が見えている。

2つ目は、自分が長年温めてきたアイデアである球面半導体を自分の手でやってみたい。しかも球面半導体であれば新工場を作るのに100~200億円の投資で済む。さらに大事な事は、今の半導体・**集積回路は各社の特許の網**で保護されており、新規に半導体会社を起業することは特許訴訟のリスクを負いながらということになる。球面半導体であれば独自技術であり何の特許にも抵触しない。(つまり石川 明が球面半導体の特許を出願するまでそのような特許は存在しなかった。)

従来の半導体チップは4角形のシリコンチップの表面を平坦に加工して作る2次元集積回路である。これに対し球面半導体はシリコンを球状に加工し、その表面に集積回路を作製する**3次元集積回路**である。例えば従来のシリコンチップで1 mm角であればチップ面積は1 mm²である。球面半導体で直径が1 mmであれば表面積は4πr²であるから3.14 mm²となり3倍以上の面積が得られ**集積度を格段に向上**できる。現在直径1mmのボールシリコンを使っているが、小さいサイズのボールシリコンについては、遺伝子治療などを視野に入れた脳細胞と同じサイズの直径20μmのICを作製することを計画している。

1998年7月にシリコン球のサンプル製作、10月13日には球面トランジスタ(単体)形成に成功した。この意義は大きい。ジャック・キルビーが IC (集積回路) を発明してちょうど40年後である。**新しい集積回路の歴史**が日本人の頭脳で始まろうとしている。

1999年3月にはNMOSインバータ回路の動作を確認、年末には複数の回路を同時に動かすIC化にも成功、またこの年の10月には太陽電池用ソーラセルをサンプル出荷し2000年より量産、2000年12月には3次元加速度センサーのサンプル出荷、2001年初めには3次元傾斜計を試作、2001年末から量産を予定している。

石川 明は強調する。

「新しい発想をそのまま埋もれさせておくのは惜しかった。ジャック・キルビーが40年前にICを開発したとき誰もこれが今日最大の産業になるとは思わなかったし、本人もそう思っていないでした。同じくらいのインパクトをもたらす力が、ボールにもあると信じています。ベンチャー企業が成功するためには社員が120%の力を出すことが重要である。そのために、管理社会に反対し、社員の自己管理・自己責任を徹底させている。現在のところ、会社には組織図らしきものは一切ない。社員は結果させ出せば何時に出社しようが退社しようが自由である。」

人間主義と実力主義の調和が石川 明の経営哲学である。

●平面半導体と球面半導体の比較

	平面半導体	球面半導体
チップ形状	平面(2D)	球面(3D)
半導体材料	8-12インチウェーハ	直径1mmの単結晶シリコン
製造上の特許制約	あり	なし
投資額	数1000億円	数100億円
クリーンルーム	あり	なし(チューブを使用)
生産ライン	各製造工程で自動化	全工程自動化
パッケージ	あり	なし

(2)球面半導体の応用分野

形状が球であるが故の応用は結構あると思う。球面半導体を機械的に加工したり、シリコンボールを導体で巻いてコイルを作ると、各種センサーが開発できる。現在ボール社が開発しているのは3次元の加速度センサーや温度センサーなど各種センサー、医療分野並びに光発電分野である。

①**加速度・傾斜センサー**・・・球の特性を生かして3次元の静電浮上型・加速度・傾斜センサーが実現できる。これはシリコンボールの外側に特殊な外殻(シェル)を形成し、マイクロマシン技術を用いてシリコンボールとシェルの間に数 μm の空間を作り、シリコンボールはシェルの中で自由に動ける。加速されたり傾斜した時、シリコンボールがシェル内で転がることにより、ボールとシェルの間隔が変化するのでその静電容量変化を検出して電気信号処理するというものである。これが製品化されれば車、エレベータ、遊技場、灯油ストーブなどの安全装置やおもちゃ、医療用ペースメーカーなど応用分野はかなり広い。球であるため、球面の南極・北極・赤道上の4箇所に均等に電極が配置できるので、精度の高いセンサーが実現できる。

②**無線温度センサー**・・・温度検出回路、制御回路、RF回路を球面半導体に作り込み、コイルを巻けば電源を持たずに外部との無線通信が可能になる。つまり、高校物理で習ったように電波がコイルを貫くとコイルに電流が流れる。外部の送信機から電波を送れば球面半導体のコイルに起電力が発生し電流が流れる。この電源で球面半導体のトランジスタ回路を動作させることができる。そのためには、動作電圧が低く・消費電流の小さいCMOSTランジスタ回路を実装する必要があります。ただ、ある程度の電圧またはパワーがないと球面半導体から発する電波が遠くに届かないという課題がある。

温度を測定する用途というのはあらゆる所に存在する。空調、物流、人体、工場また最近話題のウェアラブルアプリケーションなど多岐にわたる。

③**太陽電池**・・・PN接合が出来れば太陽電池が作れる。ボール社として初の量産品として出荷している。球なので太陽光の受光面積が広くとれ平面よりは有利である。従来の太陽電池はそれを作製するためのエネルギーのほうが光発電より大きかったが、球面半導体による太陽電池は製造するエネルギーより発電できるエネルギーのほうが大きい。これは、変換効率が上がる単結晶をシリコンボールで作りやすいことも関係している。

ところで、私は提案します。**球面CCD**を作れば360度近くを同時に監視できる警報・監視または検査装置が実現できる。これらの装置はたくさんの応用分野があると思うが。

④**医療分野**・・・電子スポンジカウントと呼ぶコイルを巻き付けたボール半導体をサンプル出荷している。このICは医療機器(メス、はさみ、手袋など)に取り付けておき、手術の際に体内に置き忘れないかどうかを調べることが出来る。

将来的にはマイクロマシン技術と組合わせて薬と球面半導体(直径数 $10\mu\text{m}$)を体の患部に直接届けて、外部からの指示で薬を投与するドラッグ・デリバリー・システム(DDS)を構想している。

皮膚に埋め込んだり、錠剤とともに飲み込んだりして血液や胃腸などの体内の情報を収集し、体外へ情報発信できるセンサーチップの開発も進めている。これらのセンサーについては2002年の商品化を目指している。医療用の球面半導体を彼らは「メディカルボール」と呼んでいる。

ところで、私は提案します。**ファイアーボール**(私が勝手に命名)を作ればメスで外から体を切開することなく治療できるのではと思う。シリコンボールを体内に注入後、患部に到達したら外部から命令信号を送りシリコンボールの一部または全体を何らかの方法で100度近くまで熱して患部を焼き切る。治療が終われば常温に戻り、体外へ排出する。シリコン系のLSIであればかなりの高温でも動作させることは可能だと思う。昔見た「ミクロの決死圏」とかいった映画を思い出した。

(3)球面半導体の製造技術

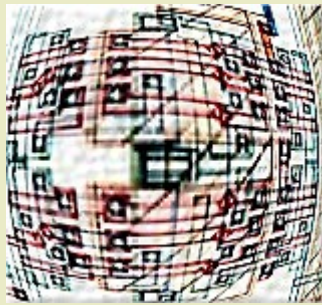
ボールセミコンダクター社では、1998年の "Ball Semiconductor Technology Conference" で球面半導体を製造する上で5つのキーになるテクノロジー(要素技術)を挙げている。

- ①Sphere Single Crystal ②No Contact Processing
- ③3D VLSI Design ④Spherical Lithography
- ⑤3D VLSI Clustering

①Sphere Single Crystal … シリコンウェーハはいくつかの会社で製造されているが、1mmのシリコンボールはどこの会社も作っていない。自分たちで製造するしかない。まず、直径2mmのガラスチューブ(彼らはクリーンパイプと呼んでいる)に多結晶のシリコンを投入する。シリコンを溶融させるため高温プラズマ装置のトーチ内で上からシリコンの小粒を落とす。落ちていく途中で、一度熱を加えて溶ける寸前まで持ってきて、その後トーチの中でプラズマの炎により多結晶シリコンは溶融しながら自由落下(無重力状態)する。その後徐々に冷やして単結晶を製造する。もちろんこの状態では真球になっていないので、化学的・機械的に加工してほとんど凹凸のないシリコンボールを完成させる。最終的な精度は $1\text{mm} \pm 0.1\mu\text{m}$ という真球である。

②No Contact Processing … 球面半導体の製造において一番の特徴はクリーンルームが不要ということだろう。2mmのガラスチューブの中で全ての製造工程を全自動で行うというのだ。なかなかイメージが湧かない。しかもシリコンボールはガラスチューブの中で側面にぶつかることも無く浮いた状態で搬送し、最後まで連続処理できるという。これには流体力学の原理が使われている。CVD(Chemical Vapor Deposition; 化学的気相成長)、エッチング、ドーピングや熱処理などを、各工程で必要なガスや液体をガラス管に封入して処理する。ガスにより酸化膜を作ったり薄膜をCVDする。液体が現像液や薬液であればそれぞれ現像やエッチングが出来る。次工程へは水と一緒にシリコンボールを次のガラスチューブまで搬送する。もちろん先ほども書いたように非接触で全てを行うそうだ。

図1に球面半導体の製造方法の概略図を示した。



③3D VLSI Design … ボール社では、球面全体にひずみなく回路が作り、レイアウト設計も自由に行えるABLE(Advanced Ball Layout Editor)というデザインツールを自社開発して使っている。このソフトの特徴は経度・緯度の絶対座標軸に加え、自由に原点移動ができ、相対座標軸もあるので設計の自由度が高い。しかも設計したデータを露光装置に送りそのまま露光できる。

④Spherical Lithography … 従来のLSIは何十枚というマスクを使って多くの前工程プロセスを処理しているが、対象物が平面でなく球面の場合の露光は不可能である。初期の頃は多面(45面)ミラー露光システムを使うことによって、1回の露光で球面の60%を処理していた。現在は、マスクを使わないシステムを開発して1回で全面露光している。ボール社はシリコン球にパターンを形成する露光技術の特許を有している。その基幹技術がDMD(微細な鏡を多数集めて光反射素子とする高速スイッチング素子)である。テキサスインスツルメント社の映像技術であるDLP(Digital Light Processor)技術と組み合わせ、DMDにより微細なドットを光学系で制御してシリコン球に露光するのである。DLPは投射型ディスプレイで使われている技術である。6個のDLPをマスクに見立て、CADから6分割されたビットマップ情報で各DLPのミラーをドライブして一括全面露光している。

ただ、②で非接触プロセスについて書いたが、実は露光についてはガラスチューブに入ったままでは技術的に難しくまだ実現していない。現在開発中とのこと。

⑤3D VLSI Clustering … 機能の異なる球面半導体をいくつも結合させて使うクラスタリングが今後の多機能化には重要である。結合には金のマイクロボールバンプ(直径 $80\mu\text{m}$)を球面半導体の特定の場所に作り、それをお互いに熱圧着で接触させて機能の増加をはかる。現在16ピンを開発中である。平面集積回路だと違う種類のデバイスをオンチップに搭載することはプロセスが複雑になったり、コスト的に高くなり基本的に製造が難しい。ボール社では多機能を実現する手段としてこのクラスタリングを考えている。全く異なるデバイスでもクラスタリングで結合し1つのシステムとして構築できると考えている。

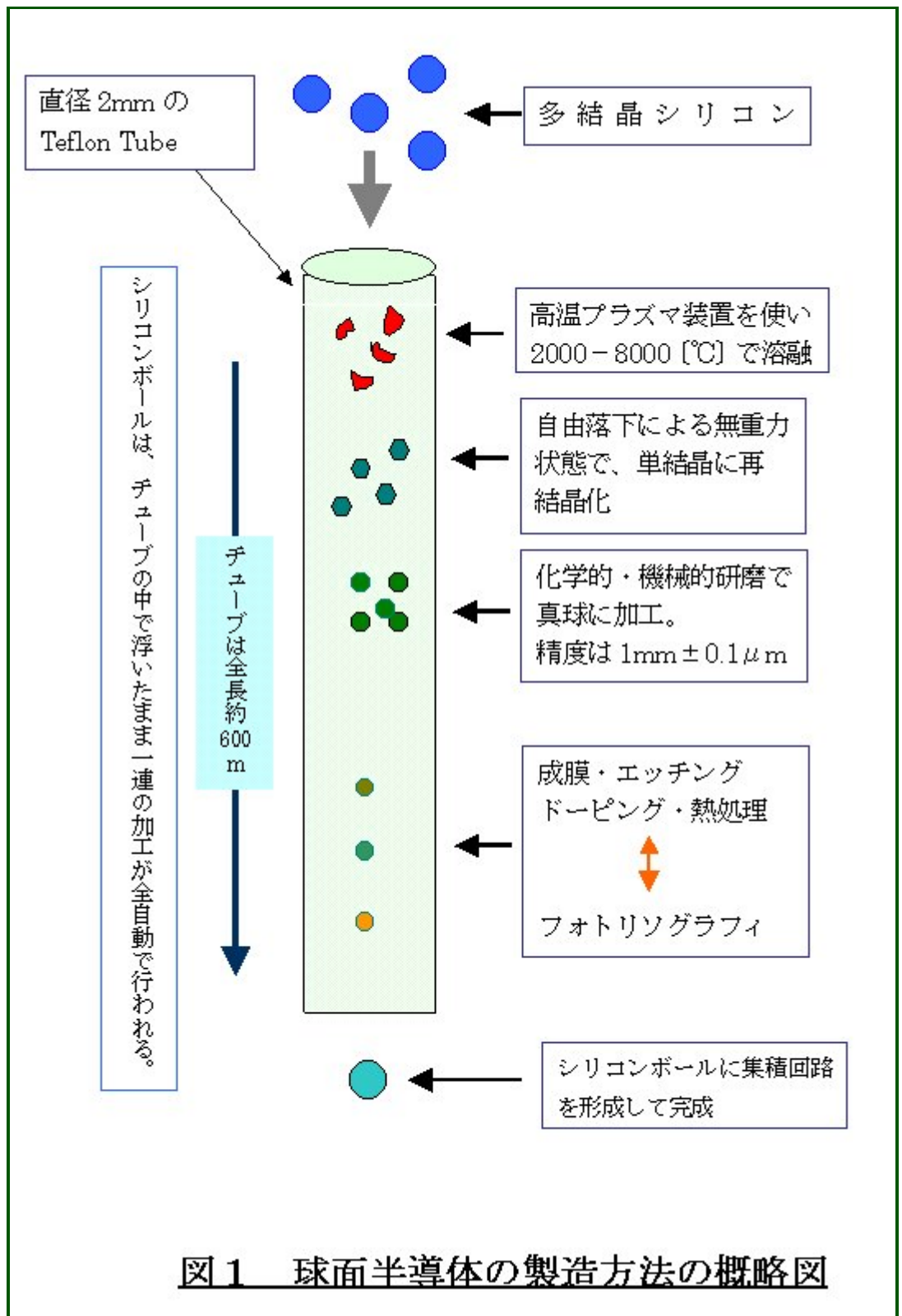


図1 球面半導体の製造方法の概略図

(4)球面半導体の基本特許

石川 明は1996年夏に長年勤めていたテキサス・インスツルメント社・上級副社長を退職し、その年末には球面半導体の特許を数件出願している。それらの特許は1999年ごろから特許成立しており、現在までかなりの特許を有している。今まで全く例の無かった技術なので、全ての特許が基本特許といってもよいが、ここでは石川 明が会社を設立した初期の頃に出願して成立した特許を基本特許と呼ぶことにする。その特許を4件ほど紹介します。

-
- US6004396 : Spherical shaped semiconductor integrated circuit
 - US6069682 : Spherical shaped semiconductor integrated circuit
 - US5945725 : Spherical shaped integrated circuit utilizing an inductor
 - US5955776 : Spherical shaped semiconductor integrated circuit
-

ボール・セミコンダクター社では現在までに300件近くの特許を出願中とのこと。その中の一部を取り上げてみました。内容に興味ある方は調べて見て下さい。

球面半導体の特許一覧

Patent	Title
US5975011	Apparatus for fabricating spherical shaped semiconductor integrated circuits
US6052517	Spherical cell design for VLSI circuit design on a spherical semiconductor
US6030013	Method and apparatus for contactless capturing and handling of spherical-shaped objects
US6015464	Film growth system and method for spherical-shaped semiconductor integrated circuits
US5986348	Magnetic alignment system for bumps on an integrated circuit device
US5949557	Total internal reflection holography method and apparatus for lithography on 3-D spherical shaped integrated circuitl
US5877943	Clustering adapter for spherical shaped devices
US6136617	Alignment system for a spherical shaped device
US6130742	Exposure apparatus for a ball shaped substrate
US6117772	Method and apparatus for blanket aluminum CVD on spherical integrated circuits
US6077388	System and method for plasma etch on a spherical shaped device
US6074476	Non-contact processing of crystal materials
US6071315	Two-dimensional to three-dimensional VLSI design
US6061118	Reflection system for imaging on a nonplanar substrate
US6055928	Plasma immersion ion processor for fabricating semiconductor integrated circuits
US6053123	Plasma-assisted metallic film deposition
US6049996	Device and fluid separator for processing spherical shaped devices

石川 明はこう述べている。

「業界にいる知人に聞いても“発想は面白いが実際に作るのは無理だよ”と誰も相手にされなかった。これは、日本でもアメリカでもそうだったし、技術者でも経営者でもとにかく常識的に仕事をしている人はみんな同じことを言った。

しかしやってみなければわからないし、成功すれば世の中を変えられると思った。そんな夢を私たちは事業化しようとしている。イノベーションやブレイクスルーには年齢は関係ない。心身ともに健康で、夢と、科学的合理性に裏付けられた目標を持ち、計算し尽くされたリスク・テイキングと目標を必達する意思があればそれは可能だと信じている。」

読んだ感想をお寄せ下さい

名 前 (省略可)

メールアドレス (できれば記入願います)

ホームページURL (省略可)

使用ブラウザ

Netscape Navigator

Internet Explorer

その他

年 齢

性 別

職 業

特許私考 - ホームページにて全文公開中(参照用)

感想、御意見また、内容の誤記・訂正の御指摘などをどうぞ

インターネットに接続後、送信して下さい

特許私考の最新情報は下記アドレスで確認して下さい。

<http://village.infoweb.ne.jp/~s1takei/dokusou/dokusou2.html>