

## マイクロエレクトロニクスにおける 40 の発明原理

著者 : Gennady Retseptor  
[gennad@avx.co.il](mailto:gennad@avx.co.il)

著作権 2002、Gennady Retseptor、AVX イスラエル株式会社 972-2-5720128、著作権保有。

出展 : [triz-journal.com/archives/2002/08/b](http://triz-journal.com/archives/2002/08/b)  
翻訳 : 市川 且典 2008 年 10 月 22 日

マイクロエレクトロニクスと TRIZ は、共に約 50 年前、西側諸国、旧 USSR において別々に姿を現した。

マイクロエレクトロニクスは、すでに認められている 20 世紀のすばらしい業績のうちの 1 つである。TRIZ が西欧諸国において拡がり始めたのはここ最近 10 年のことである。

マイクロエレクトロニクスの分野で働く人々にとって、自分たちの領域における技術的な解決策が TRIZ の視点からどうとらえられるか知ることは興味のあることでしょう。本論文は著者の試みとして、マイクロエレクトロニクスにおける TRIZ の発明原理の事例を分類し、要約したものである。

編集者の注 : 自分自身の分野以外の創造的問題解決の事例を読むことにより、より創造的になるかどうか、あるいは、多くの人々にとって、自分自身の分野における事例が、どのように 40 の原理が役に立っているのか理解し始めるために必要とされるかどうか議論の分かれるところである。TRIZ 教師としての編集者の経験では、ほとんどの人々が、自分自身の分野と他の分野からの事例が一緒になったものを必要とする。したがって、多くの分野における事例のリストが公表されることは、私たちにとって非常に嬉しいことである (参考文献参照)。

### 原理 1. 分割 (Segmentation/Fragmentation/Division)

- A. 物体を分離した部分に分割する。
  - Si (シリコン) ウェーハ上の個別ダイ。
  - 2 段拡散プロセス。
  - ビーム分割。
- B. 物体を容易に分解できるようにする。
  - マルチチップモジュール (MCM) への集積回路 (IC) および受動部品の組み立て。
  - マルチチップモジュールの「娘」ドーターボード上への組み立て。
  - 「娘」ドーターボードの「母」マザーボード上への組み立て。
- C. 分裂/分割の度合いを強める。
  - マイクロプロセッサチップあたりのゲート数の増加 (1 年あたり 1.35 倍)。
  - メモリチップ当たりのビット数の増加 (1 年あたり 1.5 倍)。
  - チップ当たりの入力/出力 (I/O) 数およびパッケージ当たりのピン数の増加。
  - ランドの海 (SOL) - 超高密度超パッケージング。
- D. ミクロレベルへの移行。
  - スプレー現像およびスプレーエッチング。

- マイクロエレクトロニクス・メカニカル・システム (MEMS) において異なる内在ストレスを持つサブ層。
- 形状の縮小 ( $0.05\ \mu\text{m}$  あるいはそれ以下)。
- 分子線エピタキシー (MBE)。
- 原子層堆積 (ALD)。
- ナノ計測。

## 原理 2. 分離 (Takingout/Separation/Removal/ Extraction/Segregation)

A. 物体の干渉部分または特性を分離する。あるいは物体の必要な部分 (あるいは特性) だけを選抜する。

- クリーンルーム。
- ウェーハ製造工場における銅を扱う領域の隔離。
- ウェーハと人間の分離。
- クラスタ機械設備。
- 枚葉式ウェーハプロセス。
- Si 結晶成長における不純物偏析 (CZ プロセス)。
- LOCOS (Local Oxidation of Silicon) 分離。
- 銅拡散防止用の障壁。
- イオンインプランテーションにおけるイオン分離。
- エッチ停止層。
- 偏光顕微鏡。
- チップスケールパッケージング (CSP) における溝によるダイ分離。
- 電気的かつ視覚的な予備選別。
- バーンイン (訳者注: 特性などを安定させるために、使用前に一定時間動作させること。)

## 原理 3. 局所的性質 (Local quality)

A. 対象物の構造を 均一から不均一なものに変える、外部環境 (あるいは外部の影響) を均一から不均一なものに変える。

- CZ プロセス、エピタキシー、酸化、拡散の温度勾配。
- 化学気相成長 (CVD) における圧力勾配。
- ウェットとドライエッチングの選択性と異方性。
- 種々の不純物プロファイルを備えた拡散における不純物濃度勾配: 指数、ベキ乗則、階段、傾斜。
- 空乏層。
- 任意の電荷分布を備えた電界効果トランジスタ (FET)。

B. 物体の各部分を最適にされた状態で機能できるようにする。

- 枚葉式プロセス: CVD、物理気相成長 (PVD)、ドライエッチングなど。

C. 物体の各部分が、それぞれ異なる有用な機能を実行できるようにする。

- 反対の不純物型の埋め込み層。
- CMOS IC における n-p-n 基板中の p-n-p ポケット領域。

## 原理 4. 非対称 (Asymmetry/Symmetry change)

A. 物体の形を対称から非対称に変える。

- シリコンウェーハの結晶方位のマーキングに対する SEMI 基準：〈111〉、〈110〉、〈100〉。
- 非対称の pn 接合。
- B. 外部の非対称に合わせるように物体の形や特性を変える。
  - 異方性プラズマエッチング。
- C. 物体がすでに非対称の場合には、非対称の程度を増加させる。
  - 外観のアスペクト比を増加させる：

#### 原理 5. 併合 (Merging/Combining/Composition/Integration/Agglomeration)

- A. 同一あるいは類似した物体を密接にまとめる（あるいは併合）；同一あるいは類似した部品を組み立てて並列動作を遂行できるようにする。
  - 視覚的な欠陥検出のために、隣接したダイのイメージからイメージを差し引く。
  - 集積回路。
  - マルチチップモジュール。
  - ギガ規模の集積 (GSI)。
  - ギガ規模のシステムオンチップ (GSOC)。
- B. 操作を連結あるいは並列に行う；同一時間内にまとめる。
  - マルチビーム電子線描画。
  - ウェーハレベルのクリーンルームの作業。
  - ウェーハレベルの SMD (Surface Mount Device) の終端 [6]。
  - ウェーハレベルのバーンイン。
  - ウェーハレベルのパッケージング (WLP)。
- C. 物体を組み合わせて、2つ以上からなるシステムにする。
  - 2層：Ti/TiN、Ta/TaN。
  - 化学機械研磨 (CMP)。
  - 電気化学機械堆積 (ECMD)（訳者注：電解液を用いて所定の領域に導電性材料を堆積する工程とこの間に他の領域を機械的に研磨することにより所定領域以外の堆積を防ぐ堆積方法、特表 2002-528649 参照）。
  - 機械的、電氣的、磁石、プラズマその他の場の組み合わせ。

#### 原理 6. 汎用性 (Universality/Multi-functionality)

- A. 部品や物体が複数の機能を実行できる；他の部品の必要性をなくす。
  - マルチタスク分配システム。
  - スパッタリング装置のマルチターゲット。
  - 電子ビーム直接描画。マスクを必要としない。
  - 1つのプロセスでフォトレジスト除去と表面洗浄の両方を行う酸素添加 CF<sub>4</sub> プラズマ
  - IC パッケージ基板の多機能：多層膜接続、熱放散、I/O 配線の回避、インピーダンス制御、帰地（グラウンドリターン）。
  - 部品の梱包（テープおよびリール、部品を一塊にしたバルク状態から供給するカセットなど）の多機能：部品の保護、運搬およびピック & プレース装置に渡すこと。
- B. 標準化された特徴を使用する。
  - 半導体とマイクロエレクトロニクスにおける国際標準。
  - 視覚的な作業標準。
  - 測定、検査およびテスト装置の校正。

- 受け入れ、プロセス内および最終の品質検査に対する仕様。
- 機能的、機械的、かつ環境的な試験に対する仕様。

#### 原理 7. 入れ子 (Nesting/"Nested doll"/Recess/Embedding)

- A. ひとつの物体を別のものの内部に入れる；各物体を順番に他のものの内部に置く。
- クリーンルームおよびクリーンエリアの多段階の入れ子。
  - CMOS ICにおける n-p-n 基板中の p-n-p ポケット領域。
  - 埋込層。
  - 拡散またはイオンインプランテーションによって作られた逆導電型の領域。
  - 多層膜終端構造。
  - 電氣的な許容誤差の入れ子。
  - SOL (small out-line L-leaded package)に埋めこまれたエアギャップ領域。
  - D-BGA (Dimple Ball Grid Array)パッケージングの凹所に埋めこまれたコンタクトパッド。
  - CSP の低い温度で同時焼成されるセラミック (LTCC) 基板の中に集積された受動部品の埋め込み。
  - パッケージングの階層：チップ - モジュール - カード - 基板 - システム。
  - MEMS (マイクロマシン技術) のマイクロパッケージングと中間パッケージングの集積化：ダイ - デバイス - システム。
- B. 一つの部品が別のものに開いた穴を (ダイナミックに) 通り抜けられるようにする。
- MEMS マイクロマシン。

#### 原理 8. 釣り合い (Counterweight/Anti-weight/Weight compensation/Levitation)

- A. 物体の重量を補償するために、揚力を提供する他の物体と組み合わせる。
- 空気あるいは窒素クッションによるウェーハの空中浮揚。
  - 浮かばせることによる超薄ウェーハの輸送。
- B. 物体の重量を補償するために、環境と相互作用させる (例えば、空気力学、流体力学、浮力および他の力を利用する)。
- トレンチやビアホール内のクリーニングと化学薬品処理に対する毛細管作用効果。
  - チップから PCB パッドまでのはんだ引き寄せの毛細管作用

#### 原理 9. 先取り反作用 (Preliminary anti-action/Prior counteraction)

- A. 有害効果と有用効果を同時にもたらず動作を遂行する必要がある場合、あらかじめ反作用を施し、有害な効果を制御すべきである。
- LOCOS (Local Oxidation of Silicon) に対する  $\text{Si}_3\text{N}_4$  マスク。
  - イオンインプランテーションに対する LOCOS のマスク。
  - 拡散に対する酸化シリコンとポリシリコンのマスク。
  - リソグラフィ用のレジストマスク。
  - バッファー (緩衝化した) 酸化物エッチング液。
  - エピタキシー、酸化、拡散、メタライゼーションなどの前洗浄。
  - フォトリソグレイブ前の赤外線ウェーハ表面乾燥。
  - ポリイミドあるいはエポキシの分配前の下塗り。
  - テープによる PCB のマスク。

#### 原理 10. 先取り作用 (Preliminary action/ Prior action/Do it advance)

- A. 物体に対して必要な変更を、それが必要になる前に行う(十分に、あるいは部分的に)。
- 基板洗浄
  - スパッターターゲットのプリクリーニング。
  - フォトマスクの前洗浄。
  - 装置の据え付け。
  - 原料に対する機能試験。
  - 化学薬品および槽の準備。
  - CVD、PVD、CMP などのダミー(テスト)運転。
  - BGA 用の前もって作られたはんだボール。
  - PCB にチップを接続する、事前に加工されたフィルムあるいはテープベースのインターポザー (訳者注: CSP (Chip Scale Package) 等に用いるチップ基板間接続用のリードフレーム、TAB テープなどの基材)
- B. 物体をあらかじめ配置しておき、最も便利なところでしかも無駄な時間をかけずに動作できるようにする。
- プロセスフローチャート。
  - バッチ移動票
  - シングル段取り (SMED) 技術を用いた段取り時間の削減。

#### 原理 11. 事前保護 (Beforehand cushioning/Cushion in advance/Beforehand compensation)

- A. 緊急手段をあらかじめ準備しておいて、物体の比較的低い信頼度を補う。
- 信頼性の設計。
  - 電気回路の冗長。
  - デイレーティング (訳者注: 素子に対するストレスを軽減し寿命を延ばすこと)。
  - 素子の寸法および膜厚に対する安全係数。
  - 静電気放電 (ESD) 防止用のクリーンルーム空気イオン化。
  - エピタキシー、CVD、プラズマエッチングにおける水素中和用のスクラバー。
  - 保護、防護、(カプセル) 封入およびストレス補償層。
  - BGA のはんだボールのまわりのポリマーカラー(襟)、温度サイクルに対する信頼度を延ばすためのもの。
  - バーンイン、高加速ストレススクリーニング (HASS)、環境ストレススクリーニング (ESS)、初期故障期間で故障しがちである限界に近い部品を仕分け処理するもの。

#### 原理 12. 等ポテンシャル (Equipotentiality/Remove Tension)

- A. ポテンシャル場において、位置変更を制限する(例えば、重力場の物体を上げ下げする必要性をなくす作業条件の変更)。
- トンネル効果デバイス。
  - 段差の平坦化: 部分的な平坦化、燐シリケートガラス (PSG) 溶解、レーザー除去。
  - 連続的な放電通路を備えることによる ESD 除去。

#### 原理 13. 逆発想 (Inversion/Reverse/"The other way round")

- A. その問題を解決するために使用されてきた作用を逆にする(例えば、物体を冷やす代わりに熱する)。

- 暗視野顕微鏡。
- ポジ型フォトリソ 対 ネガ型フォトリソ
- 引き算 対 足し算のリソグラフィ（訳者注：プリント基板パターン形成法で、樹脂の必要面にだけ銅を析出させるアディティブ（足し算）法と、銅張積層基板の不要部分をエッチングする（引き算）サブストラクト法をさす）。
- B. 可動部分（あるいは外部環境）を固定したり、固定部分を可動にしたりする。
  - 「ホール」の動きによるエレクトロンの動きの解釈。
- C. 物体（あるいはプロセス）を「逆さま」にする。
  - MOS 構造の反転。
  - リフトオフ・リソグラフィ。
  - ストレスフリーの研磨（SFP）、電気化学的析出（ECD）に対し逆のプロセス。

#### 原理 14. 曲面 (Spheroidality/Sphericity/Curvilinearity)

- A. 直線的な部分、表面、あるいは形を使用する代りに曲線状からなるものを使用する：平坦な平面を曲面にかえる：立方体（平行六面体）形状の部分をボール形状の構造にする。
  - 丸いシリコンウェーハ。
  - 丸めたウェーハエッジ、チップング（訳者注：細かく砕けること）を防ぐ。
  - 段差を滑らかにすること、コンタクト断線を防ぐ。
  - 曲線状にした要素の形状。
  - 部分的な電気メッキで環状に銅を堆積すること。
  - マイクロビアホールのドリルによる穴あけ。
  - J および S 字端子形状。
  - ボールグリッドアレイ (BGA)。
  - はんだボール用の八角形の窓。
  - 円柱および薄い円盤状のボタンパッケージ。
- B. ローラ、ボール、螺旋、ドームを使用する。
  - ドーム状の蓋を備えた円筒チャンバー
  - テープ&リール装置のスパイラルボール。
- C. 直線運動から回転運動に変える（あるいはその逆も同じ）。
  - 薬品処理、乾燥、現像、エッチングにおける回転運動。
  - 浴液の循環。
  - PVD、CVD、CMP、イオンインプラントレーションにおける回転あるいは惑星運動。
  - スピンエッチングによる平坦化 (SEP)。
  - 回転式のスキージ、ペースト圧延。
- D. 遠心力を使用する。
  - スピンオンによるレジストディスペンズ（分配）。
  - スピンオンポリイミド塗布。
  - スピンオンガラス (SOG)。
  - スピンオン誘電体 (SDD)。
  - スピンオンゾルゲル（訳者注：ゾルゲルとは各種の金属アルコキシドのアルコール溶液から出発して、その加水分解・重縮合、それに続く熱処理によってゾルを経てその固化体であるゲルを得る方法である。）塗布。

#### 原理 15. ダイナミックス (Dynamics/Dynamicity/Dynamization/ Optimization)

- A. 物体の特性、外部環境、あるいはプロセスを変更するように（または設計）して、最適にするかまたは最適の作業条件を見出す。

- 調整可能なリソグラフィの露光、現像およびエッチング時間。
- 調整可能な塗布、メッキ、CVD、PVD 堆積速度。
- B. 物体を部分に分割して、相互に相対的に運動可能にする。
  - MEMS マイクロマシン。
  - MEMS 可変コンデンサ。
- C. 物体(あるいはプロセス)が固くまたは柔軟性が無い場合に、それを移動可動か適応可能にする。
  - CZ プロセスにおけるよりよい対流のためのインゴットの回転運動。
  - 現像、エッチング、剥離、電気メッキの攪拌。
  - CVD、PVD、CMP などのウェーハの線形、回転あるいは惑星運動。
  - スキャン塗布技術における、X 軸ノズル走査、Y 軸ウェーハ走査。
- D. 自由運動の量を増加させる。
  - 洗浄とメッキにおける超音波によるかきまぜ。

#### 原理 16. 部分的な作用または過剰な作用 (Partial or excessive actions/Excess or shortage)

- A. 指定された解決方法を用いても、目的の 100%を達成するのが困難な場合、「もう少し小さく」または「もう少し大きく」施すことにより、問題をかなり容易に解決できることがある。
  - 遠心力による過剰なスピンオン塗布材料の除去。
  - 不均一な層厚を補償するためのエッチング時間の延長。
  - PSG 煮沸による過剰なリン除去。
  - レーザートリミングによる過剰な抵抗領域の除去。
  - スキージによる過剰にスクリーン印刷されたペーストの除去
  - 電氣的パラメータに対する安全係数。

#### 原理 17. もう一つの次元 (Another dimension/Change dimension/Moving to a new dimension)

- A. 物体を二次元または三次元空間内で移動させる。
  - フリップチップ接続端子の二次元配置 (PGA、BGA、LGA、CGA など)。
  - 部品と PCB の二次元バーコードデータマトリクス。
  - 周辺から整列配置へ WLP (ウエハーレベルパッケージ) における端子の再分配
  - 三次元フォトリソグラフィ。
  - 三次元顕微鏡
  - 三次元 X 線による基板テストシステム。
  - 三次元 MEMS。
- B. 物体を単層ではなく多層に配列して利用する。
  - 多層レジスト
  - 多階層 IC 構造。
  - 積み重ねられた多層 (BUM) マイクロビア (ホール) パッケージ基板。
  - 多層、フリップチップパッケージ。
  - 積み重ねられたフリップチップパッケージ
  - 多階層 MCM 構造。
  - 多層 PCB。
- C. 物体を傾けたり、方向を変えたり、横向きにおいたりする。
  - リバース (長い面) の終端を備えた SMD 2 ポート部品 (0306、0508、0612)。

D. 所定の領域の「もう一つの面」を使用する。

- 表裏両面マスク露光装置。
- 両面「母」マザーPCB 組み立て。

#### 原理 18. 機械的振動 (Mechanical vibration/Oscillation)

A. 対象物を発振あるいは振動させる。

- 振ってかきまぜること。
- 不規則振動試験。

B. 振動周波数を増加させる(できれば超音波まで)。

- 超音波洗浄。
- 超音波無電界メッキ。
- 超音波熱圧着。

C. 物体の共振周波数を利用する。

- 水分残渣除去用マイクロ波乾燥。
- 皮膜厚測定用水晶振動子。

D. 機械的な振動の代わりに圧電振動を使用する。

- スプレー現像とエッチングにおける圧電振動子

E. 超音波と電磁場の振動を組み合わせて使用する。

#### 原理 19. 周期的作用 (Periodic action)

A. 連続的作用の代わりに、周期的なあるいはパルスの作用を用いる。

- バッチ製造。
- 複数のプロセス実行。
- 電圧選別のときのインパルス。
- 温度衝撃サイクル。
- プロセス制御における定期的なもの(解析、検査、試験)。
- 定期的な信頼性試験。

B. 動作が既に周期的な場合、周期的な程度あるいは周波数を変更する。

- CVD、PVD、CMP、ドライエッチングなどにおける枚葉式プロセス。
- 反復焼き付けの投影リソグラフィ。
- パルスレーザー切断。

C. インパルス間の一時停止を利用して別の動作を実施する。

- プロセス段階の段取りに対する SMED 技術。

#### 原理 20. 有用作用の継続 (Continuity of useful action/Steady useful action)

A. 作業を連続的に遂行する；ひとつの物体のすべての部分が、常に全負荷で働くようにする。

- ウェーハ工場での 1 週間 7 日、1 日 24 時間処理。

B. アイドリングあるいは断続動作や作業をすべて除去する。

- 合計段取り時間を削減するために内段取りと外段取りを一緒に行う合理化 (SMED)。
- ウェーハレベルのクリーンルームプロセス。
- ウェーハレベル SMD 終端 [6]。
- ウェーハレベルでのバーンイン。
- ウェーハレベルのパッケージング。

### 原理 21. 高速実行 (Skipping/ Rushing through/Hurrying)

- A. プロセスや段階を高速で実行する (例えば破壊的、有害あるいは危険な操作)。
  - 超薄膜メタライズ層用フラッシュ PVD。
  - ポジティブフォトリソ現像時間 - より短いほど、より良い。

### 原理 22. 「災いを転じて福となす」 (‘Blessing in disguise’/‘Turn lemons into lemonade’/Convert harm into benefit/Turn minus into plus)

- A. 有害な要因 (特に環境や周囲条件の悪影響) を利用して、有益な効果を獲得する。
  - 制御可能なアンダーカット。
  - アバランシ効果半導体デバイス。
- B. 既存の有害作用に別な有害作用を追加して相殺し、問題解決をする。
  - 緩衝耐腐食液。
- C. 有害な要因をそれがもはや有害ではなくなるまで増大させる。
  - バーンイン、高度に加速されたストレスクリーニング (HASS)、環境ストレスクリーニング (ESS)、初期故障期間で故障しがちな不要な部分を選別するために用いる。

### 原理 23. フィードバック (Feedback)

- A. フィードバック (前の状態を参照すること、クロスチェック) を導入して、プロセスまたは作用を改善する。
  - CMP、ドライエッチングの終点検出。
  - 最適温安定化用のサーモスタット。
  - プロセスパラメータ調整用のテスト運転。
  - 初物検査。
  - プロセス中の、最終および定期的な品質検査と試験。
  - 統計的プロセス制御 (SPC)。
  - 故障モードと影響解析 (FMEA)、故障ツリー解析 (FTA)。
- B. フィードバックがすでに使用される場合には、その程度や影響度を変更する。
  - テスト構造を利用したインラインウェーハ測定。

### 原理 24. 仲介 (Intermediary/Mediator/Insertion)

- A. 仲介のキャリア物質あるいは仲介のプロセスを利用する。
  - Ti, Ta, Cr の接着層。
  - TiW, TiN, TaN, SiN, W<sub>2</sub>N の障壁層。
  - 塗布と結合用の接着促進剤。
  - ポリイミドあるいはエポキシ分配用の下塗り。
  - イオンインプランテーション用の LOCOS マスク。
  - 拡散用の酸化シリコンマスクとポリシリコンマスク。
  - はんだボールの下のストレス削減用の高分子層。
  - 熱誘起ストレス補償用のチップアンダーフィルプロセス。
  - PCB に対するチップ接続用のインターポーザー。
  - 微細ピッチ (0201、BGA) の SMD 部品に対するフットプリント変換アダプタ。
- B. ある物体を一時的に他の物体 (簡単に除去できるもの) と組み合わせる。
  - 光、遠紫外、極紫外、X 線とビームリソグラフィに対するレジスト。

- フォトマスク。
- LOCOS 用の  $\text{Si}_3\text{N}_4$  マスク。
- 一時的ウェーハキャリア。
- MEMS マイクロマシニングで空洞を残すための犠牲層除去。
- MEMS 可変コンデンサにおける、一時的物質を伴う凹所の充填、可動電荷板の堆積と充填材のウエットエッチング。

## 原理 25. セルフサービス (Self-service/Self-organization)

A. 補助的な有用機能を行うことにより、物体がセルフサービスを行うようにする。自身で行う作用を利用する。

- シリコン酸化によるウェーハの自己マスク。
- オートドーピング。
- 材料あるいは相境界上への不純物偏析。
- MOS トランジスタにおけるゲートセルフアライン技術。
- 自己イオン化プラズマ (SIP) 指向性 PVD。
- エッチング停止層。
- MEMS におけるミクロスケール部品の自己組織化。

B. 廃棄する資源、エネルギーあるいは物質を利用する。

- 脱イオン水 (DI) の水リサイクルシステム。
- ダミー (テスト) 運転と実験用のスクラップウェーハおよびチップの使用。

## 原理 26. コピー (Copying)

A. 利用しにくく、高価で壊れやすい物体の代りに、単純で安価なコピーを使用する。

- 「正孔」移動モデル。
- 仮想試作。
- IC 設計と複雑なプロセスモデル。
- ダミーウェーハとダミー部品。
- テスト構造。

B. 物体や工程を光学的コピーと置き換える。

- フォトマスク。
- 投影リソグラフィ。
- 部品寸法測定用光学的コンパレータ。
- 部品外観選別用の画像処理。
- 方向性のあるパッケージに対するパターン認識。
- カラースキャナー自動光学検査 (AOI)。
- ピック&プレース用のビデオシステム。

C. 可視の光学的コピーがすでに使用されている場合は、赤外線や紫外線のコピーを使用する。

- フォトレジストあるいはポリイミドの露光に対する UV 光。
- 遠紫外と極紫外 (EUV) リソグラフィ。
- 遠紫外反射率測定。
- 赤外干渉法。
- 赤外線分光偏光解析法。
- レーザー偏光解析法。
- 光音響。
- 偏光顕微鏡。

- ホトルミネセンス。
- 分光分析。
- 散乱分析。
- X線蛍光(XRF)。
- X線回折(XRD)。
- X線PCBテストシステム。

**原理 27. 高価な長寿命より安価な短寿命 (Cheap short-living objects/Cheap disposables)**

A. 高価な物体を、ある品質(例えば耐用期間のような)を犠牲にして、多数の安価な物体に置き換える。

- 毎回取り換えるクリーンルーム用のフェイスマスク、手袋と靴カバー。
- ダミーウェーハとダミー部品。
- テスト用PCBカード。
- 製品の取り扱い、保管および輸送用のプラスチックかダンボールのカーツーン箱、ガラス瓶、バッグ、カセット、テープ。

**原理 28. メカニズムの代替 (Mechanics substitution/Replacement of mechanical system / Redesigning/ Replace mechanical system with fields)**

A. 機械的手段を知覚(視覚、聴覚、味覚、あるいは嗅覚)手段に置き換える。

- CMPおよびドライエッチングの光反射による終点検出。
- 部品寸法測定用光コンパレータ。
- バーコード、2次元マトリックスデータ符号化。

B. 電界、磁界および電磁界を利用して、物体と相互作用させる。機械的素子を物理的な場に置き換える。

- 電気泳動レジスト塗布。
- CMPとドライエッチングの終点検出方法：プラズマインピーダンス測定、副産物の発光分析、うず電流。

C. 静止場から移動可能な場に、非構造的な場から構造化した場へ変える。

- マイクロ波：プラズマ、洗浄、乾燥、キュアー。
- ExB(直交電磁界)プラズマドリフト指向性PVD。
- グローチャージドライエッチング。
- 真空アーク堆積。
- 電子ビーム直接描画リソグラフィ。
- 走査型電子顕微鏡法。
- レーザー：偏光解析法、アニール、スクライブ、トリミング。
- レーザー直接描画CVD。
- MEMS用パルスレーザー切断。
- X線：リソグラフィ、蛍光、回折。
- MOSおよびHMOS(High performance Metal Oxide Semiconductor)トランジスタしきい値制御のための $\gamma$ 線照射。

D. 場によって活性化する(例えば強磁性体)粒子と場を組み合わせて使用する。

- イオン分離およびスパッタリングにおける磁場。
- ポイントカスプ磁気PVD(訳者注：多数の磁場を用いて電子を閉じ込める効果により大面積にわたって均一なプラズマ密度を有する高密度プラズマPVD装置：公開特許H11-283926参照のこと)。

- プラズマ：CVD、レジスト残渣（スカム）の除去、陽極酸化、スパッタエッチング、スプレー。
- イオンビーム：PVD、リソグラフィ、ミリング、スパッタリング、イオンインプランテーション。
- 反応性イオンエッチング。
- イオン化された指向性 PVD。
- MBE（分子線エピタキシー）用の電子銃。
- 電子サイクロトロン共鳴(EGR) プラズマ PVD。

## 原理 29. 空気圧と水圧の利用(Pneumatics and hydraulics/Fluid system)

### A. 物体の固体部分の代わりに気体および液体部分を使用する(例えば、膨張、液体充填、エアクッション、静水圧、流体反応)。

- クリーンルームとフード（訳者注：ガスを排出するために、台状に取り付けた天蓋形の装置）における層流。
- エアシャワー。
- カスケード（縦列）の DI 水。
- 窒素バブルによる DI 水や槽内の液体の攪拌。
- ウェーハ保持用の真空チャック。
- より接触の少ないウェーハハンドリングおよび輸送用の空気あるいは窒素のクッション。
- 浮かせることによる超薄ウェーハの輸送。
- 乾燥用の窒素銃。
- 加熱あるいは冷却ファン。
- 真空脱ガス。
- 真空による取り上げおよび配置。

## 原理 30. 柔軟な殻と薄膜(Flexible shells and thin films/Flexible membranes)

### A. 三次元構造の代わりに柔軟な殻および薄膜を使用する。

- 薄膜誘電体。
- プレーナ Si ウェーハにおける薄膜エピタキシー、酸化、ポリシリコン、メタライゼーションおよび他の層。

### B. 柔軟な殻および薄膜を使用して、物体を外部環境から分離する。

- 薄膜パッシベーション、保護、カプセル封止およびストレス補償層。
- SOL のクッションとして働く高分子化合物で封止されエアギャップ。
- ビニール袋。
- テープ&リール用のカバーテープ。

## 原理 31. 多孔質材料(Porous materials)

### A. 物体を多孔質にするか、多孔質の要素を加える(挿入、コーティングなど)。

- クリーンルームの多段階式の空気フィルター。
- DI 水用の多孔質フィルター。
- 化学薬品用のポリプロピレンおよび活性炭フィルター。
- ウェーハ保持用の多孔質チャック。
- マークキング用の多孔質タンポン。
- 金属で織られたバスケット、樽、ふるい。

- ダイ表面保護用のパリレン、シリコンゲル、高分子化合物の覆い。
- 多孔質の湿度除去物質。
- B. 物質がすでに多孔質の場合には、細孔を使用して有用な物質や機能を導入する。
  - ビアホールや溝の中の洗浄と薬品処理に対する毛細管効果。
  - ソルダーペーストのスクリーン印刷用の金属織物。
  - チップから PCB パッドまで、はんだによって引き寄せる毛細管効果

### 原理 32. 色の変化(Color change/Optical properties change)

- A. 物体あるいはその外部環境の色を変える。
  - ホトリソグラフィ(写真)室の黄色灯。
  - 光学顕微鏡の照明の仕組み。
  - カラーキャナーAOI(Automated Optical Inspection)
  - イメージ処理における加法減法による着色。
  - 偏光顕微鏡。
- B. 物体あるいはその外部環境の透明度を変える。
  - 反射防止膜塗布。
  - フォトマスクの不透明・透明なパターン。
  - 多層膜位置合わせ用の基準(訳者注(市川):プリント基板上などにある、加工工程で基準として用いられるマークなど)、印、マーク。
  - CMOS イメージセンサ用の CSP の透明なカバーガラス基板。
  - 透明なテープ&リール・カバーテープ。
- C. その見え易さを改善するために、有色の添加物や発光元素を使用する。
  - ホトルミネセンス薄膜測定
  - 発光マーキング。
  - 発光ダイオード(LED)表示での蛍光分子。
  - SEM 用の金スパッタリング。

### 原理 33. 均質性(Homogeneity)

- A. 物体を、同じ材料(あるいは同一の特性をもつ材料)の所定の物体と相互作用させる。
  - SiO<sub>2</sub>粒子を含むコロイド混合物によるシリコンウェーハ研磨。
  - Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>砂を含むコロイド混合物によるアルミナ基板研磨。
  - シリコンダイ分離用のシリコンゴム。

### 原理 34. 排除と再生(Discarding and recovering/Rejection and regeneration)

- A. 機能を完了した物体の部分を無くさせる(溶解、蒸発などにより廃棄する)か、あるいは動作中にこれらの部分を直接修正する。
  - レジストの除去。
  - Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub>からなる一時的マスク除去。
  - LOCOS からなる一時的マスクの除去。
  - クリーンルーム処理におけるプロセス、ハンドリングおよび運搬後に行う、厚いウェーハの裏面研磨。
  - 一時的ウェーハキャリアの廃棄。
  - PCB マスキングテープの除去。
- B. その逆に、物体の消耗部分を操作中に直接、回復させる。
  - DI 水の再利用システム。

- 自己研磨する研削刃。

### 原理 35. パラメータの変更 (Parameter change/Changing properties/Transformation of physical and chemical states)

- A. 物体の物理的な状態 (例えば気体、液体あるいは固体へ) を変更する。
  - レジスト、ポリイミド、コーティング層の液体固体の変換。
  - 液体酸素、窒素。
  - 固体拡散源。
- B. 濃度や均一性を変更する。流動学的な液体を使用する。
  - ケイ化物を保護するために薄いシランに曝すこと。
  - 封止接着剤。
  - スクリーン印刷可能なペースト。
- C. 柔軟性の程度を変える。
  - 精密装置用の振動減衰。
  - SOL のクッションとして、高分子化合物封止を備えるエアギャップ。
- D. 温度を変える。
  - PECVD (Plasma Enhanced CVD) において、プラズマの使用によるプロセス温度の低下。
- E. 圧力を変える。
  - 低圧 CVD。
  - PVD、イオンインプラネーション、ドライエッチングでの真空。
  - 高圧 CVD。
  - 高圧酸化。
  - サブ層の応力制御のための、スパッタリングの可変アルゴン圧力 (MEMS)。

### 原理 36. 相変化 (Phase transitions/Use of phase changes)

- A. 相変化の間に生じる現象 (例えば体積の変化、熱の損失や吸収など) を利用する。
  - CZ プロセスにおける液体固体相変化。
  - 酸化、エピタキシー、CVD、PVD、拡散、イオンインプラネーションにおける気体-固体、液体-気体-固体および固体-気体-固体相変化。

### 原理 37. 熱膨張 (Thermal expansion)

- A. 材料の熱膨張 (あるいは収縮) を使う。
  - 可変 MEMS コンデンサの熱膨張駆動。
- B. 熱膨張をすでに利用している場合は、熱膨張係数の異なる複数の材料を使う。
  - 板ばねサーモスタット。
  - バイメタルセンサ。

### 原理 38. 強い酸化剤 (Strong oxidants/Enriched atmosphere/Accelerated oxidation)

- A. 通常の空気を高濃度の酸素を含んだ大気と入れ替える。
  - ウェット酸素によるリコン酸化。
  - ウェット酸素による増殖拡散。
- B. 高濃度の酸素を含んだ空気を純粋な酸素と入れ替える。

- 高圧ドライ酸素によるシリコン酸化。
- C. 空気や酸素に電離放射線を照射する。
- D. イオン化酸素を利用する。
  - 酸素プラズマレジスト残渣（スカム）除去。
  - 陽極アークプラズマ酸化。
  - フォトレジスト除去用のプラズマアッシング（酸素添加  $CF_4$ ）。
- E. オゾン化（またはイオン化）酸素をオゾンと入れ替える。
  - UV オゾンドライ洗浄。
  - リアクティブイオンエッチングにおけるオゾン。

#### 原理 39. 不活性雰囲気 (Inert environment/Inert atmosphere)

- A. 通常な環境を不活性なものに取り替える。
  - クリーンルーム。
  - 脱イオン水。
  - テフロンの治具やカセット。
  - デシケーター。
  - すすぎ用の水の窒素攪拌。
  - 窒素乾燥銃。
  - フォトレジスト露光における窒素雰囲気。
  - ポリイミド露光、乾燥、キュアーにおける窒素雰囲気。
  - ウェーハ保管用のアルゴンあるいは窒素雰囲気。
  - 密封したビニール袋。
- B. 中性な部品や不活性な添加物を物体に加える。
  - マグネトロンスパッタリングにおけるアルゴン。

#### 原理 40. 複合材料 (Composite materials)

- A. 均一材料から複合（複数）材料に変える。
  - シリコンオンインシュレーター (SOI)。
  - シリコンオンサファイア (SOS)。
  - 2 元系金属合金。
  - 無機レジスト - 高分子化合物の 2 層系のリソグラフィ。
  - シリコンオキシナイトライド複合材料誘電体。
  - ゼルゲル誘電体。
  - MOS、HMOS、CMOS 構造。
  - 化合物半導体。
  - ヘテロ構造。

#### 参考文献

1. Domb, E., '40 Inventive Principles With Examples', TRIZ Journal, July 1997.  
 See also: Business Examples: The TRIZ Journal, September 1999  
 Social Examples: The TRIZ Journal, June 2001  
 Architecture Examples: The TRIZ Journal, July 2001  
 Food Technology Examples: The TRIZ Journal, October 2001  
 Software Development Examples: The TRIZ Journal, September and November, 2001

2. 'Sze, S.M., 'VLSI Technology', Bell Laboratories, Inc.
3. 'Semiconductor International': [www.e-insite.net/semiconductor](http://www.e-insite.net/semiconductor).
4. 'Electronic Packaging & Production Professionals': [www.e-insite.net/epp](http://www.e-insite.net/epp).
5. 'Electronic Components News': [www.e-insite.net/ecnmag](http://www.e-insite.net/ecnmag).
6. US 6,144,547, 2000. Miniature surface mount capacitor and method of making same. (対応日本特許 JP2001-523898T)

**著者に関して:**

**Gennady Retseptor** は、1972年に、Moscow Steel and Alloys 大学、半導体材料・デバイス学部から修士 (Sc) 学位を受け取り、USSR (半導体) の 16 年、イスラエル (電子受動部品) の 11 年を含むマイクロエレクトロニクスにおける 27 年の経験がある。彼は 2 件の USSR 特許および 1 件の US 特許を持っている (参照 [6])。

**Gennady Retseptor** は現在 AVX 株式会社の設備、AVX イスラエル有限会社の品質保証のマネージャである。



著作権 1997-2005 The TRIZ Institute <http://www.triz-journal.com> 著作権保有。

以上