

# タグチメソッドを用いたレジスト塗布条件設定の効率化

## Efficient Optimization of Resist Coat Process Using the Taguchi Method

野村 真志\*      大橋 伸之\*  
Masashi Nomura      Nobuyuki Oohashi

### 要 旨

デザインルールが $0.25\mu\text{m}$ 以下の微細半導体デバイスのパターン加工には、KrF エキシマレーザ縮小投影露光装置が用いられる。この KrF エキシマレーザに使用される化学増幅型フォトレジストは非常に高価であり、製造原価低減のために滴下量の削減が課題であった。

フォトレジスト滴下量を単純に減らした場合には膜厚のばらつきが増加してしまうため、新たに条件出しを行う必要がある。従来の条件出し方法では影響する因子を1つずつ最適化する過程を繰り返すため、30～45時間の実験時間が必要であった。これに対して、タグチメソッドを用いた条件出し方法では、L18直交表と要因効果図を利用することで、約10時間で最適条件が得られた。

タグチメソッドを用いることで、評価期間が短縮でき、技術評価の効率化が図れた。また、レジスト塗布の条件出しを行うための合理的な評価方法が確立できた。

### Abstract

We have used the KrF Eximer Laser Stepper that patterning for sub  $0.25\mu\text{m}$  adesign rule device. It is necessary to reduce the usage of Chemically Amplified Resist (CAR) on KrF process, because it is very expensive.

In order to reduce the usage of CAR, we have needed to change resist coat process. Usually we had to experiment 30–45 hours for the best resist coat process, because we optimized each parameter individually. Using the Taguchi Method, We have been able to experiment only 10 hours and have established the reasonable experimentation.

### [キーワード]

タグチメソッド, フォトレジスト, 品質工学, スピンコート

## 1. 緒 言

今日の半導体製造においては、パターンの微細加工を行うために縮小投影露光装置（ステッパ）が欠かせない存在である。デザインルールが $0.25\mu\text{m}$ 以下の半導体デバイスの加工では、光源に KrF（フッ化クリプトン）エキシマレーザ（波長 $\lambda=248\text{nm}$ ）を利用した「エキシマレーザスキャンニングステッパ」が使用されている。KrF エキシマレーザには化学増幅型のフォトレジスト<sup>（用語）</sup>（感光性材料）が使用されており、現在主流である i 線（波長 $\lambda=365\text{nm}$ ）用フォトレジストと比較すると非常に高価である。両者の価格差は約5倍であり、製造原価の低減のために使用量の削減が課題であった。

フォトレジスト（以下、レジストと略す）の塗布は、シリコンウェーハ上にレジストを数 ml 滴下しながらこれを高速で回転させる「スピンコート法」が一般的に使用されている（図1）。スピンコート時のレジスト滴下量、ウェーハの回転数、ウェーハの回転加速度、レジスト温度など、多くの因子の組み合わせを最適化すること（以下、条件出しと呼ぶ）により、ウェーハ面内の膜厚のばらつきを小さくすることができる。

現在、新潟三洋電子の C1 ラインで使用している化学増幅型レジストの滴下量は 8 インチウェーハ 1 枚当たり 1.5ml である。滴下量を削減すると従来の塗布シーケンスではウェーハ面内の膜厚ばらつきが大きく、ばらつきを抑える条件出しにも限界がある。そのため、塗布中に

\*新潟三洋電子株式会社  
Niigata SANYO Electronics Co., Ltd.

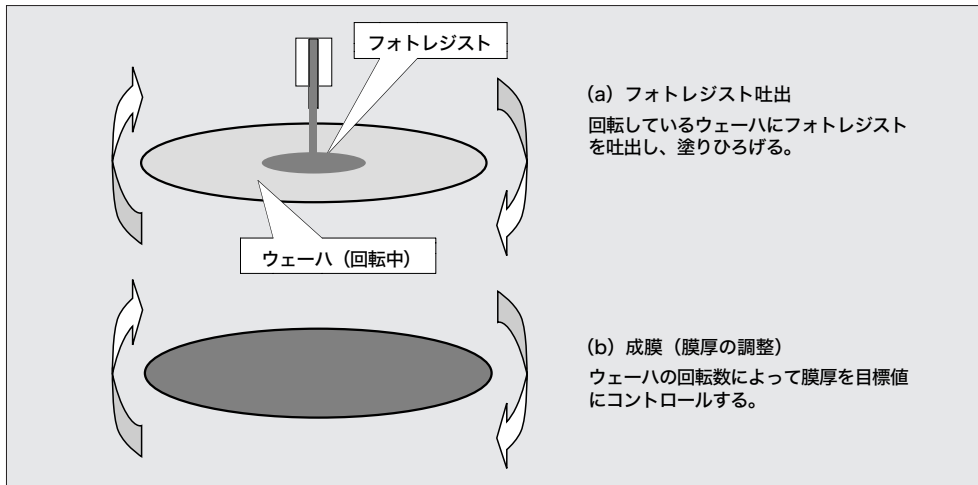


図1 スピンコート法によるレジスト塗布  
Fig. 1 Resist coat by the spin coat method

ウェーハ回転数等を変化させる特殊な「省レジストシーケンス」を導入する必要がある。この「省レジストシーケンス」では滴下量を削減しつつ膜厚ばらつきを少なくできる。しかし、「省レジストシーケンス」の条件出しではシーケンスが複雑になるので、より多くの因子を調整する必要がある。従来はこれら一つずつ順番に調整していたため、1種類のレジスト塗布条件当り30～45時間の実験時間を要した。

今回、タグチメソッド<sup>(用語)</sup>を用いて条件出しを行うことで、大幅な実験時間の短縮ができたので報告する。

## 2. 条件出し方法の比較

図2に条件出し方法の作業手順を示す。図2(a)に示す従来の条件出し方法では、まず滴下量を削減したい目標値に固定する。そして、一つの因子を4から5水準ふってレジスト塗布を行い、その膜厚の面内分布を測定する。レジスト膜厚のばらつきが最も少ない条件を最適な水準として決定する。次に、別の因子に対して同様の実験を行い、これを因子の数だけ繰り返す。それでもばらつきが大きい場合は、滴下量を増やして、また初めから実験していく。この方法では実験回数が20～30回必要で、実験時間も30～45時間かかる。また、1項目ず

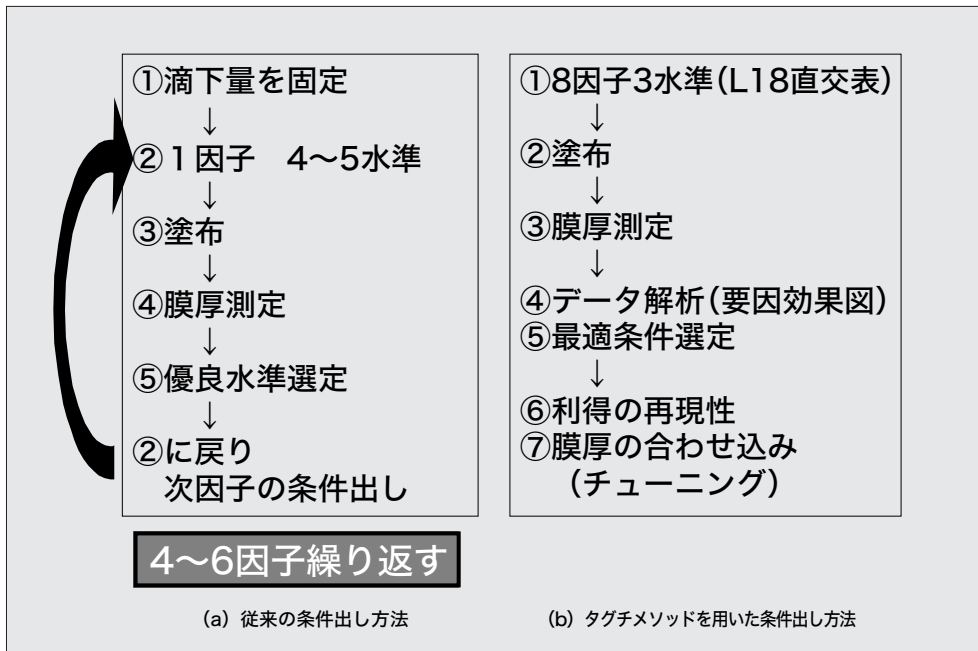


図2 条件出し方法の比較  
Fig. 2 Compare to optimization of a resist coat process

つ条件出しを行うので、因子の組み合わせの中で最適であるかどうかは分からないという問題がある。

これに対し、図2 (b) に示すタグチメソッドでは、直交表を用いて一度に多数の因子を評価できる。L18直交表を用いた場合は、8因子3水準を割り付け、18個の条件を実験する。仮にこれを総当りで組み合わせた場合には4374通りになる。その後、要因効果図<sup>(用語)</sup>を用いたデータ解析によって最適条件を選定する。次に利得<sup>(用語)</sup>の再現性の確認実験を行い、最後に目標膜厚に合わせ込む(タグチメソッドではチューニングと呼ばれる)。従来の方と比較すると、手順が短く実験回数も少ないため短時間で最適条件が得られる。また、直交表を用いることで、全因子に対して最適な条件を得ることができる。

### 3. 実験と結果

#### 3.1 制御因子<sup>(用語)</sup>と誤差因子<sup>(用語)</sup>

各制御因子には従来の条件出しで使っていた6項目に新しい項目を6項目追加した。これらは技術的・物理的には影響が予想されるが、従来の方法では実験時間の制約のため確認できなかったものである。この合計12の因子を2回に分けてL18直交表に割り付けた(表1)。各水準の値は過去の条件出しデータと装置性能の限界を考慮して決定した。「予測できる全範囲を網羅するように水準の値は大きく取る」というタグチメソッドの考え方にに基づき、できる限り範囲を大きくした。誤差因子にはウェーハ面内の膜厚測定ポイントの膜厚ばらつきを使

表1 制御因子と水準  
Table 1 Control factors and levels

(a) 1回目のL18実験の制御因子と水準

	制御因子	水準		
		1	2	3
A	加速度A	低	標準	長
B	時間A	短	標準	長
C	回転数A	小	標準	大
D	温度A	小	標準	大
E	条件A	小	標準	大
F	滴下量	0.5	0.8	1.5
G	時間B	標準	長1	長2
H	時間C	短	標準	長

(b) 2回目のL18実験の制御因子と水準

	制御因子	水準		
		1	2	3
A	加速度A	低	標準	高
H	時間C	短	標準	長
I	加速度B	低	標準	高
J	温度B	低	標準	高
K	回転数B	小	標準	大
L	加速度C	低	標準	高

用した。

表1に対するL18直交表を表2に示す。この表にしたがって各水準を割り付け、18×2通りの実験を行った。

#### 3.2 実験結果の解析(要因効果図)

図3 (a) 及び (b) にそれぞれ実験1回目と2回目の要因効果図を示す。図の縦軸はSN比を示し、横軸は各制御因子の項目を示している。SN比とはばらつきの指標で、この数字の大きいほどばらつきが少ないことを意味する。例えば、図3 (a) の右から3番目制御因子Fの「滴下量」では、水準1の「0.5ml」のばらつきが多く、水準3の「1.5ml」のばらつきが一番少ないことが分かる。また、SN比の落差が大きいことから、これは他の

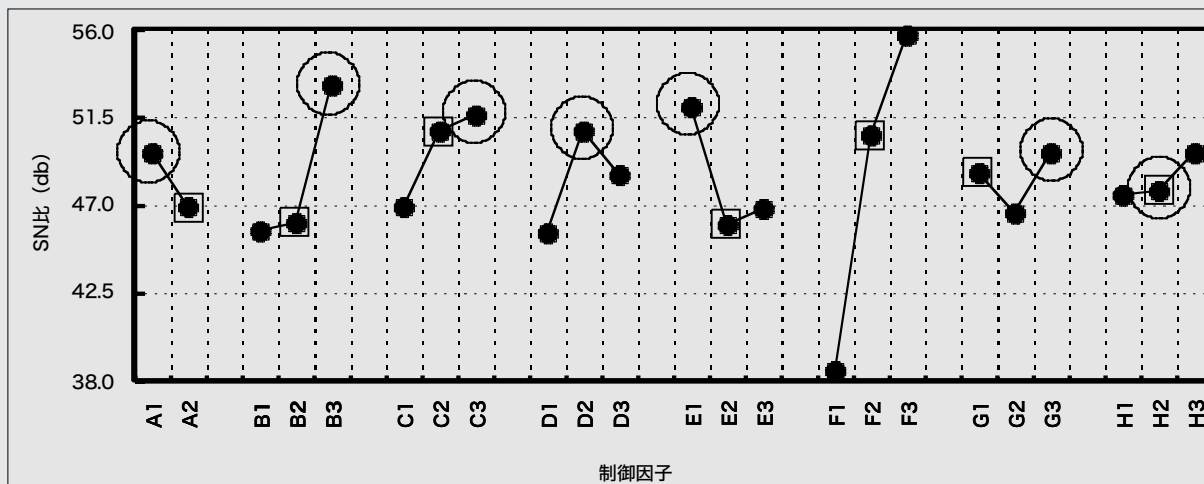
表2 L18直交表  
Table 2 L18 orthogonal arrays

(a) 1回目の実験のL18直交表

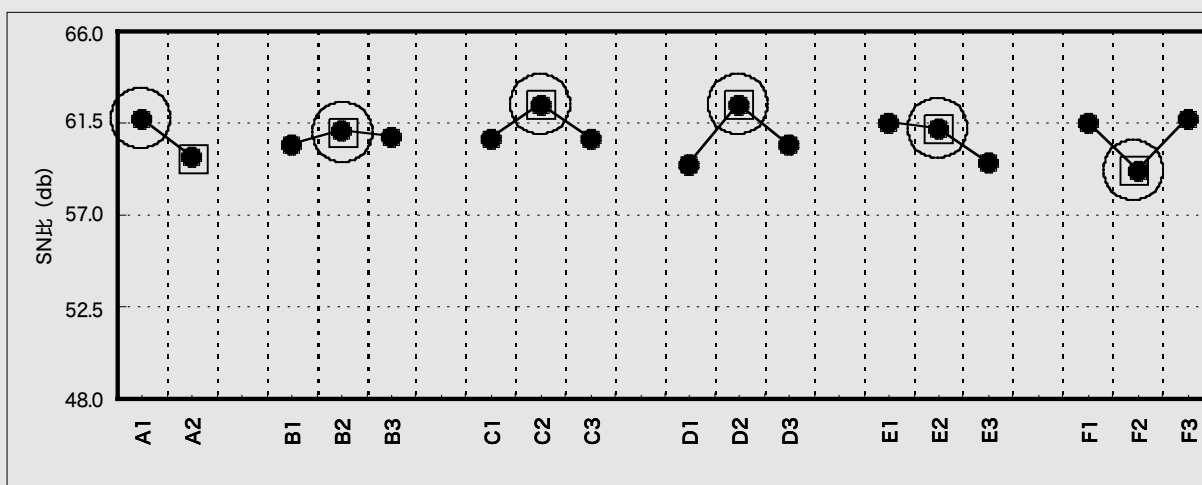
制御因子 実験条件	A	B	C	D	E	F	G	H
1	1	1	1	1	1	1	1	1
2	1	1	2	2	2	2	2	2
3	1	1	3	3	3	3	3	3
4	1	2	1	1	2	2	3	3
5	1	2	2	2	3	3	1	1
6	1	2	3	3	1	1	2	2
7	1	3	1	2	1	3	2	3
8	1	3	2	3	2	1	3	1
9	1	3	3	1	3	2	1	2
10	2	1	1	3	3	2	2	1
11	2	1	2	1	1	3	3	2
12	2	1	3	2	2	1	1	3
13	2	2	1	2	3	1	3	2
14	2	2	2	3	1	2	1	3
15	2	2	3	1	2	3	2	1
16	2	3	1	3	2	3	1	2
17	2	3	2	1	3	1	2	3
18	2	3	3	2	1	2	3	1

(b) 2回目の実験のL18直交表

制御因子 実験条件	A	H	I	J	K	L	e	e
1	1	1	1	1	1	1	1	1
2	1	1	2	2	2	2	2	2
3	1	1	3	3	3	3	3	3
4	1	2	1	1	2	2	3	3
5	1	2	2	2	3	3	1	1
6	1	2	3	3	1	1	2	2
7	1	3	1	2	1	3	2	3
8	1	3	2	3	2	1	3	1
9	1	3	3	1	3	2	1	2
10	2	1	1	3	3	2	2	1
11	2	1	2	1	1	3	3	2
12	2	1	3	2	2	1	1	3
13	2	2	1	2	3	1	3	2
14	2	2	2	3	1	2	1	3
15	2	2	3	1	2	3	2	1
16	2	3	1	3	2	3	1	2
17	2	3	2	1	3	1	2	3
18	2	3	3	2	1	2	3	1



(a) 1回目の実験の要因効果図



(b) 2回目の実験の要因効果図

□ 標準条件      ○ 最適条件

図3 要因効果図  
Fig. 3 Factor effect plot

項目よりもばらつきに対する影響度が大きいことを意味している。今回の実験によって、5因子について標準条件よりもSN比の高い条件が見つかった。

表3に各制御因子が膜厚ばらつきに与える影響度合いを示す。従来の評価項目6因子はすべて影響することが再確認できた。更に新しい評価項目のうち、ばらつきに影響する因子を2つ見つけることができた。

今回の塗布シーケンス変更の目的は膜厚ばらつきを

増加させることなくレジスト滴下量を削減することである。図3に示すように滴下量を削減するとSN比は下がる方向である。しかし、他の因子でSN比を上げることで従来よりSN比を維持しつつ滴下量を削減することができる。

### 3.3 最適条件の選択と確認実験

図3に示したように、SN比はそれぞれの各制御因子の項目ごとに計算できる。更に、タグチメソッドでは各

表3 各制御因子のばらつき影響度

Table 3 Influence of each control factors upon the uniformity

	制御因子	ばらつき影響度	変更
従来の評価項目	F	滴下量	◎
	B	時間A	○
	E	条件A	○
	C	回転数A	○
	D	温度A	○
	J	温度B	○
新しい評価項目	A	加速度A	○
	L	加速度C	○
	I	加速度B	△
	K	回転数B	×
	G	時間B	×
	H	時間C	×

◎：影響度大，○：影響度中，△：影響度少，×：影響度無し

表4 最適条件の推定

Table 4 Estimation of optimal assortment of control factors

条件	制御因子の組合せ	実測値
現状条件(0.5ml)	従来の塗布シーケンス	62.78

単位 (db)

条件	制御因子の組合せ	推定値
最適条件(0.5ml)	A1B3C3D2E1F1G3H2	52.90
最適条件(0.8ml)	A1B3C3D2E1F2G3H2	65.02
最適条件(1.5ml)	A1B3C3D2E1F3G3H2	70.13

単位 (db)

制御因子を組み合わせた条件ごとにSN比を計算し、実験を行わずに結果を推定することができる。

図3の要因効果図より、滴下量以外の因子を最適条件にする。その条件下で滴下量を0.5, 0.8, 1.5mlにした場合の推定値を表4に示す。滴下量を0.5mlにした場合、現状のSN比63dbに達しないことが分かる。0.8mlでは現状並のSN比65dbが得られると推定される。よって、滴下量には0.8mlを採用した。また仮にばらつき改善を目的とした場合、滴下量を現状と同じ1.5mlにすると70dbになり、標準偏差で現状の半分以下になると推定される。

上記の推定に対する確認実験として省レジストの標準条件と最適条件で利得の再現性を調べた。この結果を表5に示す。推定値と実測値、それぞれのSN比の差が、

表5 利得再現性

Table 5 Corresponding gain

条件	制御因子の組合せ	推定値	実測値
省レジスト標準条件	A2B2C2D2E2F2G1H2	46.64	47.90
最適条件(0.8ml)	A1B3C3D2E1F2G3H2	65.02	64.33
利得		18.38	16.43

単位 (db)

利得の再現性の判断基準：±30%≧10.6%

表6 まとめ

Table 6 Conclusions

		従来の方法	タグチメソッド
①	実験時間 (h)	30~45	10
	実験回数 (回)	20~30	3
	実験枚数 (枚)	200~300	38
②	評価項目	4~6	12
③	膜厚の面内ばらつき (%)	±0.13	±0.12
	レジスト削減率 (%)	47	47

10.6%であった。タグチメソッドでは利得の再現性が30%以内であれば、実験の各種設定(制御因子、誤差因子等)と実験の確かさ(制御因子間の交互作用の有無)が妥当であると判断される。よって、この実験は妥当であると判断できる。

### 3.4 実験結果のまとめ

タグチメソッドを用いた成果を表6に示す。内容は以下の3点である。①条件出し期間の短縮ができた。実験時間は30~45時間かかっていたところが、10時間に短縮された。実験回数も20~30回であったところが、L18実験2回と確認実験の合計3回のみであった。②実験時間の制約のため従来は確認できなかった項目も評価できた。それらのうち、ばらつきに影響する2つの制御因子を新たに発見できた。③膜厚の面内ばらつき(品質)は現状を維持しつつレジストを削減できた。

## 4. 結言

タグチメソッドを用いて条件出しを行うことで、大幅な実験時間の短縮ができた。タグチメソッドを用いた条件出しは、技術評価の効率化に非常に有効であった。今後はレジスト塗布条件出しについてこの方法を標準化して、効率的に技術評価を行っていく。

最後に今回の実験にあたり多大なるご指導ご協力をいただいた関係各位に深く感謝する。

## 用語解説

### ◆化学増幅型レジスト

光によって酸発生剤から酸を発生し、この酸を触媒として露光後の加熱によって分解反応を行うタイプのフォトリソレジスト。酸により分解された部分は現像液(アルカリ性)に可溶になり、パターンが形成される。1個の光量子で発生した酸が多数の化学反応(化学増幅反応)を引き起こすため、高感度である。

### ◆タグチメソッド(品質工学)

田口玄一博士が考案された技術開発のための方法論。米国では、「タグチメソッド」「ロバストデザイン」とし

て広く普及している。商品化プロセスの上流段階（R & D、設計開発など）において、ノイズに強い技術や設計を効率的に行うための手法。

#### ◆制御因子

タグチメソッドで用いられる用語で、設計者がコントロールできる条件。ここでは、装置に入力できるプロセス設定値である。製品の開発の場合では、設計因子とも呼ばれる。

#### ◆誤差因子

タグチメソッドで用いられる用語で、環境、劣化、及び部品のばらつきなど設計者がコントロールできない条件。ノイズとも呼ばれる。

#### ◆要因効果図

タグチメソッドで用いられる図で、各制御因子の各水準に対する SN 比の平均を図に表したものの。(例：表 2 の制御因子 A の水準 1 では実験条件 1～9 の SN 比を計算し、平均したもの。)

#### ◆利得

タグチメソッドで用いられる用語で、最適条件と標準条件（現状条件の場合もある）との SN 比の差であり、条件が安定した（改善された）量を数値で表したものの。実験の確かさを調べるときの指標にも使われる。

## 著者紹介



ノムラ マサシ  
野村 真志 1998年入社。半導体前工程のプロセス技術のフォトリソグラフィー担当業務に従事。現在、新潟三洋電子株式会社 生産技術部 プロセス技術三課に勤務。



オオハシ ノブユキ  
大橋 伸之 1993年入社。半導体前工程のプロセス技術のエッチング及びフォトリソグラフィー担当業務に従事。現在、新潟三洋電子株式会社 生産技術部 プロセス技術三課主任技術員。