

130nm ノード用 KrF エキシマレジスト「GKR シリーズ」の開発

河邊 保雅*, 丹 史郎*, 漢那 慎一*, 児玉 邦彦*,
藤森 亨*, 西山 文之*, 百田 淳*, 山中 司*

Development of “GKR Series”, KrF Excimer Resists for 130nm Node

Yasumasa KAWABE*, Shiro TAN*, Shinichi KANNA*,
Kunihiko KODAMA*, Toru FUJIMORI*, Fumiyuki NISHIYAMA*,
Makoto MOMOTA*, and Tsukasa YAMANAKA*

Abstract

We have developed KrF-excimer resists named “GKR Series” targeting the 130nm-node lithography. The imaging performance and dry-etching resistance of the resist made with a “bulky acetal”-functionalized polymer were superior to those made with acetal polymers or “ESCAP” polymers having been used conventionally in other resists. In this paper, we will describe this polymer technology and features of the new resist.

1. はじめに

半導体デバイス製造における KrF エキシマリソグラフィは 250nm ノードから始まり, 現在 130nm ノードへの適用が検討されている。

これはデバイスの集積度で言うと, 1 ギガビットの DRAM に相当する。つい一年程前までは, 130nm ノードでは ArF エキシマリソグラフィが主流になると見られていた。しかし, 昨今における KrF 露光技術, マスク技術などの長足の進歩によって, 130nm ノードの露光技術は KrF が既定路線となった。KrF エキシマリソグラフィでは化学増幅型ポジレジストが用いられているが, このレジスト材料の進歩もまた微細化を担う重要な要素の一つである。とりわけ, 露光波長 (248nm) の約半分の寸法を加工する 130nm ノードでは, 従来にない高性能なレジスト材料が要求された。本報告では, この 130nm ノードに向け開発した KrF エキシマレジスト「GKR シリーズ」の技術内容とその特長について述べる。

2. 化学増幅型ポジレジストの構成成分

これまで KrF エキシマレジストには, 2 成分系化学増幅型ポジレジストが主に使用されてきた。2 成分系化学増幅レジストは, 酸分解性ポリマーと光酸発生剤により

構成される。酸分解性ポリマーは, ポリ(p-ヒドロキシ)スチレンを幹ポリマーに用いた, いわゆる“エチルアセタール系”ポリマー(ポリ(p-1-エトキシエトキシスチレン系))と t-ブチルアクリレートを共重合した“ESCAP 系”ポリマーが一般的に用いられてきた (Fig. 1)。いずれもポリマーの水酸基, あるいはカルボン酸基の一部を他の基で保護して, これをアルカリ不溶性にしたものである。これらの保護基は触媒量の酸の存在下で素早く分解し, そのポリマーをアルカリ可溶性に変える。露光部で選択的に酸を発生させることにより脱保護反応が誘起され, 最終的にそこがアルカリ可溶性に変わって画像が形成される。酸発生剤としては, トリフェニルスルホニウム塩などのオニウム塩などがよく用いられる。

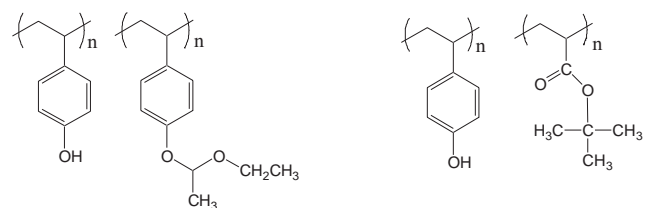


Fig. 1 (a) “Ethyl-acetal” polymer. Fig. 1 (b) “ESCAP” polymer.

3. 「GKR シリーズ」の技術と特長

「GKR シリーズ」は 2 成分系化学増幅型レジストであり, 新規なアセタールポリマー, “バルキアセタール”をそのキー技術に用いて開発された。130nm ノードのリソグラフィを可能にする高い解像力に加え, 高いドライエッチング耐性, 線幅の面内均一性, 良好なラインエッジラフネスや画像の粗密依存性といった特長を有する。以下, これらを詳述する。

本誌投稿論文 (受理 2001 年 10 月 26 日)

* 富士写真フイルム (株) 吉田南工場研究部
〒 421-0396 静岡県榛原郡吉田町川尻 4000

* Research Dept., Yoshida-Minami Factory
Fuji Photo Film Co., Ltd.
Haibara-gun, Shizuoka 421-0396, Japan

3.1 新規なアセタールポリマー開発

レジストの基本性能として最も重要なものは言うまでもなく解像力である。高解像力を得るにはレジストの溶解コントラストを高めれば良いことがよく知られている。レジストの溶解コントラストを高めるにはポリマーの保護率を上げれば良いが、そうすると現像欠陥や孤立ラインパターンの画像性能劣化という問題が生じる。エチルアセタール系ポリマーでは、保護率を高めなければ十分な溶解コントラストが得られない。われわれはアセタール系ポリマーの特長を生かしたまま上記欠点を克服するためのポリマー設計を検討し、“バルキーアセタール”技術に到達した。バルキーアセタールポリマーは低保護であっても高い溶解コントラストが得られるように、保護基の体積を大きくすることにより (Fig. 2)¹⁾⁻⁽⁴⁾高保護と同じ効果を実現した (Fig. 3) ことが特長である。

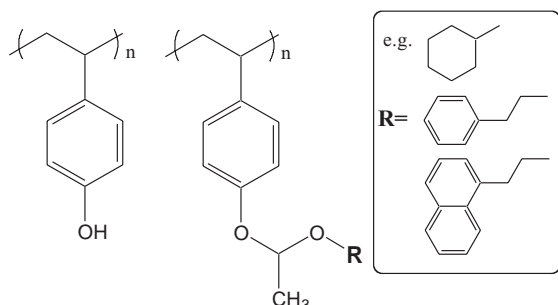


Fig. 2 New “bulky acetal polymers”.

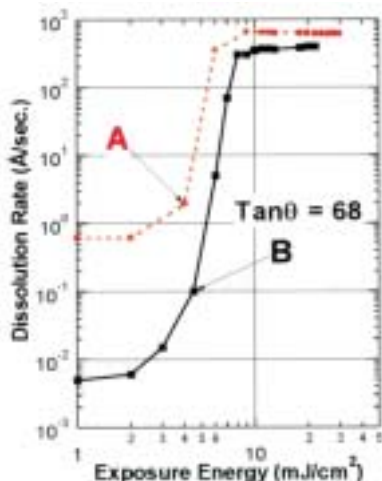


Fig. 3 Example of the dissolution contrast curve for a bulky acetal-based resist.
(A : Ethyl acetal-based resist, B : Bulky acetal-based resist)

3.2 ドライエッチング耐性

バルキーアセタールポリマーは、高いドライエッチング耐性をもたらすという特長も有する。従来型の酸分解ポリマーより高いガラス転移温度を有し、さらにその構造上、炭素密度を高めることができるためである。Fig. 4は、2種のバルキーアセタールポリマーとエチルアセタールポリマー、2種の ESCAP ポリマーを用いた各レジストの相対ドライエッチング速度を、i線レジストを

基準として比較したものである。バルキーアセタールポリマーは他のポリマー系に比較してドライエッチング耐性が優れていることがわかる。従来、アセタール系のレジストはドライエッチング耐性が一つの弱点であると言われてきたが、バルキーアセタールはこれを覆すものである。

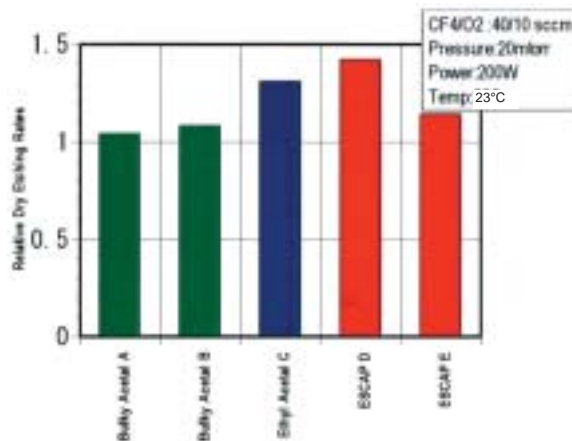


Fig. 4 Improved dry-etching resistance of bulky acetal polymers.

3.3 線幅の面内均一性

Fig. 5はNAが0.73のスクャナーを使って、8インチウエファー上に形成した120nmのライン&スペースパターンの線幅均一性を調べたものである。バルキーアセタールをベースとしたレジスト「GKR-5211A」は、線幅の面内均一性が良好で、ばらつきの3σがわずかに4.6nmである。これに対し、ESCAP系のレジストでは約14nmで、特にウエファー周辺部で線幅が太くなる傾向が見られる。このような差は、露光後に脱保護反応を進行させるために行うベーク工程の温度バラツキによってもたらされたものと思われる。ESCAP系はアセタール系に比して脱保護反応の活性化エネルギーが高いため、ベーク温度への依存性が大きくなるが、ホットプレートの温度分布のバラツキは完全にゼロにはできないためである。130nmノードでは、このようにプロセスの僅かな変動要素に対しても、結果が大きな影響を受けないような材料設計が求められる。

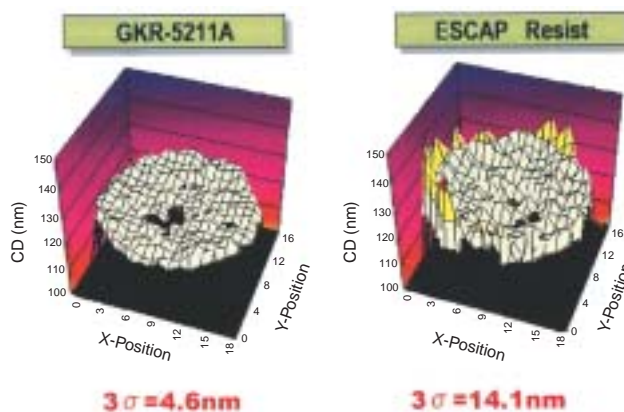


Fig. 5 120nm L&S CD uniformity on 8 inch wafer.

3.4 ラインエッジラフネス

130nm ゲート工用のレジストには、プロセスマージンを拡大する⁵⁾ために、薄膜レジストが一般的に用いられる。ところが、レジスト薄膜化に伴いラインエッジラフネス(LER)が増大する⁶⁾。LERを低減するには、クエンチャー濃度を高める⁷⁾、溶解インヒビターを添加する⁸⁾、アンモニウム塩を添加する⁹⁾、解像力を高める¹⁰⁾などの技術がこれまで報告されている。われわれは LERを低減するためのレジスト処方設計指針探索⁴⁾を行なったところ、解像力を高めること、ポリマーの分散度を下げること、ポリマーのアルカリ溶解速度をコントロールすること、光酸発生剤の酸拡散長をコントロールすることなどが有効であることがわかった。これらの知見に基づき、GKRシリーズではパターンエッジ変動の3 値でわずか5nm という LERを実現した(Fig. 6, 7)。

	Experimental Resist A	Experimental Resist B
LER	8.2nm (3 σ)	4.9nm (3 σ)
Polymer	Mw/Mn3.4 Mw10000	<i>Mw/Mn1.2</i> <i>Mw 12,000</i>
PAG Loading	2%	<i>4%</i>

Fig. 6 Result of LER improvement.

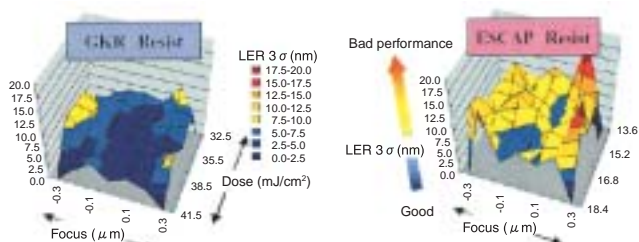


Fig. 7 Line edge roughness of L&S patterns.

3.5 疎密依存性

パターンの疎密依存性(ピッチ依存性および Iso/Dense Bias)は主に光学要因(NA, ,ターゲットサイズ)により生じ、レジスト薄膜化は疎密依存性の改良にも有効である(Fig. 7)⁵⁾。

150nm ノード以降のリソグラフィでは、変形照明などの超解像露光法の適用が一般的である。しかし、この方法を適用すると、パターンの粗密依存性がより大きな問題になる。すなわち、このような露光法により密パターンのDOFは大幅に拡大できるものの、孤立パターンのDOFはむしろ劣化してしまう。このため、特に不規則な回路パターンの多いロジック系デバイスの用途では、孤立ラインでの特性がリソグラフィ性能のボトルネック

になる場合が多い。孤立ライン性能を良くするには溶解コントラストを小さくすればよいが、そうすると密パターンの解像力とLERが悪化する。これらを両立するのは容易ではないが、最適なレジスト素材設計によって、ある程度、この問題を緩和できた。以下、その設計技術の考え方について述べる。

ポリマー設計としてはまず、孤立ラインや Semi-dense ラインに合わせて溶解特性を最適化することが重要である。これは、たとえば、保護率の調整や酸で分解しないような成分を導入して行う(Fig. 8)。また、発生酸の拡散長を抑制すると Iso/Dense Bias が改善できる⁴⁾。これには、発生酸のサイズを大きくしマトリックス中で動きにくくすること、また、レジストマトリックスのフリーボリュームを小さくしたり、ポリマーの剛性を高めることが有効である。

また、バッキング温度などのリソグラフィプロセスも疎密依存性に大きく影響を及ぼすため、プロセス条件の最適化が重要である。

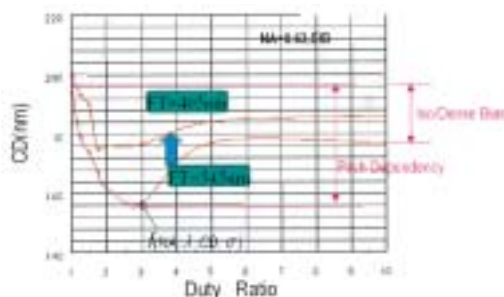


Fig. 8 Example of the resist technology to overcome the optical proximity effect.

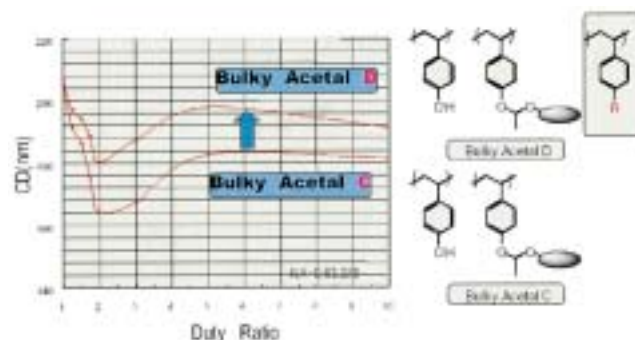


Fig. 9 Example of pitch-dependency improvement by resist composition.

3.6 GKR シリーズの画像性能

130nm ノード用 KrF レジストの性能例を以下に示す(Fig. 10)。GKR-5113は Line & Space パターン用として開発したレジストであり、露光条件 NA=0.73, 2/3 輪帯照明で 120nm の Line & Space パターンで 0.60 μm 以上のフォーカスマージンが確保できる。



Fig. 10 DOF of GKR-5113 for 120nm Line & Space.

4. まとめ

われわれは新規なバルキーアセタールポリマーを適用したKrFエキシマレジスト「GKRシリーズ」を開発した。「GKRシリーズ」は、従来のアセタールポリマーの特長を生かしたまま、欠点とされていたドライエッチング耐性を大幅に改良した点が特長である。

「GKRシリーズ」は、また、ラインエッジラフネスや疎密依存性にも優れ、130nmノードKrFエキシマレジスト用として十分な高い解像力を実現した。この「GKRシリーズ」は、電子線レジストへの応用など、今後、幅広い活用が期待される。

参考文献

- 1) E. Kawamura et al. 130nm KrF Lithography for DRAM Production with 0.68-NA Scanner. Proc. SPIE. 400, 927 (2000).
- 2) S. Malik et al. Recent Advances in Acetal-Based DUV Resists. J. Photopolym. Sci. Tech. 12 (4), 591 (1999).
- 3) T. Fujimori et al. Structural design of a new class of acetal polymer for DUV resists. Proc. SPIE. 3999, 579 (2000).
- 4) 河邊. 130nmノード用KrFレジストの現況報告. Fujifilm Olin Technical Seminar (2000).
- 5) 池田ら. Electronic J. 13th Technical Symp. 98.
- 6) M. Watanabe et al. J. Photopolym. Sci. Tech. 12 (4), 643 (1999).
- 7) E. Shiobara et al. Proc. SPIE. 3333, 313 (1998).
- 8) T. Azuma et al. J. Vac. Sci. Technol. B. 15 (6), 2434 (1997).
- 9) S. Masuda et al. Proc. SPIE. 3999, 252 (2000).
- 10) T. Azuma et al. Proc. SPIE. 3999, 264 (2000).