

ArF液浸用トップコート材料

Topcoat Material for ArF Immersion

電子材料事業部 電子材料部

Electronics Materials Division, Electronics Materials Department

1 はじめに

半導体メーカーは微細化による高集積化，高性能化，低コスト化の実現が競争力強化に繋がることから，競って微細加工技術の開発を進めてきた．微細加工技術においてフォトリソグラフィはその鍵を握る技術である．そこでは露光光源を短波長化することでより微細なパターンの形成を可能にしてきた．フォトレジストを含むリソグラフィ材料の開発はこの光源の変遷に対応すべく行われてきた(図1)．

近年，ArF液浸リソグラフィという新しい露光技術が開発，実用化され，最先端のLSIメーカーの中にはこの技術で量産を開始したところも出てきた．

液浸リソグラフィとは，従来の光源の短波長化による微細化と異なり，投影レンズ/ウェハ間の空間を空気より屈折率の高い純水(波長193nmにおける屈折率は1.44)で満た

すことで，大口径の光学系を可能にし，微細化を達成する技術である(図2)．すでにレンズ開口数(NA)が1.35のArF液浸露光機が製品化されており，40nm以下のパターン形成が可能であることが確認されている．

本報では，液浸リソグラフィ向け材料における課題と，この新技术向けに開発したArF液浸用トップコート材料について紹介する．

2 液浸用リソ材料における課題と対策

液浸技術ではフォトレジストと純水が接することでさまざまな問題が起こる．液浸用レジストに求められる特性を図3に示す．微細化に伴う解像性能の向上やLWR(Line Width Roughness:レジストパターンの幅のバラツキ)の低減などに加え，液浸特有の要求として，レジストへの純水の進入

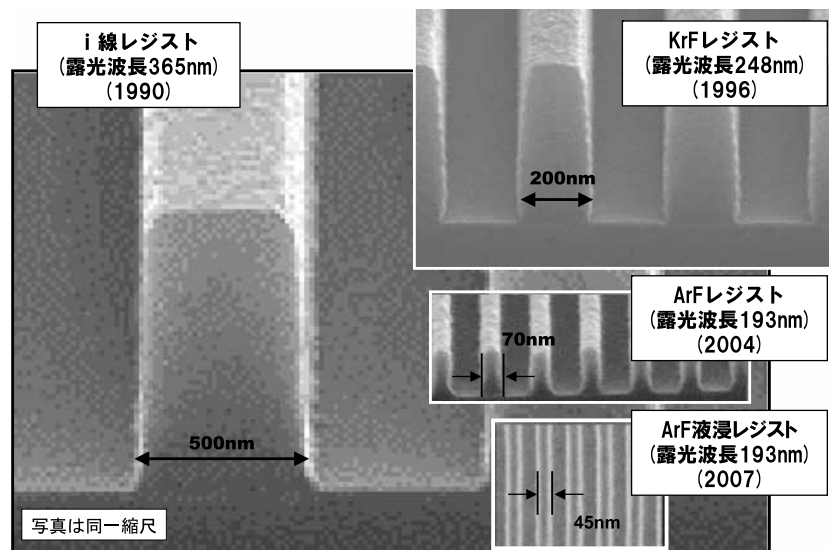


図1 各世代のレジストのSEM写真

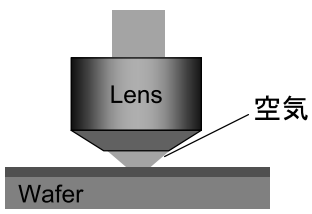
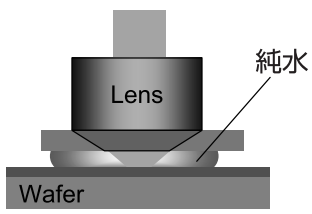
ドライ露光装置(従来)	液浸露光装置
	
<ul style="list-style-type: none"> ➢ レンズ/ウェハー間は空気($n=1.00$) ➢ 最大NAは0.93まで ➢ 65nmノード(hp90nm)まで対応 	<ul style="list-style-type: none"> ➢ レンズ/ウェハー間は純水($n=1.44$) ➢ 最大NAは1.35まで可能 ➢ 45nmノード(hp65nm)~22nmノード(hp32nm)に対応 ➢ 液浸専用設計のためドライ露光はできない

図2 ドライ露光と液浸露光の比較

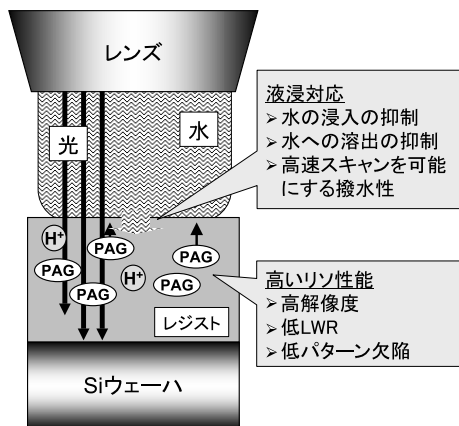
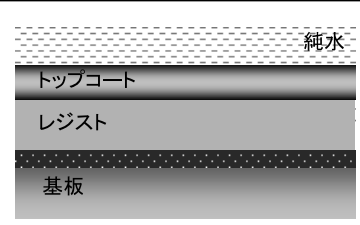



図3 液浸レジストの設計コンセプト

やPAG(光酸発生剤)などレジスト成分の純水中への溶出防止、高い表面撥水性などの対応が必要となる。純水へのレジスト成分溶出はレジスト性能(特に形状)への悪影響はもとより、溶出したものが露光機汚染につながることから厳しく規制されている。また、ウェハ露光はスキャン方式で行なわれるため純水がウェハの上をスムーズに移動できるようにレジスト表面は高い撥水性を有する必要がある。

これらの解決法として2つの考えが提案されている。ひとつはレジスト表面を液浸用トップコート材により保護する方法、もうひとつは溶出や撥水性の問題をクリアした液浸対応レジストの開発である。通常、トップコート材を使う場合をトップコートプロセス、液浸対応レジストを用いる場合をノントップコートプロセスと呼ぶ。両者の比較を表1に示す。従来のArFレジストがそのまま使えることからトップコートプロセスが開発・量産化の面で先行し、現在LSIの量産に適用されている。

表1 トップコートプロセスとノントップコートプロセスの比較

トップコートプロセス	ノントップコートプロセス
	
<ul style="list-style-type: none"> ➢ 溶出抑制、高撥水性を上層膜が受け持つ。 ➢ ドライ用のレジストがそのまま使えるなど、レジスト設計の自由度が増す。 ➢ 工程が増えるためコスト増となる。 	<ul style="list-style-type: none"> ➢ 低溶出、高撥水性を持つ専用レジストの材料開発が必要。 ➢ レジストごとに装置適性を調べる必要あり。 ➢ 工程が増えないため比較的低コストになる。

3 液浸用トップコート材料に求められる要求特性
液浸用トップコート材料に求められる要求性能とその目的を表2に示す。

レジスト成分の溶出防止能や表面撥水性の他に、レジスト現像時に剥離できるようアルカリ現像液に対する十分な溶解性を持つことや、塗布時にレジスト膜に対してダメージを与えないことなどが実用性能として重要である。

特にアルカリ溶解性と表面撥水性とは一般にトレードオフ

表2 現像液可溶トップコート材料に求められる要求性能

要求性能	目的
水を透過しない	・レジストへの水しみ込み防止 ・純水へのレジスト成分溶出防止
高い表面撥水性	・スキャン露光時の安定動作 ・ウォーターマーク欠陥の抑制
アルカリ現像液に可溶	・レジスト現像時に同時に剥離
高透明性	・光学イメージを崩さない
レジストへのダメージフリー	・レジストのリソ性能を損なわない ・多様なArFレジストとマッチングする

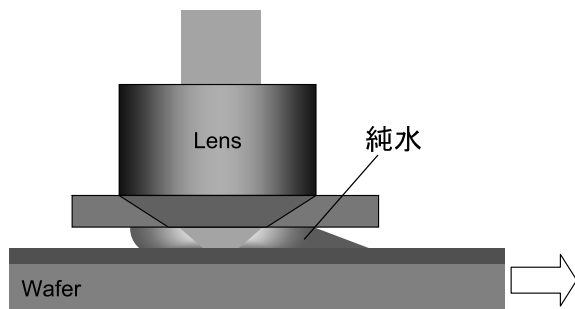


図4 液浸露光機のスキャン露光時の水の動き
ウェハーに引きずられ水が長く引き出される。このとき末端がちぎれて水滴となるとウェハー上にウォーターマークとして残る。

の関係にあり、両者のバランス点を高い位置に持っていくことが要求される。

また液浸露光機内ではトップコート上の純水は前後左右へ動かされるため、ダイナミックな撥水性の指標として動的接触角が用いられる(図4)。水膜通過後の水滴残りがパターン欠陥(ウォーターマーク欠陥)として嫌われるため、特に後退接触角の高い材料が好ましい。

4 JSRの液浸用トップコート材料の特徴

JSRの液浸用トップコート材料「TCXシリーズ」は、特別なアルカリ可溶性ポリマーとアルコール溶剤によって構成される。

前述のようにトップコート膜にはアルカリ溶解性と撥水性のトレードオフを打破する必要があった。JSRでは他に類を見ないユニークな構造のアルカリ可溶性モノマーを使用することで、高い撥水性を持ちながらアルカリ現像液に速やかに溶解するポリマーの開発に成功した。図5に本ポリマーを用いた液浸トップコート材料の(a)撥水性(後退接触角)と(b)溶出抑制能を示す。トップコート膜表面の後退接触角は69度と液浸露光機で使うのに十分な撥水性を持つ。PAGの溶出量も1/100以下に低減され露光機スペックをクリアする。さらにアルコール溶剤の選択で多様なArFレジストに対してダメージフリーな液浸用トップコート材料に仕上げている。液浸対応性能の高さと共にこの汎用性の広さがデバイスメーカーから高い評価を得て、非常に多くの採用を勝ち取ることができた。

図6にTCXシリーズを使って液浸露光した結果を、図7に欠陥評価の結果を示す。50nmL/Sパターンで広いフォーカスマージンを確保すると共に、懸念されたウォーターマークなどの液浸起因欠陥のない、良好な結果が得られている。

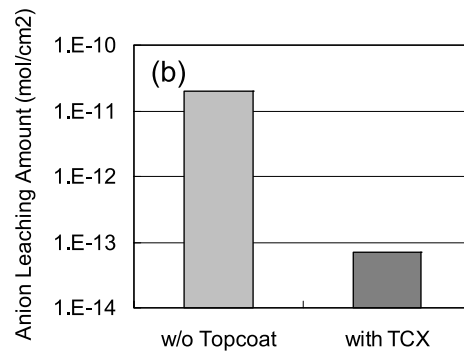
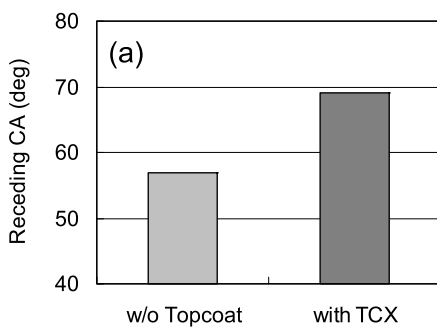
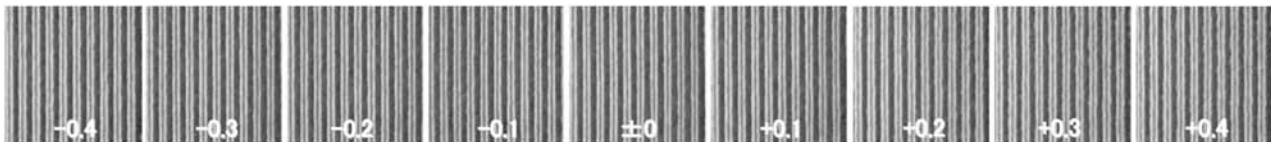


図5 液浸用トップコート「TCXシリーズ」の性能
(a) 後退接触角, (b) レジスト感光剤(PAG)の純水への溶出量



Substrate : Org.BARC
 Resist : JSR AIM series
 Top Coat : JSR TCX series
 Exposure tool : Nikon S609B
 NA=1.07 / Dipole
 Pattern Size : 50nmLS

図6 液浸露光機での50nmLSのフォーカス依存性評価結果
 液浸用トップコート「TCXシリーズ」を使用

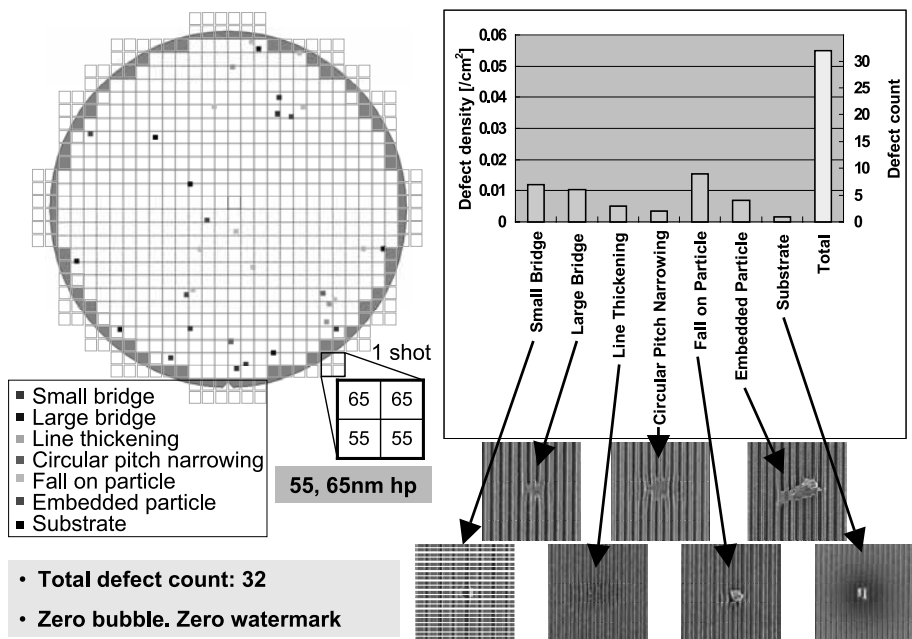


図7 液浸露光機での欠陥評価結果
 液浸用トップコート「TCXシリーズ」を使用

5 まとめ

本報では液浸用トップコートの要求特性とJSRが開発したArF液浸用トップコート材料「TCXシリーズ」の特長について説明した。

当初トップコートプロセスは、液浸対応レジストを使ったノトップコートプロセスが登場するまでの一時的なソリューションと見られていた。しかし、ノトップコートプロセスの立ち上げには幾多の技術障壁が存在し簡単に置き換えが進む状況にはない。ゆえに引き続き多くのユーザーでトップコートが使用されると考えており、ユーザー要求も高度化し

ている。例えば、液浸露光機はスループット向上のためにスキャン速度が年々高速化しており、より撥水性の高い材料が求められている。トップコート材料の場合アルカリ可溶性とのトレードオフとなりハードルは高いが、改良研究が開発グループにて進められている。

JSRは今回紹介したArF液浸用トップコート材料の他にも、液浸対応レジストや塗布型ハードマスク材料などレジストを中心とした液浸リソグラフィ材料をトータルで提供しており、引き続きお客様の液浸プロセス立ち上げに貢献していきたいと考える。