

○渡邊健夫, 原田哲男, 山川進二
兵庫県立大学 高度産業科学技術研究所

背景

EUVリソグラフィ技術は2019年より7 nm世代 (16 nm) のロジックデバイスの量産に、2020年には5 nm世代 (12 nm) のデバイスに本格的に量産適用された。今後もEUVレジストの開発は量産化における重要課題の1つであり、高解像度・高感度・低LWR (線幅バラツキ) ・低アウトガスを同時に満たす必要がある。この中で低LWRの実現が最も困難である。そこで我々は、線幅が1X nmでのレジストの解像度およびLWRを評価するため、EUV光による透過型回折格子を用いた二光束干渉露光 (EUV-IL) 装置の開発を進めている。光源にNewSUBARU放射光施設のアンジュレータを利用し、波長13.5 nmのEUV光でパターンを形成する。これまでに回折格子の高度化と露光ステージの改善により、干渉パターンのコントラストを向上させ、hp15 nmのレジストパターン形成に成功し、10 nm以下のパターン形成を進めている。

量産年	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026
DRAM 1/2 ピッチ (nm)	32	28	25	23	20	18	16	14	13	11	10	8.9	8	7.1	6.3
Flash 1/2 ピッチ (nm)	20	18	17	15	14	13	12	11	10	9	8.0	8.0	8.0	8.0	8.0
MPU/ASIC 1/2 (nm)	32	27	24	21	19	17	15	13	12	11	9.0	8.4	7.5	7.5	7.5
線幅制御 (nm)	2.1	1.9	1.8	1.7	1.6	1.5	1.3	1.2	1.1	1.0	0.9	0.8	0.8	0.8	0.8
膜厚 (nm)	40-75	35-65	30-60	30-55	25-50	25-50	20-45	20-40	20-40	15-35	15-30	15-30	15-30	15-30	15-30

EUV光による干渉露光系の開発

原理

Fig. 1. はEUV-ILの原理を示している。空間的にコヒーレントなEUV光で照射された、二窓回折格子より回折した光が中心部で干渉する。干渉領域では回折格子ピッチの倍ピッチの干渉縞が生じ、レジスト上にパターンを形成する。

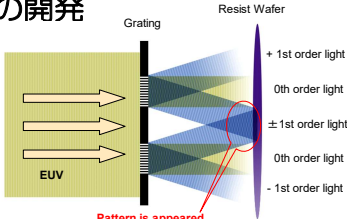


Fig. 1. EUV-ILの原理

特長

干渉リソグラフィは複雑な光学系なしで微細なレジストパターンが形成可能である。収差やフレアが原理的に発生しないので、hp 1X nm 級のレジスト解像度やLWR評価に有用である。

$$P = \frac{d}{2}$$

EUV-IL露光装置と露光結果

EUV-ILはNewSUBARUの長尺アンジュレータビームライン (BL-9) に構築露光チャンバは、クリーンルーム (Class 100) 内に構築した。

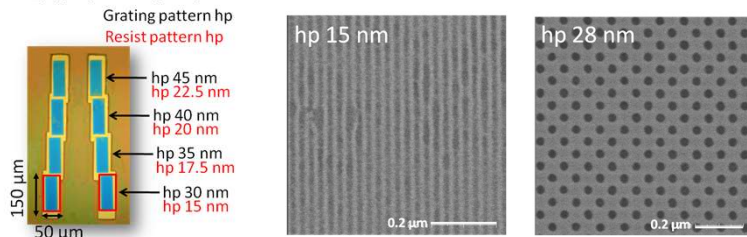


Fig. 2 透過型回折格子の光学顕微鏡写真、青色の領域が回折格子の部分

(d) 15 nm L/S (e) hp 28 nm ホールパターン
Fig. 3 L/S パターンとホールパターンのSEM画像。

アウトガス評価装置の概要

コンタミを付着させるMo/Si多層膜のWitness試料 (1インチ) およびレジストサンプル (8インチ) 試料交換用にロードロック機構を搭載した。要求される真空度 3×10^{-6} Paを満たすため、真空モータ、ステージ送り機構等を新たに設計製作した。現状では 8×10^{-7} Paを達成できており、レジストのアウトガス雰囲気中でコンタミ膜厚評価が可能。

Witness sample 面上の露光強度
320 mW/cm²
レジスト面上の露光強度
160 mW/cm²
(@1.0 GeV 250mA TopUp運転)

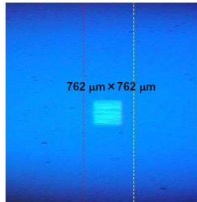


Fig. 4 分光エリプソのCCD像

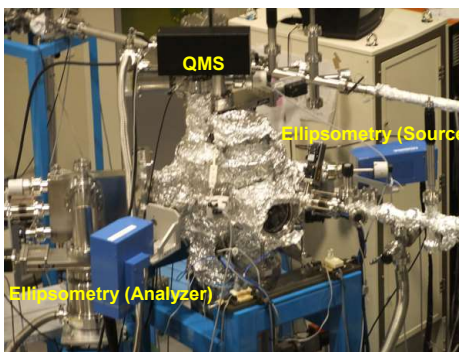


Fig. 5 PAG内包型レジスト

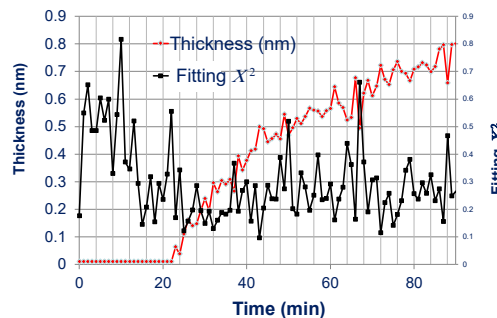


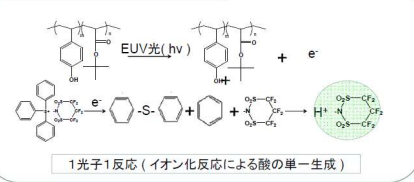
Fig. 6 In-situ ellipsometryによるカーボンコンタミの膜厚測定

軟X線吸収分光によるレジストの反応解析

極端紫外線リソグラフィ (EUVL) は、来年から線幅22 nmの半導体量産技術として利用される。EUVレジストの課題には、高感度、およびLER (Line Edge Roughness) などがある。レジストの高感度、LERの改善には、EUVレジストの酸の発生効率の向上が必須である。そこで、Polyhydroxy styrene (PHS)を骨格とする化学増幅系レジストを対象に反応解析を進めた。KrF光や電子線 (E B) 露光において、酸発生剤 (PAG) にtriphenylsulfonium cyclo(1,3- perfluoro propanedisulfone) imidate (TPS-Imidate)を用いた場合のResist Aと、triphenylsulfonium perfluorobutanesulfonate (TPS-Nonafate)を用いた場合のResist Bとを比較して露光感度に差はないが、EUV露光ではTPS-Imidateの方が約4倍露光感度が高い。このPAGの違いによる感度の差を解析するためNewSUBARU放射光施設のBL-7bにてSR吸収分光測定法を用いてPHS系レジストの反応メカニズムを調べた。

この結果、イオン化反応に加えて、酸発生剤の分子励起反応により酸が発生する反応機構が存在することを発見した。この反応経路の収率を高める酸発生剤の設計することで、高感度かつ低LWRを有するレジストを実現できる可能性を見出した。

従来、考えられてきた反応メカニズム



新しく明らかになった反応メカニズム!

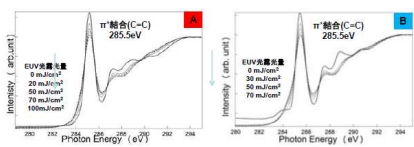
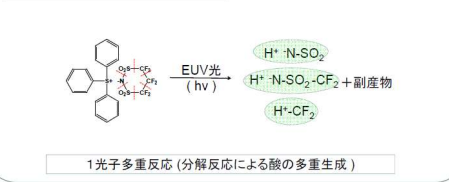


Fig. 7 Resist A, Bの炭素の1s軌道

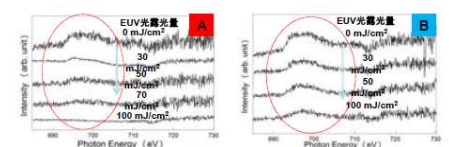


Fig. 8 Resist A, Bの炭素の1s軌道

酸発生剤 (PAG) 内包型レジストの開発

PAG 内包型レジストの構造と特徴

- ・PAG濃度の均一性は、低LERを得るために有効である。
- ・高い脱保護反応 (高感度化) には、PAGがベースレジンに結合されていることが有効である。

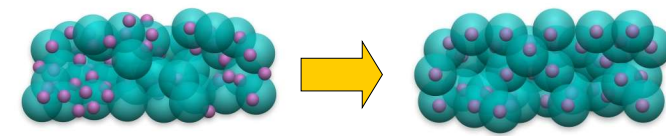
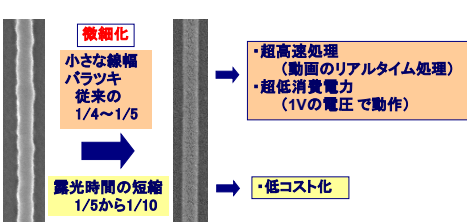


Fig. 9 PAG混合型レジストとPAG内包型レジストの違い

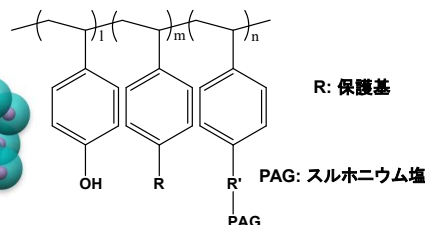


Fig. 10 PAG内包型レジスト