OUKA
The University of Osaka
Institutional Knowledge Archive

Title	Study on the mechanism of stochastic defects generation in EUV lithography
Author(s)	春本, 将彦
Citation	大阪大学, 2023, 博士論文
Version Type	VoR
URL	https://doi.org/10.18910/91914
rights	
Note	

The University of Osaka Institutional Knowledge Archive : OUKA

https://ir.library.osaka-u.ac.jp/

The University of Osaka

様式３

論　文　内　容　の　要　旨

氏　名　（　春本　将彦　）	
論文題名	Study on the mechanism of stochastic defects generation in EUV lithography (極端紫外線リソグラフィにおける確率的欠陥の発生機構に関する研究)

論文内容の要旨

本論文では、極紫外線(EUV)リソグラフィ技術における確率的欠陥として、フォトレジストのパターン倒壊とOpen hole欠陥、Closed hole欠陥についての発生機構とその低減方法について述べた。

序章では、半導体集積回路の高集積化を達成するための微細化技術であるEUVリソグラフィで起こる確率的欠陥について説明し、特に現像工程に起因する確率的欠陥について発生メカニズムと欠陥低減方法について各章の位置づけを示した。

第一章ではパターン倒壊について、現像工程の純水リンス乾燥時に雰囲気を減圧することによる低減を試みた。雰囲気を減圧すると純水とレジストの接触角θが大きくなり、パターン倒壊を引き起こすパターン間の引張応力はθを変数とした$\cos\theta$で表されることから、引張応力が小さくなることでパターン倒壊の低減が原理的に導かれた。実際のパターンにおいても現像チャンバを減圧することでパターン倒壊しない線幅が小さくなり、すなわちパターンにかかる引張応力が小さくなっていることが示された。

第二章では、3種類のEUVフォトレジストの溶解過程について、アルキル鎖長の異なる4種類の現像液を使用してQCM法による観察を行った。PHS型フォトレジストでは、アルキル鎖長の異なる現像液での溶解過程に大きな差は認められなかったが、Acryl型フォトレジストとHybrid型フォトレジストでは差異が認められ、特にAcryl型フォトレジストでは大きな差異が見られ、アルキル鎖長が短いTMAH現像液は、現像の初期に大きな膨潤を引き起こすことを確認できた。このようにEUVフォトレジストとアルキル鎖長の異なる現像液の組合せでは、溶解過程が大きく異なることが明らかになった。

第三章では、第二章と同じ材料のEUVフォトレジストにHoleパターンを露光し、同様にアルキル鎖長の異なる現像液を使用してOpen hole欠陥、Closed hole欠陥の発生の違いについて検討した。PHS型フォトレジストでは、Open hole欠陥とClosed hole欠陥の発生について、現像液の種類に対する影響は見られなかった。一方で、Acryl型フォトレジストではアルキル鎖長の短い現像液でOpen hole欠陥とClosed hole欠陥が混在し無欠陥裕度が無かったが、アルキル鎖長の長い現像液では両方の欠陥の混在は少なく無欠陥裕度が見られた。これは第2章で見られたフォトレジストの膨潤によるものと考えられ、膨潤がOpen hole欠陥の発生に寄与していることが明らかになった。またHybrid型についてもアルキル鎖長の長い現像液がフォトレジストポリマー間の疎水性相互作用を切断し、溶解しやすくなることでClosed hole欠陥の発生を抑制し裕度が大きくなることが明らかになった。

以上のように、本論文ではEUVリソグラフィにおける確率的欠陥の発生には、フォトレジスト材料だけでなく現像工程での乾燥やアルカリ現像液の材料が大きく関与していることが明らかになった。今後、さらに微細領域でのパターン製作においては、EUVフォトレジスト材料の開発と同時に、現像液材料との組合せが重要であることが示唆された。

様式 7

論文審査の結果の要旨及び担当者

氏　名	（　春本　将彦　）

	(職)	氏　名
論文審査担当者	主 査　教授	古澤　孝弘
	副 査　教授	桑畑　進
	副 査　教授	藤内　謙光
	副 査　教授	櫻井　英博
	副 査　教授	林　高史
	副 査　教授	南方　聖司
	副 査　教授	今中　信人
	副 査　教授	宇山　浩
	副 査　教授	佐伯　昭紀
	副 査　教授	中山　健一
	副 査　教授	能木　雅也

論文審査の結果の要旨

本論文は、半導体リソグラフィの微細化技術における確率的欠陥の発生機構を明らかにすることを目的として、フォトレジストパターン倒壊への物理的アプローチによる発生機構の検証と低減に成功し、また Open hole 欠陥、Closed hole 欠陥については材料の化学的アプローチによる発生機構の指針を導き出した。主な結果を要約すると以下の通りである。

(1) フォトレジストパターン間に働く毛管力（引張応力）が原因となり引き起こされるパターン倒壊について、現像後リンス乾燥時に雰囲気を減圧し引張応力を低減する物理的アプローチにより、パターン倒壊の低減に成功している。

(2) 3 種類のフォトレジストと 4 種類のアルキル鎖長の異なるアルカリ現像液を用いて、フォトレジストと現像液の組合せによる溶解過程の違いを明らかにしている。

(3) フォトレジストの種類により Open hole 欠陥、Closed hole 欠陥が発生しない無欠陥裕度が大きく異なること明らかにしている。

(4) 同じフォトレジストにおいて、現像液のアルキル鎖長の違いにより無欠陥裕度が異なることを明らかにしている。

(5) 無欠陥裕度の影響について、アルキル鎖長による溶解過程の違いから、現像液による Acryl 型フォトレジストの膨潤が Open hole 欠陥の発生に寄与し、フォトレジストポリマー間の疎水性相互作用が PHS-Acryl の Hybrid 型フォトレジストにおける Closed hole 欠陥の抑制につながることを考察している。

以上のように、本論文は、半導体リソグラフィの微細化技術における確率的欠陥の発生には、現像工程での乾燥が大きく関与していることを明らかにし、また、フォトレジストの溶解過程が大きく関与していることを明らかにしている。さらに、フォトレジスト材料だけでなくアルカリ現像液材料との組合せによる溶解過程の違いから無欠陥裕度の発生機構を考察しており、高く評価することができる。本研究で得られた知見は、今後の EUV フォトレジスト材料の開発と同時に、現像液材料との組合せが重要であること示すものであり、将来へと続く微細領域でのパターン製作に貢献するものである。よって本論文は博士論文として価値あるものと認める。