

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 27 年 6 月 19 日現在

機関番号：14301

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2013～2014

課題番号：25800237

研究課題名(和文) 基板とブロック共重合体の界面に生じる欠陥パターンの解析と応用

研究課題名(英文) Computational Analysis of Defects in the Directed-Self Assembly of Block Copolymer

研究代表者

吉元 健治 (Yoshimoto, Kenji)

京都大学・学際融合教育研究推進センター・特定准教授

研究者番号：00645278

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,000,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、新しい微細加工技術として注目されている「ジブロック共重合体の誘導自己組織化」に着目し、そのプロセスで問題となっている欠陥パターンがどのように発生するかをシミュレーションにより解明した。簡易化モデルを用い、パラメータの値を実験データとの合せ込みで決めることで、欠陥パターンの生成ダイナミクスを比較的大きな系でも予測できるようになった。その結果、化学修飾した基板では、欠陥密度が時間とともに指数関数的に減少することが明らかになった。また、ナノスケールの穴の中で行う誘導自己組織化では、壁との親和性が欠陥生成に大きな影響を及ぼすことやバルクとは異なる相分離構造が形成されること等が分かった。

研究成果の概要(英文)：Due to a high demand for electrical devices with compact size and high performance, design of electric circuit has to be smaller than ever. Among various new emerging methods, we investigated the so-called directed self-assembly of diblock copolymer (DSA) in this study. Our goal was to gain insight into mechanisms of defect formation observed in some DSA processes. By employing the simplified model and fitting the model parameters with the experimental data, we were able to perform large-scale dynamic simulations and to observe various defects over a long course of simulation time. We found that on the chemically pre-patterned surface, the defect density decays exponentially with time. Also, for the DSA process in which the nano-scale holes were used as a guiding template, our simulations showed that the wall affinity to the diblock copolymers could largely affect on the defect formation and that the phase-separated morphology could be different from the one in the bulk.

研究分野：高分子物理、ナノ材料工学、化学工学

キーワード：DSA 誘導自己組織化 ブロック共重合体 欠陥構造 欠陥ダイナミクス 大規模シミュレーション ホールシュリンク

1. 研究開始当初の背景

近年、半導体デバイスの縮小化や高性能化が加速しており、電子回路パターンの更なる微細化が求められている。一方で、半導体製造分野では、193nm 液浸リソグラフィはすでに解像限界(約 80nm)に達しているため、新たな微細加工技術の開発が急務とされている。その候補として注目を集めているが、ジブロック共重合体のマイクロ相分離を利用した「誘導自己組織化(DSA: Directed Self-Assembly)」と呼ばれる手法である¹⁾。

ジブロック共重合体とは、化学特性の異なる二本の高分子鎖(ブロック)の末端が化学結合で繋がった有機化合物のことで、その溶解体を基板上で熱処理すると、ブロック間の反発力によりマイクロ相分離が生じ、自発的に数十ナノメートルの周期構造を形成する。ただし、周期構造の配向は無秩序となるため、そのままでは半導体製造プロセスには応用できない。そこで予め基板表面に、片方のブロックだけに親和性が高いパターン(化学ガイド)を作成したり、比較的大きな溝や穴(物理ガイド)を施すことで、マイクロ相分離したドメインの場所や配向を制御する手法が誘導自己組織化である。

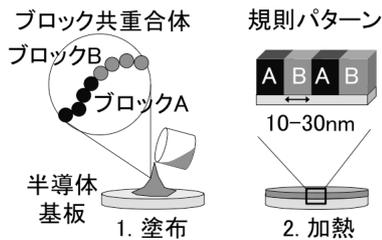


図1 基板上でのブロック共重合体の自己組織化

国際半導体ロードマップ委員会の 2011 年度報告書²⁾によると、誘導自己組織化を半導体製造プロセスに適用するには、まず欠陥密度を大幅に減少させなければならない。しかし、欠陥発生メカニズム、欠陥の構造、欠陥とプロセス条件との関係等は、まだよく分かっていない。さらに、誘導自己組織化で発生する欠陥の多くは複雑な三次元構造を有するため、従来の基板上方から撮影する走査型顕微鏡(SEM)の画像からだけでは正確に検出され難い。

そこで最近、シミュレーションを用いて、誘導自己組織化で発生する欠陥の構造やエネルギーを予測する研究が行われている。中でも、自己無撞着場理論(SCFT)³⁾やモンテカルロ法(MC)⁴⁾を用いたシミュレーションでは、実験データとの整合性が高い結果も得られている。一方で、SCFTやMCは計算負荷が非常に大きいため、比較的大きな系で、複雑な欠陥構造を予測する場合や、欠陥のダイナミクスを解析する場合には適していない。

2. 研究の目的

そこで本研究では、まずブロック共重合体の誘導自己組織化を大規模かつ動的にシミュレーションできる簡便な手法を開発し、

次に、実プロセスを想定した比較的大きな系で、欠陥の構造予測や動的挙動の解析等を行った。具体的には、(1)化学ガイドを用いた誘導自己組織化での大規模スケールでの欠陥ダイナミクスの解析、(2)ホールシュリンクと呼ばれる物理ガイドを用いた誘導自己組織化での欠陥の構造予測とプロセスの最適化を行った。

3. 研究の方法

本研究では、密度汎関数理論より導出される Ohta-Kawasaki (OK) モデルを用いた⁵⁾。OK モデルは、ジブロック共重合体の局所体積分率のみを変数として取り扱うため、計算負荷が非常に小さく、大規模な動的シミュレーションにも適用できる。今回は、バルクの自由エネルギーに、ブロック共重合体と基板との相互作用項を新たに加えて、系全体のエネルギーを表現した。そのエネルギーを Time Dependent Ginzburg Landau (TDGL) 式を用いて減少させてゆき、ジブロック共重合体の濃度場を時間発展させた。以下に、濃度場を時間発展させる際に用いた逐次計算式を示す。(モデルやシミュレーション手法の更に詳しい情報は文献[6]を参照して頂きたい。)

$$\begin{aligned} \eta(\mathbf{r}, t + \Delta\tau) \\ \approx \eta(\mathbf{r}, t) + \Delta\tau [\nabla^2 \mu_s(\mathbf{r}, t) - \alpha \eta(\mathbf{r}, t)] \\ - \beta (2\Delta\tau / \Delta l^3)^{1/2} \nabla \cdot \mathbf{J}_R(\mathbf{r}, t) \end{aligned} \quad (1)$$

$\eta(\mathbf{r}, t)$ は位置 \mathbf{r} 時間 t でのブロック A と B の局所体積分率の差 (= オーダーパラメータ) で、 $\Delta\tau$ は時間の刻み幅を、 Δl は系を分割するグリッドの幅を表す。式(1)右辺の最後の項は熱揺らぎの効果を表し、 $\mathbf{J}_R(\mathbf{r}, t)$ はガウス分布に従うノイズ場、 β は熱揺らぎの大きさを示す。 $\mu_s(\mathbf{r}, t)$ は(長距離相互作用項を除いた)化学ポテンシャルで、次式から計算される。

$$\begin{aligned} \mu_s(\mathbf{r}, t) = -\eta(\mathbf{r}, t) / \xi^2 + g \eta(\mathbf{r}, t)^3 \\ - \nabla^2 \eta(\mathbf{r}, t) + \Lambda(\mathbf{r}). \end{aligned} \quad (2)$$

3つの係数 α, ξ, g はジブロック共重合体の物性などから計算される定数である。式(2)の最後の項は基板とブロックとの相互作用の大きさを表し、化学ガイド上では Λ_s 、それ以外の基板上では Λ_b に設定した。

逐次計算では、まず現在のオーダーパラメータ場 $\eta(\mathbf{r}, t)$ に対する化学ポテンシャル場 $\mu_s(\mathbf{r}, t)$ を式(2)から計算し、次に $\mu_s(\mathbf{r}, t)$ と式(1)から新しいオーダーパラメータ場 $\eta(\mathbf{r}, t + \Delta\tau)$ を計算する。続いて、 $\eta(\mathbf{r}, t + \Delta\tau)$ を現時刻のオーダーパラメータ場として、先と同じ計算を繰り返す。この逐次計算は系をグリッド状に分割して行うため、並列化計算に適している。

4. 研究成果

(1) 化学ガイドを用いた誘導自己組織化

予め化学修飾した基板上で、対称性ジブロック共重合体をアニーリングすると、層状にマイクロ相分離したドメイン(ラメラ)が化学ガイドに沿って配向し易くなる(図2)。ここでは、化学修飾した基板上で発生しうる大規模なラメラの欠陥が時間とともにどのように変化するかをシミュレーションにより解析した。なお、以下のシミュレーション結果では、長さの単位にラメラの自然周期 L_0 を用いているが、実プロセスでよく用いられる PS-b-PMMA の場合、 $1L_0$ は約 28nm に相当する⁷。

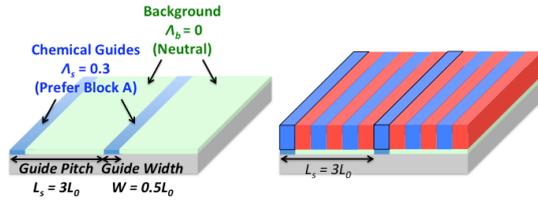


図2 化学ガイドを用いた誘導自己組織化

① 並列化による計算のスケラビリティ

テストケースとして、大きさが $96L_0 \times 96L_0$ の2次元の系(周期境界条件)でシミュレーションを行い、 10^5 ステップの逐次計算に要する時間を調べた。 $1L_0$ を16グリッドに分割したので、グリッドの総数は 1536×1536 である。化学ガイドの幅 W と周期 L_s は $0.5L_0$ と $3L_0$ 、化学ガイドとブロック共重合体との相互作用パラメータ A_s は 0.3 (=ブロックAへの親和性大)、化学ガイドがない部分とブロック共重合体との相互作用パラメータ A_b は 0 (=中性)に設定した。また、ブロック間の斥力パラメータ χN は 14.0 とし、熱揺らぎの大きさ β はラメラのエッジ粗さが実験データと合うように 0.10 とした⁶。

図3にシミュレーション結果の一例を示す。並列化に使用する計算コア数(CPU)に対して、計算時間がほぼ反比例することが分かる。今回我々が行ったほぼ全てのシミュレーションでも高い並列化スケラビリティが確認された。従って、より大規模な系に対してもコア数を増加させることで、比較的短時間で結果を得ることが可能となった。なお、並列化計算には、京都大学学術情報メディアセンターのスーパーコンピュータを使用した。

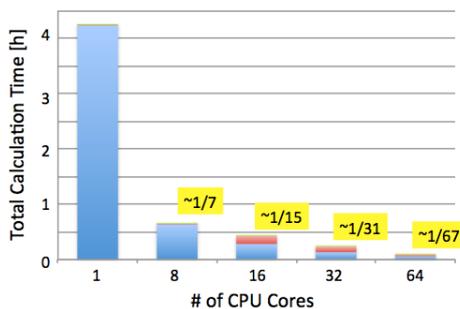


図3 並列化による計算の効率化

② 大規模スケールでの欠陥ダイナミクス

研究の背景でも述べたように、化学修飾した基板上で発生するラメラ欠陥を抑制できるかどうかは誘導自己組織化の大きな課題の1つである。そこでまず、先の①のテストケースと同じパラメータを用いて、より大規模な系 ($192L_0 \times 192L_0$) で比較的長めの逐次計算 (10^6 ステップ) を行い、欠陥密度とステップ数 (=アニーリング時間) との関係調べた。図4にシミュレーションで得られたラメラのスナップショットを示す。ステップ数が 7.5×10^5 のときは、比較的大きな欠陥が系全体に多数存在しているが、さらにステップ数が増えると欠陥の数も大きき急激に減少していく様子が確認できる。

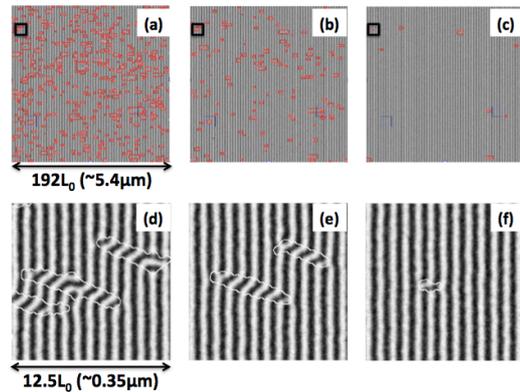


図4 ラメラの欠陥分布とモルフォロジ: (左) 0.75×10^6 , (中央) 1.50×10^6 , (右) 3.00×10^6 ステップ。ラメラドメインを、上段は系全体で(赤枠は欠陥)、下段は上段の一部(黒枠)を拡大して表している。

図4と同様な画像解析を一定間隔 (5×10^3 ステップ) で行い、欠陥の数密度と面積率 (=全ての欠陥の総面積/系全体の面積) をステップ数の関数として表した(図5)。系のサイズが比較的小さいと ($24L_0 \times 24L_0$)、欠陥1つのウェイトが大きく、数密度も面積率も急激に減少するため、ステップ数が多い部分でのトレンドが分かり難い。一方、より大きな系 ($192L_0 \times 192L_0$) では、欠陥の数密度も面積率も滑らかに変化し、指数関数的に減少していくトレンドが確認できる。その滑らかな欠陥面積率のデータに対して、指数関数ならびに累乗関数で曲線近似を行ってみた(図6)。どちらも前半部分 ($1.5 - 3.5 \times 10^5$) のデータのみをフィッティングに用いた。指数関数で近似の方がより広範囲でフィットし、累乗関数の場合、ステップ数が大きい後半部分で異なるトレンドが観測された。なお、様々な分野で報告されている「欠陥密度の t^{-1} スケーリング則」⁸ は、今回のシミュレーションでは見られなかった。この原因については現在も検討中なのだが、誘導自己組織化では化学ガイドが存在するため、欠陥と欠陥の距離に対するくりこみ的な見方がそもそも出来ない可能性も考えられる。今回は、欠陥面積率の時間変化を $Ae^{-t/D}$ の形で表し、その特徴的な時間尺度 D がプロセス条件に応じてどう変化するかを調べてみた。

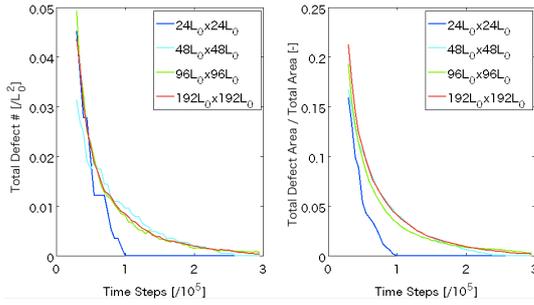


図5 欠陥密度の時間変化: (左) 数密度, (右) 面積率。

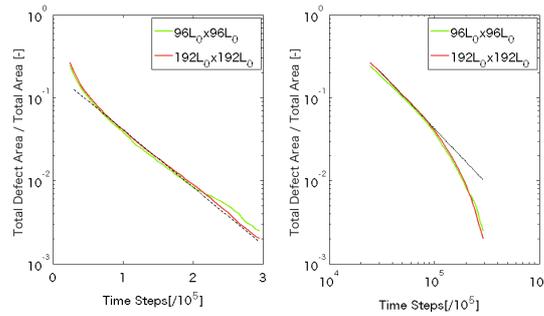


図6 欠陥面積率の曲線(図5右)に対する近似: (左) 指数関数, (右) 累乗関数。黒い点線は $192L_0 \times 192L_0$ の系の前半部分のデータでフィッティングした曲線。

図7は、化学ガイドの2つのパラメータを変化させた際の欠陥面積率の時間変化を表す。まず、化学ガイドの幅 W を変化させた場合、 $W=L_0/2$ で特徴的時間尺度 D の値が最小 (-0.62) となった。これは、 $W=L_0/2$ のとき、化学ガイドの幅とジブロック共重合体のドメインサイズ ($L_0/2$) が一致してエネルギー的にも最安定になるためである。次に、化学ガイドの幅を $L_0/2$ に固定して、化学ガイドとジブロック共重合体の相互作用パラメータ A_s を変化させたところ、 A_s が大きいほど特徴的時間尺度 D は更に減少することが分かった。ただし実プロセスでは、ガイドの化学的特性をコントロールするのは容易ではなく、その上限値しだいでは、欠陥抑制の効果は限定的になる可能性もある。現在、他のモデルパラメータについても同様に特徴的時間尺度 D を計算しながら、欠陥抑制するための最適なプロセス条件を探している。

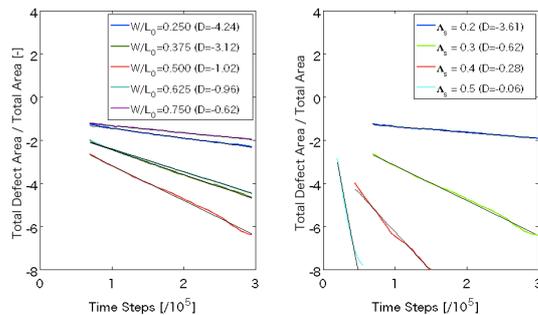


図7 化学ガイドのパラメータが欠陥面積率の時間変化に及ぼす影響: (左) 幅, (右) 相互作用パラメータ。

(2) 物理ガイドを用いた誘導自己組織化

本研究では、化学ガイドを用いた誘導自己組織化に加え、ホールシュリンクと呼ばれる物理ガイドを用いた誘導自己組織化についてのシミュレーションも行い、そのプロセスで問題となっている欠陥の構造予測や抑制方法について検討した。

図8に示すように、ホールシュリンクでは、基板の上に円柱状(もしくは楕円状)の穴を作成し、その穴の中で非対称ジブロック共重合体 PS-*b*-PMMA (PMMA の体積分率は約 0.3) をアニリングさせる。すると、穴の真ん中付近に PMMA のシリンダーが形成され、これをエッチで除去すれば、ガイドホールより小さな穴が得られる。ところが、実際のプロセスでは、出来上がった穴が基板まで貫通しておらず、穴の先端と基板との間には PS ドメイン (PS 残膜) が残ってしまう。そこで本研究では、化学ガイドと同様に OK モデルを用いたシミュレーションを行い、ホールシュリンクでの欠陥 (=PS 残膜) の最小化を試みた。

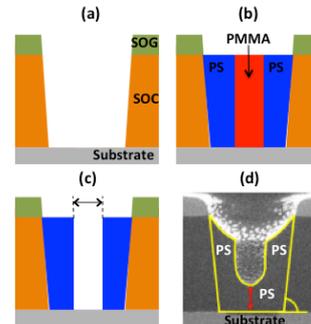


図8 ホールシュリンクプロセス: (a-c) フローの概略図, (d) 断面 TEM 画像。文献[9]より引用。

シミュレーションには、化学ガイドのときと同様に OK モデルを用い、ジブロック共重合体の濃度場を TDGL 式から逐次計算により求めた。化学ガイドと異なる点としては、ガイド壁とジブロック共重合体との相互作用エネルギーを $\Delta_s \eta$ の形から $\Delta_s (\eta - \eta_s)^2$ の形に変更した点と、式(1, 2)のモデルパラメータ α, ξ, g をジブロック共重合体の物性等から直接計算するのではなく、相図から判断した点である。前者は、実験で見られるガイド壁への PMMA の薄膜形成を再現し易くするため、後者は安定なシリンダー構造を得るためである。なお、ジブロック共重合体とガイド壁との相互作用パラメータ A_s と η_s は実験データ(断面 SEM 画像)との合せ込みによって決め、熱揺らぎパラメータ β は PMMA ドメインの位置ずれに関する実験データとの比較で決定した。更に詳しいモデルやシミュレーションの情報については、文献[9, 10]を参照して頂きたい。

最適化シミュレーションでは、まず材料変数としてジブロック共重合体の体積組成比を変化させてみた(図9)。マイナーブロック PMMA の体積分率 f が 0.3 のときは、図8d のような PS 残膜がガイドホールの底面付近

に形成された。一方で、 f を増加させていくと、PMMA シリンダーが半径方向にも垂直方向にも膨張し、 $f \geq \sim 0.35$ ではシリンダーの先端がガイド底面に接触する (=PS 残膜がなくなる) ことが確認された。一方で、 f をあまり大きくしすぎると、PMMA シリンダーが側壁にも接触し不安定な構造が形成された。さらに、 $f=0.3$ と $f=0.4$ のケースに対して、ガイドホール直径と傾斜角を変化させて PS 残膜厚さを調べた結果を図 10 に示す。 $f=0.4$ では $f=0.3$ で観測されなかった PS 残膜ゼロ (青) の領域が比較的広い領域で観測された。ただし、PMMA シリンダーがガイド底面に接触できるかどうかは、ガイド底面の PMMA への親和性の大きさに依存しており (図 11)、その親和性が大きすぎると、ガイド底面への接触は見られなくなる。従って、PS 残膜を正確に予測するには、まずガイド壁とブロック共重合体との親和性をどのように見積るかが重要な課題となりうる。

なお、同様なシミュレーションを楕円状のガイドホールでも行い、欠陥構造や欠陥抑制方法について検討したが、その詳細については、文献 [9, 10] を参照して頂きたい。

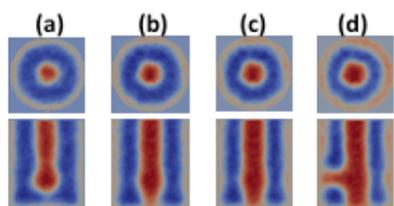


図 9 PMMA の体積分率 f とガイドホール内 (直径 85nm, 深さ 100nm) での PMMA モルフォロジーの関係: $f =$ (a) 0.30, (b) 0.35, (c) 0.40, (d) 0.45。赤が PMMA 青が PS が多い場所を表す。文献 [10] より引用。

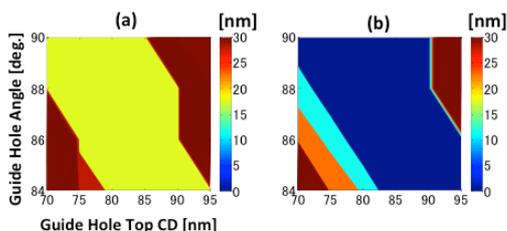


図 10 ガイドホールの形状に対する PS 残膜の等高線図: (a) $f = 0.30$, (b) $f = 0.40$ 。ガイドホールの高さは 100nm に固定し、直径を 70–95nm, 傾斜角を 84–90 度の範囲で変えた。文献 [10] より引用。

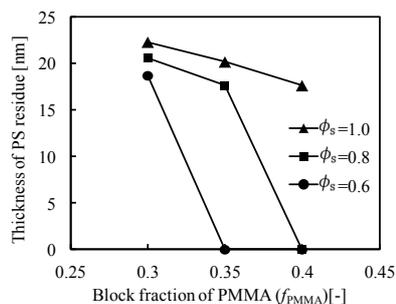


図 11 PMMA の体積分率 f と PS 残膜の厚さの関係。 ϕ_s の値が大きいほど、PMMA ブロックとガイド壁の親和性が高くなる。文献 [10] より引用。

ここで今回の研究の成果についてまとめておきたい。まず化学ガイドを用いた誘導自己組織化についてだが、大規模シミュレーションによって、欠陥の数や大きさの時間変化が明らかになり、その関係式も一応導かれた。この関係を実験でも証明できれば、今後半導体製造企業が誘導自己組織化の実用化を検討していく上で大きな指針となりうる。また、今回のシミュレーションから、欠陥密度が通常のスケーリング則に従わない可能性も示唆された。これは物理的にも大変興味深い現象であり、そのメカニズムについては今後も追求してみたい。なお、当初予定していた実験データとの合せ込みや比較検証は、合せ込みに必要なデータ (特にアニリング時間を変えた欠陥密度のデータ) が十分に揃わなかったため、期間内に実施できなかった。実験データは今後も共同研究者から提供してもらおう予定なので、データが揃い次第、合せ込みや比較検証を行い、シミュレーションの妥当性を検討する予定である。

物理ガイドの誘導自己組織化では、OK モデルのシミュレーションにより、ホール内での複雑なモルフォロジーを比較的短時間で予測できるようになった。また、ホールシュリンクで用いられる円柱状の穴の中では、物理的制約条件が強いため、バルクとは大きく異なる相分離構造が形成されることも明らかになった。さらに、欠陥構造である PS 残膜を減少させるための 1 つのアイデアとして、PMMA の体積分率を調整する方法について検討したところ、従来の体積分率 (約 0.3) よりもより大きな値 (約 0.4) の方が残膜は減少し易いことが分かった。今後は同様なアプローチで、マルチホールシュリンクに対しても、幅広いプロセス変数や材料変数 (例: ブロック間の相互作用パラメータ、ホモポリマーを含む多成分材料) の中から効果的に欠陥構造を抑制できる条件を見つけ出す予定である。

参考文献

- [1] S. O. Kim et al., *Nature*, **424**, 411-414 (2003).
- [2] “International Technology Roadmap for Semiconductors,” <http://www.itrs.net/>
- [3] H. Takahashi et al., *Macromolecules*, **45**, 6253-6265 (2012).
- [4] F. A. Detcheverry et al., *Macromolecules*, **43**, 3446-3454 (2012).
- [5] T. Ohta and K. Kawasaki, *Macromolecules*, **19**, 2621-2632 (1986).
- [6] K. Yoshimoto and T. Taniguchi, *J. Photo polym. Sci. Technol.*, **26**, 809-816 (2013).
- [7] C. Liu et al. *Proc. SPIE*, **8680** (2013).
- [8] H. Toyoki, *Phys. Rev. A*, **42**, 911-917 (1990).
- [9] K. Yoshimoto et al., *J. Micro/Nanolith. MEMS MOEMS*, **13**, 031305 (2014).
- [10] K. Fukawatase, K. Yoshimoto, M. Ohshima, *Jpn. J. Appl. Phys.*, **54**, 06FE01 (2015).

5. 主な発表論文等

[雑誌論文] (計5件)

- ① K. Fukawatase, K. Yoshimoto, M. Ohshima, “Effects of thermal fluctuations and block copolymers compositions on defects in directed self-assembly hole shrink process,” *Jpn. J. Appl. Phys.*, **54**, 06FE01 (2015). 査読有
doi:10.7567/JJAP.54.06FE01
- ② K. Yoshimoto et al., “Optimization of directed self-assembly hole shrink process with simplified model,” *J. Micro/Nanolith. MEMS MOEMS*, **13**(3), 031305 (2014). 査読有
doi:10.1117/1.JMM.13.3.031305
- ③ Y. Hori, K. Yoshimoto et al., “Multiscale DSA simulations for efficient hotspot analysis,” *Proc. SPIE*, **9049**, 90492L (2014). 査読無
doi:10.1117/12.2046155
- ④ K. Fukawatase, K. Yoshimoto et al., “DFM for defect-free DSA hole shrink process,” *Proc. SPIE*, **9049**, 90491K (2014). 査読無 doi: 10.1117/12.2046108
- ⑤ K. Yoshimoto and T. Taniguchi, “Large-Scale Simulations of Directed Self-Assembly with Simplified Model,” *J. Photopolym. Sci. Technol.*, **26**(6), 809–816 (2013). 査読有
<http://doi.org/10.2494/photopolymer.26.809>

[学会発表] (計10件)

- ① 吉元健治、ブロックコポリマーを用いた微細加工プロセスのモデリングと最適化、化学工学会 姫路大会 2014、2014年12月8日、じばさんびる(兵庫県姫路市)。
- ② K. Fukawatase, K. Yoshimoto et al., “Effects of thermal fluctuations and block copolymers compositions on defects in directed self-assembly hole shrink process,” 27th International Microprocesses and Nanotechnology Conference, Nov. 7th 2014, Hilton Fukuoka Sea Hawk, Fukuoka (Japan).
- ③ 吉元健治、ブロックコポリマーの誘導自己組織化に関するプロセスと材料の最適化、第63回高分子討論会、2014年9月24日、長崎大学(長崎県長崎市)。
- ④(招待講演) 吉元健治、シミュレーションを用いた DSA プロセス・材料の最適化、日本応用物理学会 次世代リソグラフィ技術研究会、2014年7月17日、東京工業大学(東京都目黒区)。
- ⑤ (Invited Talk) K. Yoshimoto et al., “Application of Simplified Model to DSA Process Optimizations,” The 31st International Conference of Photopolymer Science and Technology, July 9th 2014, Chiba University, Chiba (Japan).

- ⑥ K. Fukawatase, K. Yoshimoto et al., “DFM for defect-free DSA hole shrink process,” SPIE Advanced Lithography Meeting 2014, Feb. 27th 2014, San Jose Convention Center, California (USA).
- ⑦ Y. Hori, K. Yoshimoto et al., “Multi-scale DSA simulations for efficient hotspot analysis,” Advanced Lithography Meeting 2014, Feb. 25th 2014, San Jose Convention Center, California (USA).
- ⑧ (Invited Talk) K. Yoshimoto et al., “Fast, Simplified and Predictive Modeling of DSA,” 26th International Microprocesses and Nanotechnology Conference, Nov. 7th 2013, Rayton Sapporo, Hokkaido (Japan).
- ⑨ (招待講演) 吉元健治、誘導自己組織化によるブロックコポリマーの半導体製造工程への応用、化学工学会 第45回秋季大会、2013年9月18日、岡山大学(岡山県岡山市)。
- ⑩ (招待講演) 吉元健治、DSA 欠陥構造についての大規模な動的シミュレーション、日本応用物理学会 次世代リソグラフィ技術研究会、2013年7月16日、東京工業大学(東京都目黒区)。

[その他]

ホームページ

<http://www.cheme.kyoto-u.ac.jp/6koza/>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

吉元 健治 (YOSHIMOTO, Kenji)
京都大学・学際融合教育研究推進センター・
特定准教授 研究者番号：00645278

(2) 研究協力者

谷口 貴史 (TANIGUCHI Takashi)
京都大学・大学院工学研究科化学工学専攻・
准教授 研究者番号：60293669
大嶋 正裕 (OHSHIMA Masahiro)
京都大学・大学院工学研究科化学工学専攻・
教授 研究者番号：60185254
深渡瀬 健 (FUKAWATASE Ken)
京都大学・大学院工学研究科化学工学専攻・
大学院生 (修士課程)
堀 義宗 (HORI Yoshihiro)
京都大学・大学院工学研究科化学工学専攻・
大学院生 (修士課程)