

科学研究費助成事業 研究成果報告書

令和 5 年 6 月 16 日現在

機関番号：56203

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2019～2022

課題番号：19K04543

研究課題名(和文)水素ラジカルによるポリマー材料の分解・除去における酸素微量添加効果の解明

研究課題名(英文)Elucidation of the effect of a trace amount of oxygen addition on the decomposition and removal of polymer materials using hydrogen radicals

研究代表者

山本 雅史 (Yamamoto, Masashi)

香川高等専門学校・電気情報工学科・准教授

研究者番号：60733821

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、H₂やO₂などのガスを加熱したフィラメントで分解することで生成される各種ラジカルの反応性やそれらの相互作用を明らかにし、水素ラジカルを用いたポリマー材料の分解・除去における酸素微量添加による効果やその原因の解明に取り組んだ。化学的に安定なフィラメントを用いると、十分な水素ラジカルの生成量を維持したまま反応性の高いOHラジカルを生成でき、CH₃基が導入されたベンゼン環構造を有するポリマーにおいて除去速度を向上できた。これに対し、化学的安定性の低いフィラメントでは、酸素添加すると水素ラジカルの生成量が低下し、OH基を導入したベンゼン環構造を有するポリマーでは除去速度が著しく低下した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

ベンゼン環構造を有するポリマーは、半導体製造プロセスやデバイス品質・信頼性の向上のために不可欠な材料であるが、その構造の化学的安定性のため廃棄処理が大きな課題である。本研究の学術的意義は、このようなポリマーの分解・除去において、H₂とO₂を原料として生成される各種ラジカルの役割や効果、ポリマーの化学構造とラジカルの反応性について明らかにした点である。また、本研究の社会的意義は、環境にやさしい方法でポリマーを分解・除去する点である。本研究手法は、半導体分野だけでなく、地球規模での環境問題の解決にも貢献できるようなポリマー分解・リサイクル技術の開発につながると考えている。

研究成果の概要(英文)：In this study, we clarified the reactivity and interaction of various radicals generated by decomposing gases such as H₂ and O₂ with a heated filament and the effect and the cause of the addition of a small amount of oxygen in the decomposition and removal of polymer materials using hydrogen radicals. When a chemically stable filament was used, highly reactive OH radicals were generated while maintaining enough production of hydrogen radicals. Consequently, the removal rate was improved in polymers with a benzene ring structure into which CH₃ groups were introduced. On the other hand, in the case of filament with low chemical stability, the population of hydrogen radicals decreased when adding oxygen, and then the removal rate was remarkably declined in the polymers having a benzene ring structure with OH group introduced. This decline may be ascribed to crosslinking and/or hardening induced by decreasing in hydrogen radicals.

研究分野：電気電子材料

キーワード：ラジカル ポリマー 酸素添加 レジスト PAC介在架橋

1. 研究開始当初の背景

ポリマー材料は半導体エレクトロニクスの発展において重要な役割を担っている。例えば、リソグラフィ工程で用いられるレジスト（感光性ポリマー）、電子デバイスの封止材や基板に用いられるエポキシ樹脂、電子回路基板のパッシベーション膜に用いられるポリイミド等が挙げられる。

近年、廃棄された電子機器の山は『都市鉱山』と呼ばれるようになり、それらの回路基板から金属を回収・リサイクルする技術が大きく注目されている。一方で、ペットボトル等の一部のポリマーを除き、ポリマーに対する適切な処理方法は確立されていない。ポリマー廃棄物の問題は地球規模で深刻化しており、ポリマーを自然に還す技術が切望されている。

我々は、自然に還す技術の具体的なかたちの1つとして、これまで水素（H）ラジカルを用いた“環境にやさしい”レジスト除去技術の開発に取り組んできた。最も主流の既存技術は有害な薬品を大量に使用するものであるため、環境負荷やコストが問題となっている。Hラジカルを用いると、架橋・硬化したレジストやイオン注入されたレジスト等、既存技術では除去が難しいものでも分解・除去できる[1-6]。このとき生成される分解物は主に炭素数が数個の炭化水素化合物やアルコール類であり、燃料としての二次利用も可能である[7]。

レジスト除去工程で要求される除去速度を、Hラジカルを用いる方法で達成することは可能である。しかし、既存技術に比べて除去速度が遅く、分解エリアも装置サイズに対して狭い。我々は、まずは除去速度の向上を目指して、一般に反応性が高く、安全で安価な原料ガスから生成できるヒドロキシル（OH）ラジカルに着目した。OHラジカルの生成方法として、水素に微量の酸素を添加したガスを利用する方法を検討した結果、除去速度の向上だけでなく、広範囲を均一に分解・除去できることがわかった[8-10]。Hラジカルのみに比べて飛躍的な進歩である。酸素の微量添加による除去速度向上の効果を明らかにしたが、この効果が何のどのような作用によって引き起こされるのかは不明である。この解明のためには、生成される各種ラジカルの反応性やそれらの相互作用を明らかにする必要があると考えた。

2. 研究の目的

本研究では、酸素添加時に生成される各種ラジカルの反応性やそれらの相互作用を明らかにし、Hラジカルを用いたポリマー材料の分解・除去における酸素微量添加による効果やその原因を解明することで、さらなる除去速度の向上を目指すことを目的としている。

3. 研究の方法

我々は、これまで、加熱したタングステンフィラメントを用いて、水素に微量の酸素を添加したときのノボラック系ポジ型レジストの除去性を調べてきた[8-10]。このとき、除去速度は、酸素添加量が1.0%程度までは増加し、その後徐々に減少する。ノボラック系ポジ型レジストは、ノボラック樹脂と感光剤（PAC）の2つを主成分として構成されている。ノボラック樹脂の構造には、化学的に安定な構造であるベンゼン環構造が含まれている。Hラジカルによる分解・除去では、ベンゼン環の分解がボトルネック（律速）である[11, 12]。酸素添加時には、Hラジカルだけでなく、酸素（O）ラジカルやOHラジカルが生成される[13, 14]。除去速度の増加は、反応性が高いOHラジカルによるものと考えられる[15]。一方で、除去速度の減少は、タングステン表面における酸素の触媒毒によってHラジカルの生成量が減少するために引き起こされると考えられる[13, 16]。これら先行研究の結果を踏まえ、本研究では、前述の目的達成のため、次の3点に着目して研究を進めた。

(1) 除去性に対するフィラメント金属の影響

レジストの除去速度はHラジカルの濃度に比例して増加する[11]。Hラジカルの生成量はフィラメント温度の増加に対して指数関数的に増加する[13, 14, 17]。したがって、一般的には、除去速度を向上させるためには高融点の金属製フィラメントを選択することが望ましいと言われている。一方で、フィラメントの違いによる酸素添加時の除去性への影響については、これまで十分に検討されていない。酸素を微量添加する本手法では、フィラメントの酸化劣化によるラジカル生成機能の低下だけでなく、分解した有機物の再付着による機能低下も懸念される。そこで、タングステン（W）以外の金属としてタンタル（Ta）やイリジウム（Ir）をそれぞれ用い、酸素添加時のノボラック系ポジ型レジストの除去速度を比較するとともに、酸素添加時の各金属のフィラメント適性について検討した。

(2) 除去性に対するラジカル種の影響

酸素添加時に生成される各ラジカルの反応性およびそれらの相互作用を比較・検討するためには、各ラジカルの単独生成が最もシンプルなアプローチである。HラジカルやOラジカルの単独生成は、原料ガスにH₂やO₂を用いれば容易に実現できる。しかしながら、本手法によるOHラジカルの単独生成は難しいため、除去性に対するOHラジカルの影響を直接的に評価・検討することはできない。そこで、N₂でH₂を希釈したガス（H₂/N₂混合系）やHeでO₂を希釈し

たガス (He/O₂ 混合系) をそれぞれ用い、H ラジカルや O ラジカルの生成量を変えたときのノボラック系ポジ型レジストの除去速度を比較することによって、間接的に OH ラジカルの反応性や相互作用について検討した。

(3) 除去性に対するポリマーの化学構造の影響

ノボラック樹脂と PAC を混ぜ合わせることで、疑似的なノボラック系ポジ型レジストを調製し、W フィラメントを用いて酸素添加時の除去速度を評価した。また、ノボラック系ポジ型レジストの除去メカニズムを検討するために、スチレン系樹脂と PAC を混ぜ合わせたポリマー膜についても同様に評価した。スチレン系樹脂として、ポリスチレン (PS)、ポリ-4-メチルスチレン (P-4MS) およびポリヒドロキシルスチレン (PHS) の 3 種類を選定した。それぞれ、側鎖に 1 つのベンゼン環を有するが、その末端基が異なっており、H 基 (PS)、CH₃ 基 (P-4MS)、OH 基 (PHS) となっている。ノボラック系ポジ型レジストの主成分であるノボラック樹脂には、ベンゼン環が主鎖に含まれており、その周囲には H 基、OH 基、CH₃ 基がある。これら 3 種類の官能基による酸素添加時の除去速度への影響を比較し、ポリマーと PAC の相互作用や除去性の違いについて検討した。

4. 研究成果

(1) 除去性に対するフィラメント金属の影響

フィラメント金属としてタンタム (W)、タンタル (Ta)、イリジウム (Ir) をそれぞれ用いて、酸素添加時のノボラック系ポジ型レジストの除去速度を評価した。W フィラメントの場合、酸素添加量を 0% から 1% まで増加させると除去速度は約 2 割向上するが、酸素添加量を 2% 程度まで増加させると除去速度は約半分まで低下した。Ta フィラメントの場合、酸素添加による除去速度の向上は確認できなかった。さらに、1 回目のレジスト除去実験ではレジストを除去できたが、2 回目の除去実験の段階で除去速度が 1/4 程度まで著しく低下した。一方、Ir フィラメントの場合、W フィラメントと同様に、酸素添加量が 1% 程度で除去速度は約 2 割向上する。驚くことに、その後、酸素添加量を 10% まで増加させても、その除去速度は維持された。Ta フィラメントでは、その表面にレジストの分解物が付着して炭化し、ラジカルの生成効率が低下すると考えられる。W フィラメントでは、その表面における酸素の触媒毒作用により生成効率が低下する [13, 16]。これらに対して、Ir フィラメントでは、Ir の優れた化学的安定性により、生成効率の低下を回避できたと考えられる。フィラメント金属の選定が、酸素添加時の除去速度の向上のために重要であることを明らかにした。

【研究論文：2 編】 M. Yamamoto, T. Shiroy, T. Shikama, S. Nagaoka, H. Umemoto, and H. Horibe, *J. Photopolym. Sci. Technol.* 32(4), 609 (2019); M. Yamamoto, T. Shiroy, T. Shikama, S. Nagaoka, and Hideo Horibe, *AIP Conference Proceedings* 2151, 020010 (2019).

(2) 除去性に対するラジカル種の影響

N₂ で H₂ を希釈したガス (H₂/N₂ 混合系) や He で O₂ を希釈したガス (He/O₂ 混合系) をそれぞれ用いて、H ラジカルや O ラジカルの生成量を変えたときのノボラック系ポジ型レジストの除去速度を評価した。いずれも、N や He の活性種による影響がない条件で比較した。H₂/N₂ 混合系では、除去速度は、希釈率の増加とともに低下した。N₂/H₂ 流量比が 10% 以下の N₂ 希釈条件であれば、除去速度は基板温度とともに増加する。これは、アレニウス則に従った一般的な分解挙動である。一方で、N₂ 希釈率が 40% 以上になると、230 °C 以上で除去速度が急激に低下した。アレニウス則に従わない挙動であり、前述した酸素の触媒毒による H ラジカルの生成量の減少だけでは説明できない。次で詳しく述べるが、この除去速度の低下は、H ラジカルの生成量が不足することで、ラジカルによる分解・除去よりもポリマーの変質 (架橋・硬化) が優勢になるためと考えられる。He/O₂ 混合系では、酸素量を増加させて O ラジカルの生成量を増加させると、除去速度はむしろ低下した。O ラジカルでは膜表面が酸化により硬化し、除去速度が向上しないことがわかった。酸素添加時の除去速度の向上が OH ラジカルによるものであり、さらに、この効果を有効に発揮するためには十分な量の H ラジカルを供給する必要があることが明らかとなった。

【研究論文：2 編】 M. Yamamoto, K. Akita, S. Nagaoka, H. Umemoto, and H. Horibe, *J. Photopolym. Sci. Technol.* 33(4), 433 (2020); M. Yamamoto, H. Nishioka, K. Akita, S. Nagaoka, H. Umemoto, and H. Horibe, *J. Photopolym. Sci. Technol.* 33(4), 427 (2020).

(3) 除去性に対するポリマーの化学構造の影響

ノボラック樹脂だけの場合や PAC を 9 wt% 混ぜたノボラック樹脂では、酸素添加量が 1% 程度までは、酸素添加量の増加とともに除去速度は徐々に増加し、その後、一定となる。一方で、PAC を 18 wt% 混ぜたノボラック樹脂 (疑似的なノボラック系ポジ型レジスト) では、酸素添加量が 1% 程度までは同様の挙動であるが、その後、低下した。これは、ノボラック系ポジ型レジストの場合と同様であり、PAC の存在が除去速度の低下に大きく影響することがわかった。我々は『PAC 介在架橋モデル』を提案し、このメカニズム解明に向けて、PAC を混ぜた 3 種類のスチレン系樹脂について同様に評価した。PAC を混ぜていない場合は、いずれのスチレン系樹脂でも酸素添加量の増加とともに除去速度が僅かに増加した。PAC を混ぜると、樹脂による違いが

見られた。まず、PS では、PAC 量や酸素添加量による除去速度の違いはみられなかった。P-4MS では、PAC 量が増加すると、酸素添加量の増加とともに除去速度が増加した。PHS では、PAC 量が増加すると、酸素添加量の増加とともに除去速度が減少した。H 基 (PS) は変化を示さなかったが、CH₃ 基 (P-4MS) は崩壊部位として分解を進め、OH 基 (PHS) は PAC を介した架橋部位として分解を抑える役割を担うことがわかった。PAC を介した架橋は、H ラジカルの生成量が少なくなると顕著に起こる。ノボラック系ポジ型レジストの酸素添加時の除去速度の増減は、ノボラック樹脂内の CH₃ 部位における分解促進と OH 部位における PAC 介在架橋による分解抑制との競争反応によるものと考えられる。

【研究論文：3 編】M. Yamamoto, S. Nagaoka, K. Ohdaira, H. Umemoto, and H. Horibe, *Thin Solid Films* 679, 22 (2019); K. Akita, S. Sogo, R. Sogame, M. Yamamoto, S. Nagaoka, H. Umemoto, and H. Horibe, *J. Photopolym. Sci. Technol.* 34(5), 499 (2021); M. Yamamoto, K. Akita, T. Maniwa, M. Asakawa, T. Shikama, S. Nagaoka, H. Umemoto, and H. Horibe, *J. Photopolym. Sci. Technol.*, accepted (2023).

<引用文献>

- [1] M. Yamamoto, T. Shiroy, S. Nagaoka, T. Shikama, H. Umemoto, K. Ohdaira, T. Nishiyama and H. Horibe, *J. Photopolym. Sci. Technol.* 30(3), 297-301(2017).
- [2] M. Yamamoto, H. Horibe, H. Umemoto, K. Takao, E. Kusano, M. Kase and S. Tagawa, *Jpn. J. Appl. Phys.* 48(2), 026503/1-7 (2009).
- [3] H. Horibe, M. Yamamoto, E. Kusano, T. Ichikawa and S. Tagawa, *J. Photopolym. Sci. Technol.* 21(2), 293-298 (2008).
- [4] H. Horibe, M. Yamamoto, T. Maruoka, Y. Goto, A. Kono, I. Nishiyama and S. Tagawa, *Thin Solid Films* 519(14), 4578-4581 (2011).
- [5] M. Yamamoto, T. Maruoka, Y. Goto, A. Kono, H. Horibe, M. Sakamoto, E. Kusano, H. Seki and S. Tagawa, *J. Electrochem. Soc.* 157(3), H361-H370 (2010).
- [6] T. Maruoka, Y. Goto, M. Yamamoto, H. Horibe, E. Kusano, K. Takao and S. Tagawa *J. Photopolym. Sci. Technol.* 22(3), 325-328 (2009).
- [7] A. Izumi and H. Matsumura, *Jpn. J. Appl. Phys.* 41, 4639 (2002).
- [8] M. Yamamoto, T. Taki, T. Sunada, T. Shikama, S. Nagaoka, H. Umemoto and H. Horibe, *J. Photopolym. Sci. Technol.* 31(3), 419-424(2018).
- [9] M. Yamamoto, S. Nagaoka, H. Umemoto, K. Ohdaira, T. Nishiyama and H. Horibe, *Int. J. Polym. Sci.* 2017, 2983042/1-5 (2017).
- [10] M. Yamamoto, H. Umemoto, K. Ohdaira, T. Shikama, T. Nishiyama and H. Horibe, *Jpn. J. Appl. Phys.* 55(7), 076503/1-5 (2016).
- [11] M. Yamamoto, T. Maruoka, A. Kono, H. Horibe and H. Umemoto, *Appl. Phys. Express.* 3(2), 026501/1-3 (2010).
- [12] M. Yamamoto, T. Maruoka, A. Kono, H. Horibe and H. Umemoto, *Jpn. J. Appl. Phys.* 49(1), 016701/1-6 (2010).
- [13] H. Umemoto and M. Moridera, *J. Appl. Phys.* 103, 034905 (2008).
- [14] H. Umemoto, H. Kusanagi, K. Nishimura, and M. Ushijima, *Thin Solid Films* 517, 3446 (2009).
- [15] 杉光英俊, オゾンの基礎と応用 (光琳, 東京, 1996) p. 20.
- [16] W. Zheng and A. Gallagher, *Surf. Sci.* 600, 2207 (2006).
- [17] H. Umemoto, K. Ohara, D. Morita, Y. Nozaki, A. Masuda, and H. Matsumura, *J. Appl. Phys.* 91, 1650 (2002).

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計6件（うち査読付論文 5件/うち国際共著 0件/うちオープンアクセス 0件）

1. 著者名 Akita Koki, Sogo Shota, Sogame Ryusei, Yamamoto Masashi, Nagaoka Shiro, Umemoto Hironobu, Horibe Hideo	4. 巻 34
2. 論文標題 Removal of Novolac Photoresist with Various Concentrations of Photo-active Compound Using H ₂ O ₂ Mixtures Activated on a Tungsten Hot-wire Catalyst	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Journal of Photopolymer Science and Technology	6. 最初と最後の頁 499 ~ 504
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.2494/photopolymer.34.499	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -
1. 著者名 Yamamoto Masashi, Akita Koki, Nagaoka Shiro, Umemoto Hironobu, Horibe Hideo	4. 巻 33
2. 論文標題 Evaluation of Decomposition Property of Photoresist by Oxygen Radicals Using Helium-Oxygen Mixtures	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Journal of Photopolymer Science and Technology	6. 最初と最後の頁 433 ~ 437
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.2494/photopolymer.33.433	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -
1. 著者名 Yamamoto Masashi, Nishioka Hiroto, Akita Koki, Nagaoka Shiro, Umemoto Hironobu, Horibe Hideo	4. 巻 33
2. 論文標題 Effects of Nitrogen Dilution on the Photoresist Removal Rate by Hydrogen Radicals	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Journal of Photopolymer Science and Technology	6. 最初と最後の頁 427 ~ 431
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.2494/photopolymer.33.427	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -
1. 著者名 Yamamoto Masashi, Shiroy Tomohiro, Shikama Tomokazu, Nagaoka Shiro, Umemoto Hironobu, Horibe Hideo	4. 巻 32
2. 論文標題 Relationship between Oxygen Additive Amount and Photoresist Removal Rate Using H Radicals Generated on an Iridium Hot-Wire Catalyst	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Journal of Photopolymer Science and Technology	6. 最初と最後の頁 609 ~ 614
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.2494/photopolymer.32.609	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Yamamoto Masashi、Nagaoka Shiro、Ohdaira Keisuke、Umemoto Hironobu、Horibe Hideo	4. 巻 679
2. 論文標題 Oxygen additive effects on decomposition rate of poly(vinyl phenol)-based polymers using hydrogen radicals produced by a tungsten hot-wire catalyst	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Thin Solid Films	6. 最初と最後の頁 22～26
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.tsf.2019.03.035	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Yamamoto Masashi、Shiroi Tomohiro、Shikama Tomokazu、Nagaoka Shiro、Horibe Hideo	4. 巻 2151
2. 論文標題 Photoresist removal using hydrogen radicals produced by tantalum hot-wire catalyst	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 American Institute of Physics Conference Proceedings	6. 最初と最後の頁 20010
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1063/1.5124640	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

〔学会発表〕 計17件 (うち招待講演 1件 / うち国際学会 5件)

1. 発表者名 S. Nagaoka, M. Yamamoto, T. Shimizu, R. Johnston, K. Matsuda and H. Horibe
2. 発表標題 Feasibility Study of a Simplified Nanotech Platform and Device Evaluation Procedure Established for Average Educational Science Laboratories
3. 学会等名 4th MALAYSIA-JAPAN International Conference on Nanoscience, Nanotechnology & Nanoengineering 2023 (MJIC 2023) (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 T. Shimizu, M. Yamamoto, R. Johnston, K. Matsuda, H. Horibe and S. Nagaoka
2. 発表標題 A Study of Resolution an Overlay Accuracy of a Simplified Photo Lithography Process for EE Education Use
3. 学会等名 4th MALAYSIA- JAPAN International Conference on Nanoscience, Nanotechnology & Nanoengineering 2023 (MJIC 2023) (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 K. N. Paing, T. Aizawa, H. Nishioka, M. Yamamoto, T. Sakurai, E. Bat-Orgil, Y. Kayamori, Y. Nakano, Y. Tanaka, T. Ishijima
2. 発表標題 Investigation of Pressure Dependence in Photoresist Ashing Process using Microwave Excited Water Vapor Plasma
3. 学会等名 The 39th International Conference of Photopolymer Science and Technology (ICPST-39), 2B3-508 (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 山本雅史、秋田航希、馬庭知宏、浅川万知、長岡史郎、堀邊英夫
2. 発表標題 タングステンHot-Wireで活性化したH ₂ /O ₂ 混合ガスによるノボラック系ポジ型レジストの除去速度低下の原因の検討
3. 学会等名 第20回Cat-CVD研究会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 山本雅史、秋田航希、十川翔太、十亀龍星、長岡史郎、梅本宏信、堀邊英夫
2. 発表標題 タングステン Hot-Wire で活性化した H ₂ /O ₂ 混合ガスによるノボラックレジストの除去性の検討
3. 学会等名 第18回Cat-CVD研究会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 秋田航希、十川翔太、十亀龍星、山本雅史、長岡史郎、梅本宏信、堀邊英夫
2. 発表標題 タングステン加熱触媒体で活性化したH ₂ /O ₂ 混合ガスを用いたPAC量の異なるノボラックレジストの除去
3. 学会等名 第38回国際フォトポリマーコンファレンス(国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 山本雅史, 秋田航希, 長岡史郎, 大平圭介, 梅本宏信, 堀邊英夫
2. 発表標題 He/O ₂ 混合ガス中で生成したOラジカルのレジストとの反応性評価
3. 学会等名 第81回応用物理学会秋季学術講演会(オンライン), 9p-Z25-5
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 山本雅史, 秋田航希, 西岡寛人, 谷野柊, 濱崎智行, 長岡史郎, 鹿間共一, 大平圭介, 関口淳, 梅本宏信, 堀邊英夫
2. 発表標題 活性種とポリマーとの反応について
3. 学会等名 第17回Cat-CVD研究会(オンライン), 15
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 谷野柊, 濱崎智行, 山本雅史, 鹿間共一, 堀邊英夫, 関口淳
2. 発表標題 大気圧低温プラズマによるPMMA表面への超ナノ親水構造の形成
3. 学会等名 第17回Cat-CVD研究会(オンライン), P-06
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 秋田航希, 山本雅史, 長岡史郎, 鹿間共一, 大平圭介, 梅本宏信, 堀邊英夫
2. 発表標題 He/O ₂ 混合ガスを用いたOラジカルによるレジストの分解特性の評価
3. 学会等名 第17回Cat-CVD研究会(オンライン), P-07
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 西岡寛人, 山本雅史, 長岡史郎, 鹿間共一, 大平圭介, 梅本宏信, 堀邊英夫
2. 発表標題 水素ラジカルを用いたレジスト除去速度における窒素希釈効果
3. 学会等名 第17回Cat-CVD研究会 (オンライン), P-08
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 長岡史郎, 山本雅史, 鹿間共一, 清水共, ジョンストン・ロバート・ウェストン, 松田和典, 下川房男, 堀邊英夫
2. 発表標題 理科室で構築する工学教育用半導体デバイス設計製作評価環境
3. 学会等名 第67回応用物理学会春季学術講演会 講演予稿集 (2020上智大学 四谷キャンパス) 14a-PA1-22
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 國澤悠, 山本雅史, 清水共, ジョンストン・ロバート・ウェストン, 堀邊英夫, 下川房男, 長岡史郎
2. 発表標題 理科室で構築するナノテクプラットフォーム - 設備等の限られた環境下における半導体デバイスの設計製作評価を可能にする環境の構築 -
3. 学会等名 第20回システムインテグレーション部門講演会 (高松), 3B1微細構造デバイス, 2226-2231 (2019)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 宮崎翔, 山本雅史, 河田純, 堀邊英夫, 長岡史郎
2. 発表標題 電子線レジストの感度曲線を用いたレジスト解像度パタンのモンテカルロシミュレーション
3. 学会等名 第20回システムインテグレーション部門講演会 (高松), 3B1微細構造デバイス, 2232-2235 (2019)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 山本雅史, 城井智弘, 長岡史郎, 大平圭介, 梅本宏信, 堀邊英夫
2. 発表標題 水素ラジカルを用いたKrF/ArFレジスト用ベース樹脂の除去速度における酸素添加効果
3. 学会等名 第16回Cat-CVD研究会(姫路), 14-15(2019)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 竹森有紀, 神戸正雄, 甲田優太, 山本雅史, 田村弘毅, 大箭哲史, 佐藤絵理子, 堀邊英夫
2. 発表標題 Hot-wire 法で生成した原子状水素によるネガ型レジストの還元分解
3. 学会等名 第16回Cat-CVD研究会(姫路), 43-46(2019)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 山本雅史, 城井智弘, 鹿間共一, 長岡史郎, 梅本宏信, 堀邊英夫
2. 発表標題 イリジウム加熱触媒体で生成した水素ラジカルを用いたレジスト除去速度と酸素添加量との関係
3. 学会等名 第36回国際フォトポリマーコンファレンス(千葉), B4-03(2019)(国際学会)
4. 発表年 2019年

〔図書〕 計1件

1. 著者名 堀邊英夫, 田中初幸, 花畑誠, 山本雅史, 関口淳, 虎谷秀一, 望月則宏, 萬尚樹	4. 発行年 2020年
2. 出版社 S&T出版	5. 総ページ数 193
3. 書名 ノボラックレジスト 材料とプロセスの最適化	

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究分担者	堀邊 英夫 (Horibe Hideo) (00372243)	大阪市立大学・大学院工学研究科・教授 (24402)	
研究分担者	長岡 史郎 (Nagaoka Shiro) (30300635)	香川高等専門学校・電子システム工学科・教授 (56203)	

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関