

Title	転写プリント法を用いた光ハイブリッド集積技術の研究
Sub Title	Investigation of photonic hybrid integration with a transfer printing method
Author	太田, 泰友(Ota, Yasutomo)
Publisher	慶應義塾大学
Publication year	2023
Jtitle	学事振興資金研究成果実績報告書 (2022.)
JaLC DOI	
Abstract	<p>半導体光構造の自在な光ハイブリッド集積を目標とし、転写プリント法を用いたピックアンドプレース集積技術の開拓を進めた。光構造としてGaAs薄膜を基礎としたフォトニック結晶ナノ共振器と、InP薄膜を基礎としたメンブレンレーザー構造を扱い、それらの高精度転写技術の開発を試みた。特に、粘弾性スタンプとしてPDMSと種々の透明ポリマーを比較検討し、より高速でより正確な転写技術の実現を目指した。PDMSは実績が多く、検討した2構造とも安定的に転写できることが分かった。しかし、リリース時に数十秒かけてスタンプと半導体構造を剥離する必要があり、集積プロセスの高速化に課題がある。一方、実験に用いた透明ポリマーの内PVCは1秒程度でも剥離ができることが分かり、転写プリント集積の高速化に向けた重要な知見を得た。一方、PVCでの転写では、転写プロセス後試料表面に残差が残ることが大きな課題であることも分かった。これはポリマーの粘弾性を調整する上で配合されているPlasticizerが溶け出している可能性もある。清純な転写技術の構築が次の課題となることが分かった。</p> <p>上記で開発した技術を用いて立体的な光ナノ構造の形成にも取り組んだ。特にガラス薄膜装荷したガラス上GaAsフォトニック結晶ナノ共振器の作製を進めた。GaAsフォトニック結晶は転写プリントによりガラス上に形成した。ガラス薄膜は中空構造として形成し、フォトニック結晶の上に追加で転写することで集積した。作製構造は低温顕微フオトルミネッセンス分光法を用いて光学的に評価した。GaAs内部に埋め込んだInAs量子ドットを光源とし、共振器の光学応答を調べた。共振器はガラス上に転写されることでQ値が劣化するものの、その上にさらに追加でガラス薄膜を装荷することでQ値が回復する現象が見られた。これは数値計算の結果とも一致しており、高い精度でガラス薄膜を転写プリント集積できていることが分かった。今後は開発した技術を組み合わせ、導波路結合型の量子ドット単一光子源の作製に取り組む予定である。</p> <p>We have investigated a pick-and-place integration technique based on a transfer printing method, aiming at flexible optical hybrid integration of semiconductor optical structures. We have attempted to develop a high-precision transfer-printing technique for photonic crystal nanocavities based on GaAs thin films and membrane laser structures based on InP thin films. We compared PDMS and various transparent polymers as viscoelastic stamps, aiming to realize faster and more accurate transfer-printing technology. For the case using a PDMS stamp, it requires several tens of seconds to peel off the stamp from the transferred structure, which poses a challenge in speeding up the integration process. On the other hand, it was found that PVC, among the transparent polymers used in the experiments, can be peeled off in as little as one second. This constitutes an important finding for speeding up the transfer print integration process. However, PVC transfer tends to remain residues on the sample surface after the transfer process. This may be due to the elution of plasticizer, which is used to adjust the viscoelasticity of the polymer. The next important challenge will be finding a PVC-based transfer technology that does not contaminates the samples.</p> <p>We also worked on the formation of three-dimensional optical nanostructures using the transfer printing technology. In particular, we fabricated on-glass GaAs photonic crystal nanocavities loaded with a thin glass film. The glass thin film was formed as a airbridge structure and was transferred onto the photonic crystal using transfer printing. The fabricated structures were optically characterized using low-temperature micro-photoluminescence spectroscopy. The GaAs slab contains InAs quantum dots, which serve as a light source to probe the optical response of the resonator. We found the Q-values of the resonators were degraded by being transferred onto glass and showed a recovery by loading additional thin glass films on top of the resonators. This result is consistent with the numerical calculation results, indicating that the glass thin films were accurately integrated on the photonic crystals. The next step of the project will be the fabrication of a waveguide-coupled quantum dot single-photon source, which will require a combination of the developed techniques so far.</p>
Notes	
Genre	Research Paper
URL	https://koara.lib.keio.ac.jp/xoonips/modules/xoonips/detail.php?koara_id=2022000010-20220172

保護されています。引用にあたっては、著作権法を遵守してご利用ください。

The copyrights of content available on the Keio Associated Repository of Academic resources (KOARA) belong to the respective authors, academic societies, or publishers/issuers, and these rights are protected by the Japanese Copyright Act. When quoting the content, please follow the Japanese copyright act.

研究代表者	所属	理工学部	職名	准教授	補助額	300 (A) 千円
	氏名	太田 泰友	氏名 (英語)	Yasutomo Ota		

研究課題 (日本語)

転写プリント法を用いた光ハイブリッド集積技術の研究

研究課題 (英訳)

Investigation of photonic hybrid integration with a transfer printing method

1. 研究成果実績の概要

半導体光構造の自在な光ハイブリッド集積を目標とし、転写プリント法を用いたピックアンドプレース集積技術の開拓を進めた。光構造として GaAs 薄膜を基礎としたフォトニック結晶ナノ共振器と、InP 薄膜を基礎としたメンブレンレーザー構造を扱い、それらの高精度転写技術の開発を試みた。特に、粘弾性スタンプとして PDMS と種々の透明ポリマーを比較検討し、より高速でより正確な転写技術の実現を目指した。PDMS は実績が多く、検討した2構造とも安定的に転写できることが分かった。しかし、リリース時に数十秒かけてスタンプと半導体構造を剥離する必要があり、集積プロセスの高速化に課題がある。一方、実験に用いた透明ポリマーの内 PVC は1秒程度でも剥離ができることが分かり、転写プリント集積の高速化に向けた重要な知見を得た。一方、PVC での転写では、転写プロセス後試料表面に残差が残ることが大きな課題であることも分かった。これはポリマーの粘弾性を調整する上で配合されている Plasticizer が溶け出している可能性もある。清純な転写技術の構築が次の課題となることが分かった。

上記で開発した技術を用いて立体的な光ナノ構造の形成にも取り組んだ。特にガラス薄膜装荷したガラス上 GaAs フォトニック結晶ナノ共振器の作製を進めた。GaAs フォトニック結晶は転写プリントによりガラス上に形成した。ガラス薄膜は中空構造として形成し、フォトニック結晶の上に追加で転写することで集積した。作製構造は低温顕微フオルミネッセンス分光法を用いて光学的に評価した。GaAs 内部に埋め込んだ InAs 量子ドットを光源とし、共振器の光学応答を調べた。共振器はガラス上に転写されることで Q 値が劣化するものの、その上にさらに追加でガラス薄膜を装荷することで Q 値が回復する現象が見られた。これは数値計算の結果とも一致しており、高い精度でガラス薄膜を転写プリント集積できていることが分かった。今後は開発した技術を組み合わせ、導波路結合型の量子ドット単一光子源の作製に取り組む予定である。

2. 研究成果実績の概要 (英訳)

We have investigated a pick-and-place integration technique based on a transfer printing method, aiming at flexible optical hybrid integration of semiconductor optical structures. We have attempted to develop a high-precision transfer-printing technique for photonic crystal nanocavities based on GaAs thin films and membrane laser structures based on InP thin films. We compared PDMS and various transparent polymers as viscoelastic stamps, aiming to realize faster and more accurate transfer-printing technology. For the case using a PDMS stamp, it requires several tens of seconds to peel off the stamp from the transferred structure, which poses a challenge in speeding up the integration process. On the other hand, it was found that PVC, among the transparent polymers used in the experiments, can be peeled off in as little as one second. This constitutes an important finding for speeding up the transfer print integration process. However, PVC transfer tends to remain residues on the sample surface after the transfer process. This may be due to the elution of plasticizer, which is used to adjust the viscoelasticity of the polymer. The next important challenge will be finding a PVC-based transfer technology that does not contaminates the samples.

We also worked on the formation of three-dimensional optical nanostructures using the transfer printing technology. In particular, we fabricated on-glass GaAs photonic crystal nanocavities loaded with a thin glass film. The glass thin film was formed as a airbridge structure and was transferred onto the photonic crystal using transfer printing. The fabricated structures were optically characterized using low-temperature micro-photoluminescence spectroscopy. The GaAs slab contains InAs quantum dots, which serve as a light source to probe the optical response of the resonator. We found the Q-values of the resonators were degraded by being transferred onto glass and showed a recovery by loading additional thin glass films on top of the resonators. This result is consistent with the numerical calculation results, indicating that the glass thin films were accurately integrated on the photonic crystals. The next step of the project will be the fabrication of a waveguide-coupled quantum dot single-photon source, which will require a combination of the developed techniques so far.

3. 本研究課題に関する発表

発表者氏名 (著者・講演者)	発表課題名 (著書名・演題)	発表学術誌名 (著書発行所・講演学会)	学術誌発行年月 (著書発行年月・講演年月)
Ryota Katsumi, Yasutomo Ota, Takeyoshi Tajiri, Satoshi Iwamoto, Kaur Ranbir, Johann Peter Reithmaier, Mohamed Benyoucef, Yasuhiko Arakawa	CMOS-compatible integration of telecom band InAs/InP quantum-dot single-photon sources on a Si chip using transfer printing	Applied Physics Express	2022
N. Pholsen, Y. Ota, R. Katsumi, Y. Arakawa and S. Iwamoto	Design of a quantum-dot single-photon source on a silicon nitride waveguide for efficient and indistinguishable photon generation	Conference on Lasers and Electro-Optics Pacific Rim 2022 (CLEO-PR 2022)	2022