

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	2024
Jtitle	学事振興資金研究成果実績報告書 (2023.)
JaLC DOI	
Abstract	高度な異種材料集積光回路の実現に向けて転写プリント法を用いた光ハイブリッド集積の研究を進めた。化合物半導体薄膜や光ナノ構造を転写対象とし、それぞれダイヤモンド基板やシリコン光回路上への転写集積を検討した。自作の転写プリント装置を用い、主にPDMSをスタンプ材料として転写を行った。転写の様子は高解像度の顕微鏡で観察し、必要に応じて位置合わせをしつつ転写を行った。まず、ダイヤモンド基板上への半導体薄膜構造の転写プリント集積を行った。半導体薄膜構造は、フォトリソグラフィーと選択的ウェット処理を組み合わせること、レジストをテザーとする構造として準備した。市販のダイヤモンド基板を入手し、研磨等により表面の平坦化・清純化を行った。平坦化を行わない場合、表面の荒れに起因して転写が難しいが、適切な平滑化プロセスにより克服できることが分かった。転写後の試料に対して有機洗浄によるレジスト剥離処理を行ったところ、ごく少数の薄膜に離脱が見られた。これはおそらく、ダイヤモンド基板上に付着した塵等により、適切に転写できなかったことが原因と思われる。次に、シリコン光回路上へのフォトニック結晶を含む半導体薄膜の転写集積を進めた。薄膜構造には、二次元フォトニック結晶ナノ共振器と発光体としての量子ドットが形成されている。同構造は、半導体をテザーとし、下部の犠牲層を除去することで中空構造として準備した。試料はPDMSを用いて位置合わせをしつつシリコン光導波路上へ転写した。さらに上部へとガラス薄膜を追加で転写集積することで、フォトニック結晶周囲の屈折率対称性を回復し、高Q値化を図った。作製試料は、低温顕微分光法により光学評価を行った。試料を光励起子、導波路端に設けたグレーティングポートからの光出力を観察した。結果、共振器モードと結合した量子ドットの信号を測定することに成功し、検討構造が適切に転写集積できていることが分かった。 We conducted research on photonic hybrid integration using a transfer printing method to explore advanced heterogeneously-integrated photonic circuits. Compound semiconductor thin films and photonic nanostructures were considered as transfer targets, and integration onto diamond substrates and silicon photonic circuits was investigated. We used a custom-made transfer printing device and examined transfer printing using PDMS (polydimethylsiloxane) as the stamp material. A high-resolution optical microscope was used to monitor the transfer processes, allowing for precise positioning of the transfer targets. First, we carried out transfer printing integration of semiconductor thin film structures onto diamond substrates. The semiconductor thin film structures were prepared by a combination of photolithography and wet processing. Anchor structures were prepared with photoresist. We used commercially available diamond substrates after surface planarization and cleaning, which were found to be critical for successful transfer. After the transfer process, the resist was stripped by an organic solvent. We observed that a few films were detached in this process, which could be induced by dust or other contaminants remained on the diamond substrate. Second, we investigated the transfer printing integration of semiconductor thin films containing photonic crystals onto silicon photonic circuits. The thin film structure included two-dimensional photonic crystal nanocavities and quantum dots as emitters. The sacrificial layer underneath the structure was dissolved by selective wet etching. The structure is anchored to the substrate with semiconductor tethers. The films were transferred onto silicon waveguides using PDMS with careful alignment. An additional glass thin films were loaded on top of the structure to restore the symmetric refractive index distribution around the photonic crystal, which improves the Q factor of the cavity resonance. The fabricated samples were optically characterized with low-temperature photoluminescence microscopy. We observed the signal from a quantum dot coupled to a cavity mode, demonstrating the successful transfer printing integration of the target optical structure.
Notes	
Genre	Research Paper
URL	https://koara.lib.keio.ac.jp/xoonips/modules/xoonips/detail.php?koara_id=2023000010-20230165

2023年度 学事振興資金（個人研究）研究成果実績報告書

研究代表者	所属	理工学部	職名	准教授	補助額	200千円 (B)
	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						
高度な異種材料集積光回路の実現に向けて転写プリント法を用いた光ハイブリッド集積の研究を進めた。化合物半導体薄膜や光ナノ構造を転写対象とし、それぞれダイヤモンド基板やシリコン光回路上への転写集積を検討した。自作の転写プリント装置を用い、主にPDMSをスタンプ材料として転写を行った。転写の様子は高解像度の顕微鏡で観察し、必要に応じて位置合わせをしつつ転写を行った。まず、ダイヤモンド基板上への半導体薄膜構造の転写プリント集積を行った。半導体薄膜構造は、フォトリソグラフィと選択的ウェット処理を組み合わせること、レジストをテザーとする構造として準備した。市販のダイヤモンド基板を入手し、研磨等により表面の平坦化・清純化を行った。平坦化を行わない場合、表面の荒れに起因して転写が難しいが、適切な平滑化プロセスにより克服できることが分かった。転写後の試料に対して有機洗浄によるレジスト剥離処理を行ったところ、ごく少数の薄膜に離脱が見られた。これはおそらく、ダイヤモンド基板上に付着した塵等により、適切に転写できなかったことが原因と思われる。次に、シリコン光回路上へのフォトニック結晶を含む半導体薄膜の転写集積を進めた。薄膜構造には、二次元フォトニック結晶ナノ共振器と発光体としての量子ドットが形成されている。同構造は、半導体をテザーとし、下部の犠牲層を除去することで中空構造として準備した。試料はPDMSを用いて位置合わせをしつつシリコン光導波路上へ転写した。さらに上部へとガラス薄膜を追加で転写集積することで、フォトニック結晶周囲の屈折率対称性を回復し、高Q値化を図った。作製試料は、低温顕微分光法により光学評価を行った。試料を光励起子、導波路端に設けたグレーティングポートからの光出力を観察した。結果、共振器モードと結合した量子ドットの信号を測定することに成功し、検討構造が適切に転写集積できていることが分かった。						
2. 研究成果実績の概要(英訳)						
We conducted research on photonic hybrid integration using a transfer printing method to explore advanced heterogeneously-integrated photonic circuits. Compound semiconductor thin films and photonic nanostructures were considered as transfer targets, and integration onto diamond substrates and silicon photonic circuits was investigated. We used a custom-made transfer printing device and examined transfer printing using PDMS (polydimethylsiloxane) as the stamp material. A high-resolution optical microscope was used to monitor the transfer processes, allowing for precise positioning of the transfer targets. First, we carried out transfer printing integration of semiconductor thin film structures onto diamond substrates. The semiconductor thin film structures were prepared by a combination of photolithography and wet processing. Anchor structures were prepared with photoresist. We used commercially available diamond substrates after surface planarization and cleaning, which were found to be critical for successful transfer. After the transfer process, the resist was stripped by an organic solvent. We observed that a few films were detached in this process, which could be induced by dust or other contaminants remained on the diamond substrate. Second, we investigated the transfer printing integration of semiconductor thin films containing photonic crystals onto silicon photonic circuits. The thin film structure included two-dimensional photonic crystal nanocavities and quantum dots as emitters. The sacrificial layer underneath the structure was dissolved by selective wet etching. The structure is anchored to the substrate with semiconductor tethers. The films were transferred onto silicon waveguides using PDMS with careful alignment. An additional glass thin films were loaded on top of the structure to restore the symmetric refractive index distribution around the photonic crystal, which improves the Q factor of the cavity resonance. The fabricated samples were optically characterized with low-temperature photoluminescence microscopy. We observed the signal from a quantum dot coupled to a cavity mode, demonstrating the successful transfer printing integration of the target optical structure.						
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)
藤田 晃成、N. Pholsen、川田 琉生、池尙玖、 亀井利浩、岡野誠、岩本敏、太田泰友		シリコン細線導波路と結合したガラス薄膜装荷 2次元フォトニック結晶ナノ共振器の作製		第84回応用物理学会秋季学術講演会、 21p-P19-1, 熊本城ホール(2023.9)		2023/9/21