

令和6年度実績報告書

令和7年3月21日

公立千歳科学技術大学
学長 宮永 喜一 様

公立千歳科学技術大学特別研究等助成要綱第7条に基づき、下記のとおり報告いたします。

報告者	所属	応用化学生物	学科	職名	教授	准教授	講師	助教	助手
	氏名	梅村 信弘		ふりがな	うめむら のぶひろ				
研究課題名	半導体露光用紫外線レーザー光発生及び光学材料の屈折率温度依存性の解明								
本研究費による発表論文、著書など	1. T. Okamoto, N. Umemura, K. Kato, and V. Petrov, "Phase-matching properties of ZnSiAs ₂ in the mid-IR", SPIE Photonics West 2025, 13347-20, San Francisco, 25 - 30 January 2025. 2. N. Umemura, R. Murai, M. Yoshimura, T. Kamimura, T. Morikawa, and Y. Mori, "Vacuum ultraviolet generation below 185 nm in CsLiB ₆ O ₁₀ ", ALPS/OPIC 2025, paper ALPS-A2-04, Yokohama, 21-25 April, 2025 (accepted).								

研究成果報告

(背景及び目的)

近年、半導体の微細化がすすめられている中で、その検査装置においても短波長の真空紫外線レーザーが使用されている。一方、それらの紫外線レーザーに用いられている光学部品については、短波長に光学材料の屈折率を高精度で測定する必要がある。特に、真空紫外線波長領域では急激に波長分散で屈折率が大きくなることから、産業界でもデータ取得のニーズが上がっている。

しかし、従来の屈折率測定は、波長が固定されているうえ、185 nm が測定の限界であり、それ以下の波長領域の屈折率については、185 nm 以上の屈折率データを元に、外挿補完で類推するしかなかった。その理由としては、185 nm 以下では空気中の酸素により、紫外線が吸収されてしまうため、窒素チャンバーが必要なことや、光源がエキシマランプ以外にないことが挙げられる。

本研究では、1064nm の Nd:YAG レーザーを基本光源とした2次の非線形光学効果による波長変換技術により、波長 1064 nm の近赤外線領域から 185nm 以下の真空紫外線波長領域において、任意波長への可変レーザー光を発生させるとともに、最小偏角法により光学材料の屈折率を高精度で測定するものである。

(実験結果)

本研究では、半導体の液浸露光用に用いられている ArF エキシマレーザーの発振波長である 193 nm、通信波長帯レーザー(波長 1550 nm)と Nd: YAG レーザーの第5高調波(波長 213 nm)との光和周波発生で得られる 187 nm 及び 183 nm の3波長の真空紫外線レーザー光を発生させた。実験配置の概要を下の図1に示す。光和周波発生においては、大阪大学が開発した CsLiB₆O₁₀ (CLBO) 結晶を使用した。この真空紫外線発生のプロセスにおいて、CLBO 結晶を用いたナノ秒レーザーによる光和周波発生としては、最短波長の 183 nm の発生に成功した。このときの発生の様子を図2に示す。

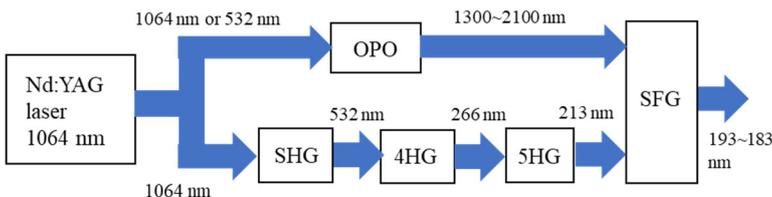


図1 光和周波発生による真空紫外線発生の概要 (OPOはKTP結晶を、SHGにはLBO結晶を、4HGはβ-BBO結晶を、5HGにはCLBO結晶を使用した)

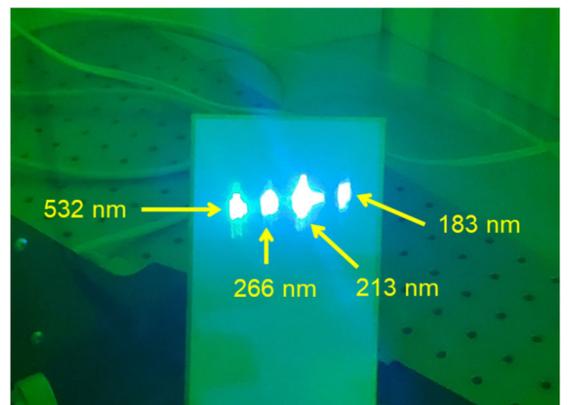


図2 波長 183 nm の真空紫外線レーザー光発生の様子

最小偏角法による屈折率の測定概要を図3に示す。プリズムの頂角 α 及び図3に示す δ を正確に測定し、以下の(1)式に代入することで屈折率を求めることができる。

$$n = \frac{\sin(\alpha + \delta)}{\sin \alpha} \tag{1}$$

今回、石英ガラスを用いて、上記の真空紫外線波長領域における3つの波長の屈折率を測定した。その結果、193 nm の屈折率では、信越化学が公表している屈折率の値と比較して、 2.4×10^{-4} の精度で一致していることがわかった。一方、波長 633 nm 及び 532nm において、石英ガラス及び CaF₂ のプリズムの温度を 80°C まで上昇させることにより、屈折率の温度変化量 dn/dT を測定した。これらの研究成果は4月に横浜で開催される国際学会で発表予定である。

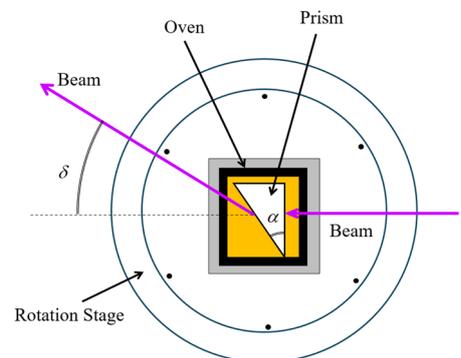


図3 屈折率測定の概要

(まとめと今後の展開)

今回、CLBO 結晶を用いて、波長 183 nm の真空紫外線レーザー光の発生に成功するとともに、それを光源として石英ガラスの屈折率を測定した。今後、より短波長である波長 170 nm 台のレーザー光を発生させるとともに、発生したレーザー光を用いて屈折率の測定を行う。また、屈折率温度変化についても、紫外線領域での測定を実施する予定である。これらデータを活用することにより、真空紫外線波長領域における高精度の光学部品の設計に資することができる。