

3次元有限要素法を用いたフォニック結晶音響光学素子の特性解析

Analysis of Acousto-optic Devices with Phononic Crystals by 3D Finite Element Method

東大生研¹, 東大ナノ量子機構² ○浅野 将生¹, 岩本 敏^{1,2}, 荒川 泰彦^{1,2}IIS¹, NanoQuine², Univ. of Tokyo ○Masao Asano¹, Satoshi Iwamoto^{1,2}, Yasuhiko Arakawa^{1,2}

E-mail: masano@u-tokyo.ac.jp

はじめに

弾性率の異なる材料の周期構造で構成されるフォニック結晶では、フォトニック結晶の場合と同様に、バンド端の周波数では音波の群速度を極めて小さくすることができる。この特徴を利用して、音波によるひずみを利用した音響光学素子の小型化・低消費電力化が実現できる可能性があることが提案されている[1]。この提案では、無限周期の完全1次元結晶を考え、正弦波状の歪分布・屈折率変化分布に基づく単純化された解析により回折効率が議論された。一方、実際の素子では、素子サイズの有限性、結晶内での非正弦波状の歪分布の影響が重要となると考えられる。今回、3次元有限要素法を用いてフォニック結晶音響光学素子の特性を解析することにより、光回折特性に与えるこれらの影響を検討したので報告する。

計算方法と結果

解析した構造を Fig.1 に示す。前回の報告と同様、結晶方位の異なる2種類のシリコン層 (A および B 層) からなる32周期のフォニック結晶である。層の厚みはいずれも $1\mu\text{m}$ で、積層方向に垂直な断面形状は $200\mu\text{m} \times 200\mu\text{m}$ の正方形である。この構造にガウス型強度分布を持つ横波音波を図のように入射したときの歪分布と光回折効率を3次元有限要素法により解析した。Fig.2 は、バンド端近傍の周波数を持つ音波を投入した場合の、構造の中心軸に沿った歪分布と屈折率変化の分布である。いずれも、以前の解析で仮定されていた正弦波状の分布とは異なり、2つの媒質の特性の違いから層の境界で値は不連続となっていることがわかる。さらに大きな包絡線を持つような形状となっており、この包絡線は音波周波数と同期して脈動することがわかった。そのため光回折効率も時間的に変化するという特性を持つことがわかった。

Fig. 3 は、音波の投入エネルギーの関数として素子の時間平均回折効率(a)を示したものである。図にはフォニック結晶中の歪分布を正弦波状と仮定した場合の回折効率(b)、層 A と同じ結晶方位のバルクシリコン材料における回折効率(c)もあわせて示した。後者については実際の歪分布を計算し回折効率を求めた。期待されるとおり、有限サイズのフォニック結晶においても、バルク材料に比べて小さい投入パワーで高い回折効率ができる。しかし有限サイズのフォニック結晶では、音波の一周の間で回折効率が振動するため、その最大値は97.7%に達するものの、時間平均回折効率は69.0%にとどまることが分かった。一方、回折光の角度分布の評価から、屈折率分布の正弦波形状からのズレに伴う高次回折率は小さい(0.1%程度)ことが明らかとなった。

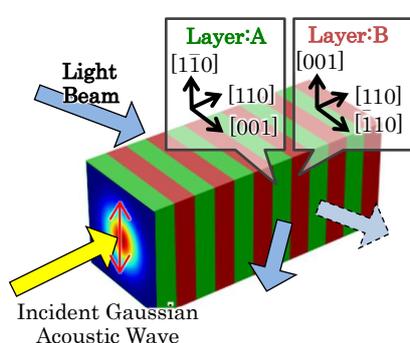


Fig.1 Schematics of the device

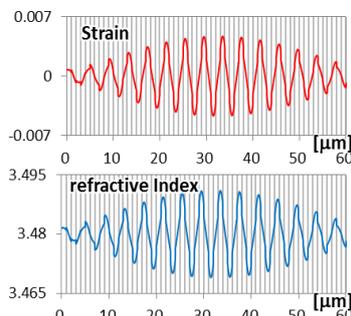


Fig.2: Distribution of strain and refractive index along the center axis of the device at an incident acoustic power of 2.3W.

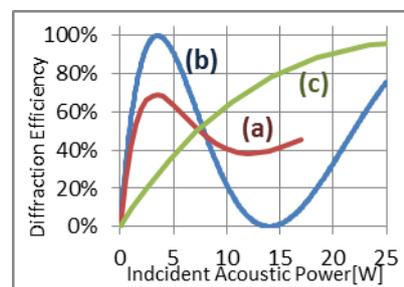


Fig.3: Incident acoustic power dependence of diffraction efficiency of the device with actual index distribution (a) and with sinusoidal index distribution (b). Efficiency from a uniform bulk material with the same dimension is also shown (c).

謝辞: 本研究は文部科学省イノベーションシステム整備事業により遂行された。

参考文献: [1] 岩本敏, 荒川泰彦, 第70応用物理学学会学術講演会, 8p-B-19(2009).