

不透明試料における表面音響波の実時間イメージング

Oliver B. Wright [北海道大学大学院工学研究科/教授]
笹山 則生 [セイコーインスツルメンツ(株)/主任]
松田 理 [北海道大学大学院工学研究科/助教授]

背景・目的

異方性物質における表面フォノンフォーカシング現象のイメージは、音響エネルギー伝達速度の方向依存性を反映した複雑な形状を示す。異方性物質におけるMHz~GHz領域の表面フォノンフォーカシング現象の動画的観察を行うことにより、表面音響波の分散関係、複雑なナノスケール構造をもつ試料(表面音響波デバイス)における音響波伝播についての多くの知見が直接的に得られることが期待される。

我々のグループは、結晶の表面音響波伝播を光パルスを用いてイメージングする方法を開発し、透明基板の弾性的な異方性を反映した複雑な形状の表面音響波の波紋を観測した。しかし、この手法ではポンプ光の光吸収が起こらない透明基板にしか使えない難点があった。本研究の目的は、この手法を改造して不透明な基板の表面弾性波伝播も測定できるようにすることである。

内容・方法

我々が開発した表面音響波伝播のイメージング法の原理を以下に述べる。超短パルスレーザー光(ポンプ光)を μm オーダーのスポットに集光して試料に照射する。これにより光照射部を点波源とする表面音響波が発生する。この表面音響波の伝播にともなう試料表面各部の反射率の変化や表面変位を別の超短パルスレーザーを用いた干渉計で検出する。ポンプ・プローブ光スポット間の空間的相対位置およびポンプ・プローブ光パルスの試料到着時刻の違いを走査することによって、表面音響波伝播の2次元動画が得られる。この手法では、表面波の励起および検出をすべて光学的方法によって行うので、表面音響波の伝播の様子を非破壊・非接触で観測できる。

この方法では、ポンプ光とプローブ光の集光にそれぞれ別の顕微鏡用対物レンズを用いており、その対物レンズの位置を制御・走査することで空間スキャンを行う。この二つのレンズがぶつからないように、ポンプ光とプローブ光は試料を挟むように照射していたので、試料は透明な基板を持つものに限られていた。本研究では、不透明な試料にも使えるように、ポンプ光の照射をプローブ光と同じ側から行う。そのために、以下の二つの方法を開発した。

1. ポンプ光を表面側から斜めに入射する方法
2. ポンプ光とプローブ光を同じレンズで集光する方法

結果・成果

1. ポンプ光を表面側から斜めに入射する方法

2つの対物レンズを同じ側に置くことは、対物レンズの大きさのために空間的な制限を受けるが、その影響を減らすために長作動距離の対物レンズを用いた。試料に斜めから照射することで、スポット形状が円形から変形してしまうことを補正するために、2つのシリンドリカルレンズを使う。この補正では、

円形のスポットを作るために楕円の短軸を引き伸ばして長軸にあわせるので、ポンプ光を試料に垂直に入射した場合よりもスポット径は大きくなる。

Si(100)基板にAu 50nmを蒸着した試料を用い、この手法で表面音響波を測定した。Siは、本実験で用いたポンプ光パルスの波長(415 nm)、およびプローブ光パルスの波長(830nm)に対して不透明である。Si結晶は立方晶系であり(100)面の対称性から期待されるように、測定した表面波の波面はきれいな円形ではなく、四角形に近い形状であった。

表面にマイクロオーダーの周期構造を持つ材料は、フォノンニック結晶としてSAWデバイスへの新しい応用が期待されている。このようなマイクロメーター構造をもつ試料に対して、本研究における時間分解イメージング測定は、非常に有効である。なぜならば、この測定では表面の構造の影響を受けて複雑な伝播を示す表面波の波面を、時間および空間領域で追跡できるので、その伝播特性を理解しやすいからである。

厚さ800 nm のCVD酸化銅と銅からなるラインアレイをSi基板(100)面上に形成したものを試料として用いた。銅のラインに平行に伝播する表面波の方が、銅のラインに対し垂直に伝播する表面波よりも短波長成分に遅れがあることが実験結果よりわかる。これは平行方向の表面波が垂直方向の表面波よりも分散が強いことを意味している。この二つの方向に伝播する表面波に対して、長波長成分の群速度の速さを測定した。その結果、平行方向の表面波は4.03 km/s、垂直方向の表面波に対して4.16 km/sであった。伝播方向に依存した分散および群速度の違いは、ラインアレイの構造が原因であると考えられる。すなわち、本実験手法でラインアレイの弾性的性質を反映した表面波の伝播を観測できた。

2. ポンプ光とプローブ光を同じレンズで集光する方法

ポンプ光とプローブ光を同じ対物レンズを用いて、試料に入射する方法を開発した。この方法は、ポンプ光のスポット位置を走査するために、2枚のミラーを用いて、対物レンズに入射するポンプ光の角度と位置を制御することで達成される。この手法の方が、1の手法に比べてスポット径を小さくすることができる。

この手法を用いても、クラウンガラスに金薄膜を蒸着した試料と、シリコン基板上に金薄膜を蒸着した試料での、表面音響波の波紋の観測に成功した。

今後の展望

本手法は、マイクロメートル構造をもつ試料表面を伝播する弾性表面波の伝播特性を調べる有効な手段である。今後の展望としては、マイクロメートル構造試料に対する定量的解析を構築しフォノンニック結晶等のSAWデバイス設計、開発、評価への応用の可能性を探る。

本研究の手法を応用した結晶の配向方位測定装置への実用化に向けた研究も行っていきたい。結晶の配向方位測定は現在、電子線回折やX線回折によって行われているが、パルスレーザーが量産化され値段が下りつつあるので、将来的にはより安価な装置として製品化できるであろう。

また、強励起で高エネルギーの表面音響波の波束を発生させ、それを長い距離にわたって伝播させると非線形な特徴が観測できる可能性がある。それについても実験を行う予定である。