

約-700の低い負屈折率を生み出す 運動インダクタンス

従来の光メタマテリアルは負の屈折率を示すとはいえ、1桁以下の負の値には到達していない。その一方、米ハーバード大学工学応用科学部 (SEAS) の研究チームは、イスラエルのワイツマン科学研究所と協同で、メタマテリアルにおいて負の屈折率を達成するまったく新しい方法を実証し、その結果として約-700の低い負の屈折率を実現した⁽¹⁾。

運動の法則由来のインダクタンス

この分野の従来研究が基礎とした物理学は一般に磁気インダクタンスに関係する。研究チームは、代わりに、運動インダクタンスを探求した。これは電界を受けた電子がニュートンの運動の第2法則に従って加速されることの現われである。

研究チームの戦略の変更は発想の単純なシフトに由来する。SEASの研究者で、この研究の責任者を務める、ドンヒー・ハム氏は、「磁気インダクタンスは、ファラデーの法則に従う、変化に抵抗する電磁世界の傾向を表す。一方、運動インダクタンスはニュートンの法則に従う、メカニカルな世界の変化に対するリラクタンスを表す」と語っている。

主著者のSEAS大学院生ホーサン・ユ氏は、「電子が2次元内に完全に閉じ込められると、運動インダクタンスが磁気インダクタンスに比べてはるかに大きくなる。そして、われわれが達成した非常に強い負の屈折率に関係しているのは、この非常に大きな2次元の運動インダクタンスである。この次

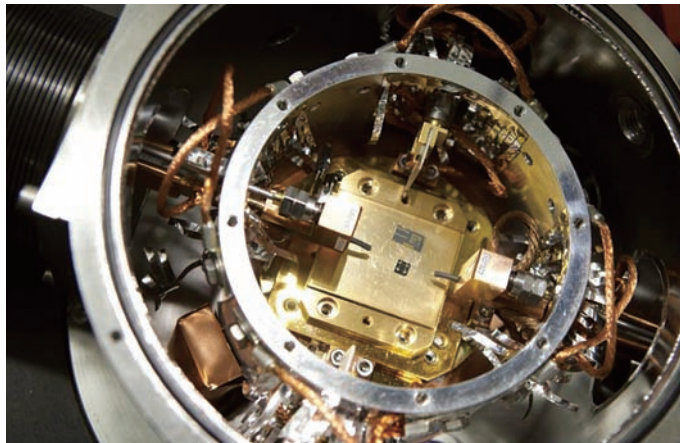


図1 プローブステーションは運動インダクタンスを示す GaAs/AlGaAsメタマテリアルを含む。(資料提供: イライザ・グリーンネル氏、SEASコミュニケーションズ)

元性は凝縮物質電子の挙動に深く影響を与え、その1つが運動インダクタンスである」と語っている。

半導体界面での発生

大きな運動インダクタンスを得るために、研究チームは、彼らのデバイスの基礎を、2つの半導体、ヒ化ガリウム (GaAs) とヒ化ガリウムアルミニウム (AlGaAs) の界面における2次元電子ガス (2DEG) の生成に置いた(図1)。この研究に使われた超純粋2DEG試料は共著者であるワイツマン研究所のウラジミール・ウマンスキー氏が作製した。

ハム氏のチームは2DEGシートをストライプアレイにスライスし、マイクロ波を使ってアレイ片面上のストライプ内の電子を加速した。その結果生じた電子の運動をアレイの反対側のストライプによって検出し、そこで電子は必然的に加速される。この概念実証デバイスは有効波をストライプに対して直角な方向に右へと伝搬させ、その各々がその中の電子を加速する運動インダクタとして振舞う。この有効波は、研

究チームの呼称によれば、負屈折率の「スタガリング(ふらつき)」度を表す。

主要な利点は、超サブ波長スケールと劇的に縮小されたサイズ内に電磁波を局在させる能力である。この概念はマイクロ波で実証されたが、電磁スペクトルの他の領域へと拡張されるならば、通常の回折限界よりもはるかに低い、あるいは近接場における、テラヘルツとフォトニック回路の動作にも利用できることが分かるであろう。それはまた、いつの日か、極端に高い倍率をもつ顕微鏡や新形式の光ピンセットなどを生み出すことになるであろう。

現状では、そのデバイスは20K以下の温度で動作している。研究チームは、テラヘルツ領域の放射を使えば、同様な結果が室温でも達成可能であると指摘している。その研究を、ハム氏のチームは代替2D導体として炭素構造グラフェンを使ってすでに開始した。

(John Wallace)

参考文献

- (1) H. Yoon et al, Nature, 488, 65 (Aug. 2, 2012).