

UVから近IRまでをカバーする 超伝導焦点面アレイ

米カリフォルニア大学サンタ・バーバラ校 (UCSB) と NASA ジェット推進研究所 (JPL) の研究チームは、低温マイクロ波力学インダクタンス検出器 (MKID) をベースにした、紫外 (UV) から近赤外 (近IR) までの光子を計数する焦点面アレイを開発した⁽¹⁾。MKIDアレイは光子計数の誤りが事実上ゼロであり、入射光子の時間と近似波長を決定することができるため、研究チームは、このアレイが天文イメージング用途の多くの半導体検出器 (CCD など) アレイを置き換えるであろうと確信している。

MKIDでは、入射光子は共振器内の超伝導体の表面インピーダンスを変化させ、その光子が共振周波数近くに調節されたそのマイクロ波プローブ信号の位相と振幅を変化させる。MKIDアレイ内の各画素は異なる周波数に同調するように作製されていて、異なる画素からのすべての信号はプローブ信号の周波数コムを使うことによってほとんどクロストークなしで個々に回復される。

32×32の超伝導画素

研究チームは、その中の各共振器が約800mKの超伝導転移温度をもつ20nm厚みのサブ化学量論組成の窒化タン (TiN) 膜で構成されている光集中素子 (OLE) 設計を開発した。アレイを読み出す2つのフィードラインはそれぞれ512個の共振器に接続され、各共振器は互いに2MHzだけ離れた4~5GHz帯域の共振周波数を持つ。「二重蛇行」インダクタ設計によって蛇行の各部の電荷による電場を正確に相殺した。

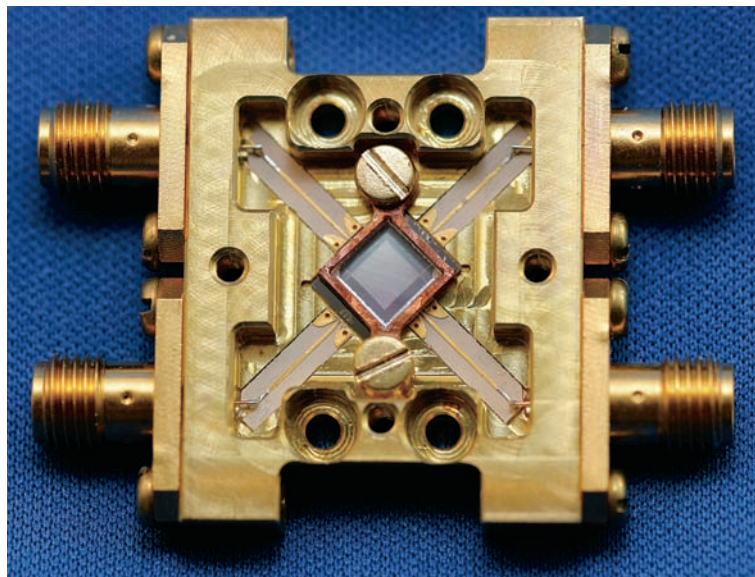


図1 マイクロ波力学インダクタンス検出器 (MKID) の超伝導アレイは、金メッキされた銅ボックス内に配置された。円形マイクロレンズの正方形アレイ (中心) は入射光を個々の検出器上に集光させた。この全構造が希釈冷凍器内で約100mKに冷却された。(資料提供:UCSB)

100 μ m間隔の円形マイクロレンズの長方形アレイ (図1) は、光を67%のフィルファクタ (正方形レンズ素子はこれを95%まで高める) で超伝導体上に集光させた。テーパー共振器のような形状最適化によって共振器を横切る光子に対する均一な応答性を確保した。雑音温度が4Kのマイクロ波高電子移動度トランジスタ (HEMT) がその信号を増幅した。

最初の実験では、共振器は水銀ランプからの254nm波長光で照明された。単一光子のパルス立ち下り時間が約50 μ sであったので、1画素あたりの最大計数は毎秒約2000カウントに制限された。主要な雑音源はHEMT増幅器であった。増幅器雑音温度を4Kよりも少し下げればエネルギー分解能が向上するはずだ。

典型的な32×32画素デバイスの場合、TiN膜の厚さ不均一性を起こす製造誤差と共振器周波数の重複が原因で、使用可能な共振器は85%ほどに留まった。将来、製造技術が改善されれば、共振器周波数の重複数が減るであろう。波長の関数としての量子効率、分光計を使って40nm厚みのTiN膜の反射率と透過率を波長の関数として測定し、超伝導膜に吸収された光子の割合を決定することによって計測された。近似測定 (マイクロレンズアレイによる損失を無視) の結果、量子効率は200nmで約80%に達するが、1 μ mでは約30%まで低下することが明らかになった。(John Wallace)

参考文献

(1) B.A. Mazin et al., Opt. Exp., 20, 2, 1503 (Jan. 16, 2012).