

(続紙 1)

京都大学	博士 (理学)	氏名	寺本 研介
論文題目	Generation of intense terahertz surface waves on a metal wire by high-intensity laser driven electrons (高強度レーザー駆動電子による金属ワイヤーへの高強度テラヘルツ表面波の発生)		
(論文内容の要旨)			
<p>In this thesis, the author summarizes the research on high-energy electrons and high-intensity terahertz surface waves generated by the interactions between high-intensity laser pulses and solid target.</p> <p>The detailed studies of electron emission by laser-foil interactions let us know that electrons are emitted in surface direction for metal foil, while in laser direction for insulation foil. It has suggested us and been actually demonstrated that a metal wire target emits electrons in its direction and gives high directivity. For more detailed studies, we have proposed the configuration to separate electron guidance wire from laser accelerated electron source (foil). The demonstration has been successful. The aluminum foil is irradiated by a laser pulse at an intensity of 3.5×10^{19} W/cm², and accelerated electrons are guided in the direction of the tungsten wire, which does not contact the foil. It has been found that a metal wire has a function to improve the directivity of electrons emitted from a foil irradiated by an intense laser pulse. The electron guidance by a metal wire would be caused by transient electromagnetic fields formed on the wire surface or foil surface, but the detailed mechanism has not been elucidated. For the studies of intense laser plasma interaction and the development of terahertz wave source, the investigation of electromagnetic field around the laser plasma is also rather important. So, the characteristics of the surface wave induced in the wire are investigated.</p> <p>The author has investigated the spatial distribution and laser energy dependence of high-intensity terahertz surface waves generated from a metal wire irradiated by a high-intensity laser pulse. A metal wire has a function as a terahertz waveguide. The terahertz wave propagates on the surface of the metal wire as a surface wave in a mode known as Sommerfeld mode. We have measured the electric and magnetic fields of surface waves by electro-optic and magneto-optic effects, respectively. When the laser intensity was 2.9×10^{19} W/cm², the peak electric field of the surface wave induced on the surface of the copper wire with a diameter of 300 μm is estimated to be 1.8 MV/cm on the wire surface. The peak electric field of the surface wave tends to increase with increasing laser energy. Experimental results show that the energy conversion efficiency from laser to surface wave is proportional to the 0.3th power of laser energy. The direct measurement of the THz wave magnetic field by MO effect has been also performed. The observed magnetic field is about 0.8 T at the maximum, and almost coincided with the electric field measurement result.</p> <p>The author has demonstrated that a terahertz surface wave with 11 MV/m field strength can be induced on a metal wire by the interaction of an intense femtosecond laser pulse with an adjacent metal foil at a laser intensity of 8.5×10^{18} W/cm². The polarity of the electric field of this surface wave is opposite to that obtained by the direct interaction of the laser with the wire. Numerical simulations suggest that an electromagnetic wave associated with electron emission from the foil induces the surface wave. A tungsten wire is placed normal to an aluminum foil with a gap so that the wire is not irradiated and damaged by the laser pulse, thus making it possible to generate surface waves on the wire repeatedly.</p>			

(続紙 2)

(論文審査の結果の要旨)

本論文は、高強度レーザーと物質との相互作用により発生加速した電子が誘起したテラヘルツ周波数帯の表面電磁波の発生に関する物理をまとめたものである。

金属細線はテラヘルツ周波数帯の電磁波(テラヘルツ波:以下 THz 波と略す)に対して優れた導波路であるが、THz 波光源からの電磁波の導波路への結合効率は高くない。本論文が対象としているのは、金属細線導波路上に高強度短パルスレーザーを直接照射して THz 波光源を形成する系である。この系に対して、金属細線を走る THz 波の電場と磁場をそれぞれ光電気効果と光磁気効果により捉えることに成功した。電場の大きさの金属細線からの距離、金属細線の直径、照射レーザーエネルギーなどに対する依存性を初めて正確に測定し、捉えた電磁場が細線導波路を伝搬する表面波(Sommerfeld Wave)であることを検証した。直径 300 μm の銅細線への照射レーザー強度が $2.9 \times 10^{19} \text{W/cm}^2$ の場合、細線表面で 1.8MV/cm の電場を発生した。また、観測電場の大きさがレーザー強度に対して 0.3 乗で増加することも明らかにし、本系の電場増加に対する指針を与えた。

さらに、本 THz 波光源の実用化へ向けた課題を念頭に、連続照射を可能とする系を提案実証した。上記の系では、金属細線にレーザーを照射することにより、細線が損傷し同じ位置にレーザーを集光照射できない。損傷していない面へのレーザー照射のための細線を動かせば、THz 波放射あるいは集光の他端も同時に動いてしまい応用に適さない。申請者はレーザーの連続照射可能な薄膜標的で電磁波を発生し、薄膜裏面近傍に配置した金属細線で THz 波を伝送する系を提案し実験実証した。実験では厚さ 11 μm のアルミ薄膜の裏面に直径 300 μm タングステン細線の間隔を変化(0.1~4mm)させながらレーザーを照射し、光電気効果により測定した。その結果、5ps のパルス幅で最大 0.13MV/cm の表面電磁波を観測した。また、電子運動による電磁場計算シミュレーションを実施し、細線上での表面波発生機構を考察し、短パルスレーザーによる電子加速と同時に自由空間中に放射する電磁波の一部が近傍細線に表面電磁波として移行していることが明らかとなった。

レーザー駆動電子による金属細線への表面 THz 波の発生に関するこれらの知見は新たな THz 波光源とその応用を拓く意義深いものである。よって、本論文は博士(理学)の学位論文として価値のあるものと認める。また、令和 2 年 1 月 16 日、論文内容とそれに関連した事項について諮問を行った結果、合格と認めた。

要旨公表可能日： 年 月 日以降