

レーザー光励起光電子スペクトルにみられる振動励起構造 (JST さきがけ*, 東大新領域**, 理研***)

○荒船竜一*, 山本真祐子**, 高木紀明**, 川合眞紀**,***)

【緒言】我々は非弾性的に放出された光電子に着目した新規表面分光法として、レーザー光を用いた光電子分光に取り組んでいる。振動励起非弾性光電子放出のダイアグラムを Fig. 1 に示す。レーザー光電子分光は、各種素励起(特に振動素励起)と相互作用しうる低速光電子を高エネルギー分解能で測定できる。光電子の非弾性相互作用は弾性的に放出される光電子スペクトルの複製構造を素励起のエネルギー下に形成させる [1,2]。

本手法はこれまでアクセスすることが困難であった低エネルギーの振動モードについて検出可能な手法として期待できるが、光電子と振動素励起の非弾性相互作用については殆んど理解されていない。本手法を表面振動分光法の一つとして確立するために、様々な試料に対してシステマティックな条件変化に応じた実験を進めることが必要である。本発表では Cu(110) についてレーザー光電子分光を適用し光電子の振動励起非弾性放出過程について一つの知見を得たので報告する。**【実験】**励起光として Ti:Sapphire レーザー (2ps, 82MHz) の 3 次高調波を用いた。試料は Cu(110) であり試料温度は 16 K である。表面垂直方向に放出された光電子をエネルギー分解能 4 meV で検出した。

【結果および考察】Cu(110) の清浄表面のレーザー光電子スペクトルにはフェルミ・レベル近傍に特徴的な電子構造がないにもかかわらず 15 meV の位置にステップが現れた (図 2)。このスペクトル形状は弾性的に放出される光電子のスペクトル(その形状は Fermi-Dirac 分布関数)と 15 meV のエネルギーを失った光電子のスペクトルの和として記述される (図 2 点線)。

ここで問題となるのは、この非弾性コンポーネントの帰属である。エネルギーの大きさから考えて、その起源となる素励起が振動由来(フォノン由来)であることに疑いはない。しかし、15 meV のエネルギーとなる表面局在フォノンは報告されていない。さらに酸素を吸着させてもこのステップ位置は変化しなかった。このことから、我々はこのステップの帰属は表面局在フォノンではなくバルク・フォノンに由来するものと考えた。

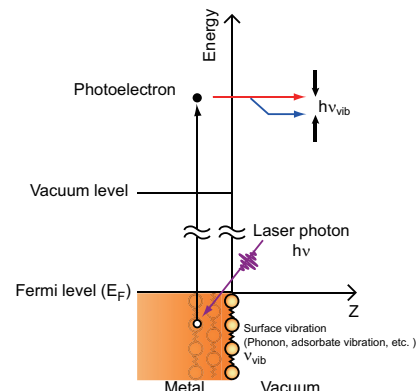


Fig. 1: 非弾性光電子放出過程のダイアグラム。光電子放出において弾性的に放出される過程に加え、光電子が表面振動素励起(表面フォノン、吸着種の分子振動)と非弾的に相互作用する非弾性放出過程の2つがあり得る。

連続的に存在するバルク・フォノン・エネルギーのうちある特定のエネルギーを持つフォノンのみが(ここでは 15 meV のエネルギーを持つフォノン)光電子と非弾性相互作用する機構を考察する。Fig. 3 に Γ -K 方向のバルク・フォノンのバンド図を示す。フォノン・バンド図のみからはこの 15 meV というエネルギーが特徴的なエネルギーであるように考えるのは困難である。ここで本研究で用いたレーザー光で励起される光電子がフェルミ・レベル極近傍の電子であることを考慮に入れる。レーザー光励起された光電子はその波数がほぼフェルミ波数である(光の運動量は十分小さいので光励起後の運動量変化は無視できる)。このフェルミ波数における T_1 モードのエネルギーが 15 meV となる。このことから、我々は光電子がその放出過程において、波数が一致するフォノン・モードと非弾性的に相互作用できるという仮説を提示する。この仮説の妥当性を検証するために結晶構造が同じであり、フェルミ波数、フォノン・バンドがよく知られている Ag(110) についてもレーザー光電子分光を適用した。測定されたスペクトルにはフェルミ・レベルの下 9meV にステップが現われ、このエネルギー値は Ag おける (Γ -K に沿った) T_1 モードのフェルミ波数におけるエネルギーと一致した。この結果は先に述べた仮説の妥当性を強く支持している。

本研究のみからは他のフォノン・モードが光電子によって励起されない理由を説明することができておらず、さらなる研究が必要ではあるが、光電子の振動励起非弾性放出過程を理解するための重要な指針の一つが得られたと考えている。講演ではスペクトルの励起光エネルギー依存性も含め、光電子と振動素励起の相互作用についてより詳細に議論する。

References: [1]R. Arafune *et al.*, Phys. Rev. Lett. **95**, 207601 (2005). [2]R. Arafune *et al.*, Surf. Sci. **600**, 3536 (2006).

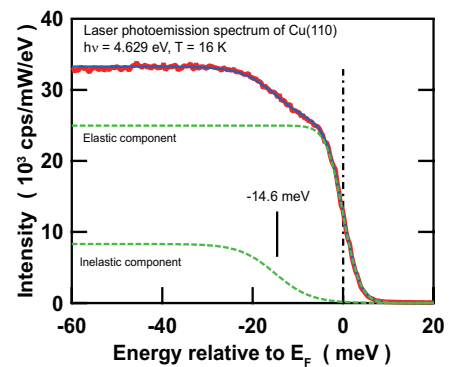


Fig. 2: Cu(110) のレーザー光電子スペクトル。弾性的に放出される光電子のスペクトル (elastic component) と 15 meV エネルギーを失った光電子 (inelastic component) の和で表わされる。

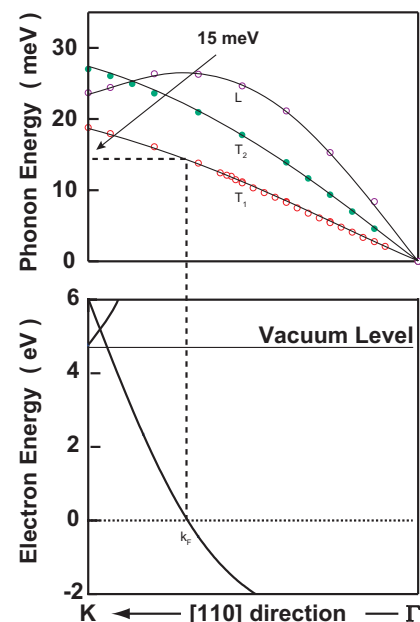


Fig. 3: バルク Cu の Γ -K 方向 ([110] 方向) に沿ったフォノン(上)および電子(下)エネルギーバンド。フェルミ波数における T_1 フォノンモードのエネルギーが本手法で検出した 15 meV になる。