11 Blatt - Festkörperphysik 2 - Two-photon photoemission (2PPE)

11.1 (lineare Abhängigkeit $E_{kin}(h\nu)$)

Die lineare Abhängigkeit wurde über einen Fit der Peaks ermittelt (siehe Abbildung (1)). Es ergeben sich die folgenden linearen Abhängigkeiten. Für Peak A ($f(x) = ax + b$)

$$\begin{aligned} a &= (1.088 \pm 0.094) \\ b &= (-0.91 \pm 0.15)\ \text{eV} \end{aligned}$$

und für Peak B ($g(x) = cx + d$)

$$\begin{aligned} c &= (4.03 \pm 0.14) \\ d &= (-5.35 \pm 0.20)\ \text{eV} \end{aligned}$$

somit erhalten wir also für die linearen Abhängigkeiten

$$\begin{aligned} \text{Peak A} &\propto 1 \cdot h\nu \\ \text{Peak B} &\propto 4 \cdot h\nu \end{aligned}$$

Es gilt die Formel für die kinetische Energie:

$$E_{kin} = E_B + n \cdot h\nu - \Phi$$

mit $\Phi = 4.93\,\text{eV}$ und E_B der Bindungsenergie relativ zur Fermienergie. Wobei wir unsere Fitparameter identifizieren können $a, c = n$ und $b, d = E_B - \Phi$.

11.2 (Anfangs-, Zwischen- und Endzustand)

Im Falle des Peaks A handelt es sich um einen Zwischenzustand (liegt energetisch zwischen E_F und E_{vac}), wobei dieser zuerst mit $3 \cdot h\nu$ aus dem Valenzband populiert wird. Peak B ist ein Anfangszustand (liegt energetisch unter E_F), wobei über einen virtuellen Zwischenzustand mit $1 \cdot h\nu, 3 \cdot h\nu$ oder $3 \cdot h\nu, 1 \cdot h\nu$ gegangen wird.

11.3 (Energie relativ zur Fermi- und Vakuumenergie)

Die Bindungsenergie relativ zur Vakuumenergie lässt sich berechnen als:

$$E_{B,V} = b, d$$

wobei die Bindungsenergie relativ zur Fermienergie durch

$$E_{B,F} = b, d + \Phi$$

gegeben ist. Wir erhalten also somit

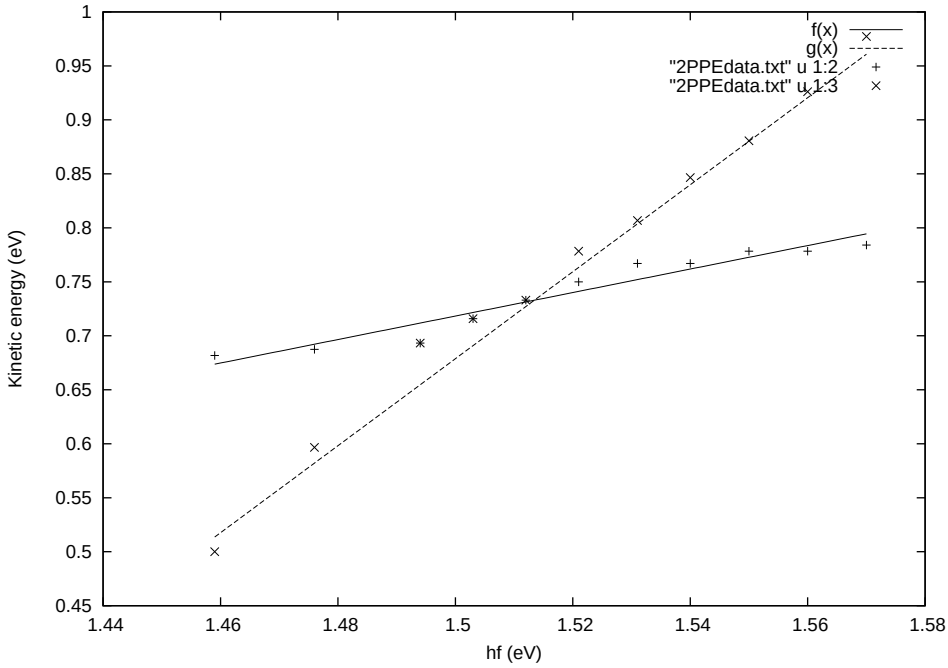

Figure 1: $E_{kin}/h\nu$-Plot der Peaks der 2PPE-Messung

$$
\begin{aligned}
E_{B,F,(A)} &= (4.02 \pm 0.15)\ \text{eV} \\
E_{B,F,(B)} &= (-0.42 \pm 0.20)\ \text{eV} \\
E_{B,V,(A)} &= (-0.91 \pm 0.15)\ \text{eV} \\
E_{B,V,(B)} &= (-5.35 \pm 0.20)\ \text{eV}
\end{aligned}
$$

11.4 (Oberflächenzustände)

Die experimentell bestimmten Energiewerte für die Oberflächenzustände können wir aus **11.3** entnehmen. Diese können wir vergleichen mit Werten, die wir für Shockley-, Tamm- und Rydbergzustände erhalten, um zu bestimmen, um welche Oberflächenzustände es sich handelt.

Die Rydbergzustände lassen sich berechnen über

$$E_n = E_{vac} - \frac{0.85\,\text{eV}}{(n+a)^2}$$

mit $a = \frac{1}{2}\left(1 - \frac{\phi_c}{\pi}\right)$, was wir auf $a = 1$ setzen. In unserem Fall haben wir die Energie relativ zur Vakuumenergie betrachtet, d.h. wir können direkt vergleichen mit

$$E_{B,V} = -\frac{0.85\,\text{eV}}{n^2}$$

Setzen wir $n = 1$ erhalten wir

$$E_{B,V} = -0.85\,\mathrm{eV}$$

was gut mit unserer Messung von

$$E_{B,V,(A)} = (-0.91 \pm 0.15)\ \mathrm{eV}$$

übereinstimmt. Der Peak A ist daher also der Rydberzustand für $n = 1$. Der Peak B kann nicht aus der Rydbergserie stammen, da $n \in \mathbb{N}$ und somit nur Werte $E \geq -0.85\,\mathrm{eV}$ erreicht werden können. Daher muss es sich um einen Shockley- oder Tammzustand handeln. Vergleich mit dem Vorlesungsskript (ARUPS.pdf) liefert, dass die Energie

$$E_{B,F,(B)} = (-0.42 \pm 0.20)\ \mathrm{eV}$$

einem Shockley Oberflächenzustand entsprechen muss.