

## 6.3 Phonon-Photon-Wechselwirkung

In einem einfachen Modell des Festkörpers geht man davon aus, dass die thermischen Gitterschwingungen die Atome aus ihren Ruhelagen auslenken. Die dadurch entstehenden Abweichungen im periodischen Elektronenpotenzial führen zu der in Festkörpern wirksamen Elektron-Phonon-Kopplung, die die Ursache ist für die Umwandlung elektrischer Energie in Wärme nach dem Ohmschen Gesetz. Andererseits bilden sich durch die Auslenkungen auch atomare elektrische Dipole, sodass eine Dipoldichte oder Polarisation entsteht. Diese Dipolmomente sind bei gegeneinander schwingenden Nachbaratomen, also bei optischen Phononen, und bei polaren Halbleitern besonders groß und in einfacher Näherung proportional zu Auslenkung des Atoms aus seiner Ruhelage. Im elektrischen Feld der elektromagnetischen Strahlung  $\mathbf{E} = -\dot{\mathbf{A}}$  ist dann als Polarisationsarbeit die Energie

$$E = - \int \mathbf{P}(\mathbf{r}, t) \cdot \mathbf{E}(\mathbf{r}, t) d^3r$$

von der Strahlung aufzuwenden, die dem Energie-Operator des Lichtes hinzuzufügen ist, und die Phonon-Photon-Wechselwirkung beschreibt. Dazu wird die Polarisation  $\mathbf{P}$  durch die

Erzeugungs- und Vernichtungsoperatoren  $b_l^+(\mathbf{p})$  bzw.  $b_l(\mathbf{p})$  der Phononen,

mit der Energie  $\hbar\omega_l(\mathbf{p})$  und dem Impuls  $\hbar\mathbf{p}$ , ausgedrückt, und die elektrische Feldstärke  $\mathbf{E}$  durch die

Erzeugungs- und Vernichtungsoperatoren  $c_j^+(\mathbf{q})$  bzw.  $c_j(\mathbf{q})$  der Photonen.

In dem Ausdruck der Phonon-Photon-Wechselwirkung treten dann Terme der Art  $c_j^+(\mathbf{q})b_l(\mathbf{p})$  und  $b_l^+(\mathbf{p})c_j(\mathbf{q})$  mit

$$h\nu_j(\mathbf{q}) = \hbar\omega_l(\mathbf{p}) \quad (\text{Energiesatz}) \quad \text{und} \quad \hbar\mathbf{q} = \hbar\mathbf{p} \quad (\text{Impulssatz})$$

auf, die die Emission eines Photons bzw. die Absorption eines Photons beschreiben. Hierbei wird die Energie des Photons unmittelbar in die Energie eines Phonons umgewandelt, und der Impulssatz kann nur mit einem optischen Phonon mit  $\mathbf{p}$  am  $\Gamma$ -Punkt, also bei  $\hbar\mathbf{p} \approx 0$  erfüllt werden.

Außerdem gibt es Terme, die Zweiphononenprozesse mit akustischen Phononen darstellen

$$h\nu_j(\mathbf{q}) = \hbar\omega_{l_1}(\mathbf{p}_1) + \hbar\omega_{l_2}(\mathbf{p}_2) \quad \text{mit} \quad \hbar\mathbf{q} = \hbar\mathbf{p}_1 + \hbar\mathbf{p}_2 \approx 0$$

mit  $b_{l_1}^+(\mathbf{p}_1)b_{l_2}^+(\mathbf{p}_2)c_l(\mathbf{q})$ , bei denen die Impulse der beiden Phononen entgegengesetzt gleich sein müssen.

Die Absorption bzw. Emission eines Photons beschreiben dann die Diagramme:



Die optischen Eigenschaften von Halbleitern und Metallen werden hauptsächlich durch die Elektron-Photon-Phonon-Kopplung bestimmt.