Heiko Dumlich 13. Juni 2007

7 Übungsblatt Photovoltaik

7.1 (Multijunction Solarzelle)

Wir betrachten monolithische und mechanisch verbundene Multijunction Solarzellen.

Die Vorteile der mechanisch verbundenen Solarzellen sind, dass man keine Stromanpassung und keine Gitteranpassung benötigt. Zudem kann jede Zelle einzeln optimiert werden. Nachteile sind die aufwändige und somit teure Produktion, die Metallkontakte, welche einen Schatten auf Teile der Zelle werfen und dass das Top Substrat einen signifikanten Teil des Lichtes absorbiert, zudem besitzen sie auch ein großes Gewicht.

Die Vorteile der monolithischen Solarzelle sind, dass es keine zusätzliche Abschirmung durch Metallkontakte gibt, die Zelle gewachsen wurde, also eine Zelle ist, die aus mehreren Kristalltypen besteht und die relativ günstige Massenproduzierbarkeit. Nachteile sind die vorzunehmende Strom- und Gitteranpassung, wobei sonst zu große Effizienzverluste auftreten, die Diffusionslänge spielt hierbei auch eine Rolle.

Im Falle von Serienschaltung von monolithischen Teilzellen kann es zu Thermalisierungsverlusten kommen, da energiereiche Photonen in Teilzellen mit kleinerer Bandlücke transferiert werden, um Stromanpassung zu erzielen.

Die Gitteranpassung wird benötigt um Versetzungsdichten zu minimieren, zudem führt eine schlechte Gitteranpassung zu einer erhöhten Rauhigkeit, sowie Verlusten in der Leerlaufspannung von bis zu einigen hundert mV.

7.2 (Tandem Solarzelle)

Die Leerlaufspannungen bei $T = 300\,K$ für zwei Solarzellen betragen $V_{OC(\text{InGaAs})} = 371\,mV$ und $V_{OC(\text{InGaAsP})} = 610\,mV$.

a)

Es ist die Überschussladungträgerdichte $n_p \cdot p_p$ für beide Zellen zu berechnen, wobei die intrinsischen Ladungsträgerdichten $n^2_{i(\text{InGaAs})} = \left(1,8 \cdot 10^{12}\right)^2$ und $n^2_{i(\text{InGaAsP})} = \left(5 \cdot 10^{9}\right)^2$ betragen. Die Leerlaufspannung V_{OC} ist der Differenz der Quasiferminiveaus proportional: $qV_{OC} = E_{F_n} - E_{F_p}$. Wir betrachten den Fall im thermischen Gleichgewicht, hierfür gilt neben dem Massenwirkungsgesetz $n \cdot p = n_i^2$:

$$\begin{aligned} n &= n_i \exp\left(\frac{E_F - E_i}{kT}\right) \\ p &= n_i \exp\left(\frac{E_i - E_F}{kT}\right) \end{aligned}$$

Legen wir nun unsere Leerlaufspannung an, wird die Anzahl der Minoritätsladungsträger auf beiden Seiten des Übergangs verändert, so, dass das Massenwirkungsgesetzt nicht mehr gilt. Wir erhalten eine "Aufspaltung" des Fermi-Niveaus in zwei Quasi-Fermi-Niveaus, was zu den Gleichungen:

$$\begin{aligned} n &= n_i \exp\left(\frac{E_{F_n} - E_i}{kT}\right) \\ p &= n_i \exp\left(\frac{E_i - E_{F_p}}{kT}\right) \end{aligned}$$

führt. Das Produkt von n und p liefert also:

$$n_p \cdot p_p = n_i^2 \exp\left(\frac{E_{F_n} - E_i + E_i - E_{F_p}}{kT}\right)$$

mit $qV_{OC} = E_{F_n} - E_{F_p}$ folgt nun:

$$n_p \cdot p_p = n_i^2 \exp\left(\frac{E_{F_n} - E_{F_p}}{kT}\right) = n_i^2 \exp\left(\frac{qV_{OC}}{kT}\right)$$

wobei $q = e$ die Elementarladung ist. Wir können unsere Werte einsetzen und erhalten:

$$\begin{aligned} \text{InGaAs}: n_p \cdot p_p &= \left(1,8 \cdot 10^{12}\right)^2 \exp\left(\frac{1.602 \cdot 10^{-19} \cdot 371 \cdot 10^{-3}}{1.381 \cdot 10^{-23} \cdot 300}\right) = 5,51 \cdot 10^{30} \\ \text{InGaAsP}: n_p \cdot p_p &= \left(5 \cdot 10^{9}\right)^2 \exp\left(\frac{1.602 \cdot 10^{-19} \cdot 610 \cdot 10^{-3}}{1.381 \cdot 10^{-23} \cdot 300}\right) = 4,38 \cdot 10^{29} \end{aligned}$$