

# Kapitel 1

## Einleitung

Aufgrund militärischer Anforderungen war man in den 40er und 50er Jahren des 20. Jahrhunderts intensiv auf der Suche nach einem direkten intrinsischen Halbleiter für den langwelligen Infrarot-Wellenlängenbereich (LWIR, 8-14  $\mu\text{m}$ ). Ein Ergebnis dieser Bemühungen war die Synthese der ternären Legierung HgCdTe im Jahre 1958 von der Lawson Forschungsgruppe [1] am Royal Radar Establishment in England. Die Bedeutung dieser Arbeit wurde schon früh erkannt. Das führte zu einer intensiven Entwicklung in zahlreichen Ländern wie England, Frankreich, Polen, Deutschland, der Sowjetunion sowie den USA [2]. Doch wurde über die Entwicklung in den ersten Jahren wenig veröffentlicht. Die Arbeiten in den USA zum Beispiel unterlagen der Geheimhaltung bis in die späten 60er Jahre. Die ersten Photodetektoren wurden in den USA bereits 1964 von Texas Instruments hergestellt.



Abbildung 1.1: HgCdTe in Infrarotkameras: Das Rockwell 2x2 2Kx2K Infrarot-Array Hawaii-2RG [3].

Verschiedene Eigenschaften machen HgCdTe zum idealen Material als IR Detektor. Einige von diesen sind eine einstellbare Bandlücke von 0,7 to 25  $\mu\text{m}$ , die direkte Bandlücke mit hohem Absorptionskoeffizienten, moderate Dielektrizitätskonstante und Brechungsindex sowie einen geringen thermischen Ausdehnungskoeffizienten. Weiterhin gibt es eine Auswahl passender Substrate für epitaktisches Wachstum über einen großen Wellenlängenbereich (z. B.  $\text{Cd}_{0.96}\text{Zn}_{0.04}\text{Te}$ ).

Aufgrund seiner Eigenschaften ist HgCdTe im Bereich der IR-Detektoren das Material der Wahl [3], [4]. In Abbildung 1.1 ist das 2x2 2Kx2K Infrarotarray Hawaii-2RG (16 Megapixel) zu sehen. Es wurde für das 6,5 m James Webb Space Telescope (JWST), den Nachfolger des Hubble-Teleskopes, entwickelt. Es wird unter anderem im Very Large Telescope (VLT) der ESO

im Experiment SINFONI verwendet [5]. Das Material wird schon seit langem bei Weltraummissionen für die Infrarotastronomie eingesetzt. Zu erwähnen wäre hier das Experiment NICMOS (Near Infrared Camera and Multi-Object Spectrometer), welches aus Kameras und Spektrometern für das nahe Infrarot bis  $2,5 \mu\text{m}$  Wellenlänge am Hubble-Weltraumteleskop besteht und seit 1997 im Einsatz ist.

Seine besonderen Eigenschaften erhält die ternäre Verbindung  $\text{HgCdTe}$  durch eine Mischung der Eigenschaften seiner beiden Bestandteile  $\text{CdTe}$  und  $\text{HgTe}$ . Beide Materialien lassen sich in beliebigen Verhältnissen mischen. Das Verhältnis von  $\text{Cd}$  zu  $\text{Hg}$  wird mit  $0 < x < 1$  in  $\text{Hg}_{1-x}\text{Cd}_x\text{Te}$  angegeben. Bei  $\text{CdTe}$  handelt es sich um einen klassischen Halbleiter mit einer direkten Bandlücke von  $1,6 \text{ eV}$ . Die Legierung  $\text{HgTe}$  hingegen ist nicht einfach einzuordnen. Sie besitzt metallische Eigenschaften, weshalb einige sie als Semimetall bezeichnen. Andererseits zeigt sie Halbleitereigenschaften, die allerdings nur richtig erklärt werden können, wenn man von einer negativen Bandlücke ausgeht. Gemäß der Definition der Bandlücke als Energiedifferenz zwischen  $\Gamma_8$  und  $\Gamma_6$  beträgt die Bandlücke daher  $-0,283 \text{ eV}$ . Dies ist in Übereinstimmung mit magnetooptischen Transportmessungen [6].

Ziel dieser Diplomarbeit ist die Untersuchung der elektronischen Struktur von  $\text{Cd}_x\text{Hg}_{1-x}\text{Te}$  mit  $x$ -Werten von  $0,07$  bis  $0,4$ . Uns interessiert, wie sich die elektronische Bandstruktur beim Übergang vom Halbleiter zum 'zero-gap'-Halbleiter zum Halbleiter mit negativer Bandlücke verhält. Als verheißungsvoll erwies sich die Arbeit von N. Orlowski [7] an  $\text{HgTe}$ , in der das unter das VBM geklappte  $\Gamma_6$ -Band spektroskopisch aufgelöst werden konnte. Seine Ergebnisse von 2000 motivierte zweifellos zur Ausschreibung der folgenden Diplomarbeit im Jahre 2004:

*Elektronische Eigenschaften der II-VI-Halbleiterverbindungen  $\text{Cd}_{1-x}\text{Hg}_x\text{Te}$  und  $\text{Pb}_{1-x}\text{Sn}_x\text{Te}$*

Die in der Arbeit zu untersuchenden ternären Halbleiterverbindungen erlauben in Abhängigkeit von der Zusammensetzung eine weite Variation der fundamentalen Bandlücke, die nicht nur zu Null sondern sogar auch negativ gemacht werden kann (wird bei Nachfrage näher erläutert). Dabei wird das prinzipielle Auftreten einer negativen Bandlücke bei verschiedenen Halbleitern heute noch kontrovers diskutiert und eine direkte Untersuchungsmethode wie die winkelaufgelöste Photoemission könnte hier die Klärung bringen.

Die Aufgabe der/des Diplomandin/en besteht u.a. darin, die in einem kooperierenden Moskauer Institut hergestellten Einkristalle zu charakterisieren (z.B. SEM/Röntgenemission, Laue-Beugung, LEED) und anschließend mit winkelaufgelöster Photoemission und evtl. auch inverser Photoemission die experimentelle Bandstruktur zu bestimmen und die Ergebnisse mit Rechnungen verschiedener Modelle zu vergleichen und zu diskutieren. Die Messungen sollen sowohl im Berliner Institut als auch teilweise mit Synchrotronstrahlung (BESSY in Berlin oder HASYLAB in Hamburg) durchgeführt werden.