

1 Einleitung

Der Ladungstransport durch Dünnschicht - Heterostrukturen ist für vielerlei Anwendungen in der Mikroelektronik (z.B. Halbleiterlaser, Infrarotdetektoren, Solarzellen) von Interesse. Die Energiebarriere E_B der Heterostruktur ist eine charakteristische Größe, die den Strom wesentlich beeinflusst. Sie kann mit der inneren Photoemission präzise bestimmt werden [Roc96],[Chi96],[Che94]. Anwendung findet die innere Photoemission auch als Wirkprinzip bei Metall/Halbleiter Infrarotdetektoren (PtSi/Si) [Ela82].

Der zu messende Photostrom $I_{ph}(h\nu)$ ist relativ gering und liegt typischerweise im nA - Bereich. Ein Anstieg des Photostroms bei dünnen Metallfilmen gegenüber dicken, ist bekannt und wird qualitativ mit dem Einfluß der Streuprozesse heißer Ladungsträger im Film erklärt [Cro62],[Kon95]. Dieser Aspekt ist interessant für eine gezielte Erhöhung der Effizienz von Metall/Halbleiter Infrarotdetektoren. Um dabei einen optischen Effekt auszuschließen, muß die Absorption im Metallfilm simultan zum Photostrom bestimmt werden. Hierin liegt die experimentelle Schwierigkeit.

Die innere Quantenausbeute $Y(h\nu, E_B)$ (emittierte Ladungsträger / absorbierte Photonen) ist die charakteristische Größe für den Transport heißer Ladungsträger in der Heterostruktur. Es gibt verschiedene theoretische Ansätze, um Y zu berechnen. Das Fowler Modell beschreibt die Ladungsträger, die unmittelbar nach der optischen Anregung emissionsfähig sind [Fow31]. Die Streuprozesse der heißen Ladungsträger im Metallfilm und an der Grenzfläche bzw. Oberfläche, werden dabei nicht berücksichtigt. Auf dieses Modell stützt sich die Auswertung der inneren Photoemission zur Bestimmung der Höhe der Schottky - Barriere E_B . Diese wird aus dem Energieachsenabschnitt im sogenannten Fowler plot ($\sqrt{Y \cdot h\nu}$ als Funktion von $h\nu$) ermittelt [Moo85]. Dabei stellt sich die Frage, in wie weit sich die angenommenen Näherungen auf die absolute Bestimmung von E_B auswirken.

Kane und Dalal [Kan66],[Dal71] haben das Modell weiter entwickelt. Hier ist auch die elastische diffuse Reflexion an Grenz - und Oberfläche beinhaltet. Elektron - Elektron Stöße werden als inelastisch angenommen und Elektron - Phonon Stöße als elastisch, d.h. der Energieübertrag bei der Elektron - Phonon Streuung wird im Kane - Dalal Modell vernachlässigt. Dafür erhält man eine analytische Gleichung für die innere Quantenausbeute $Y_{KD}(h\nu, E_B, l_e, l_p, d)$, die auch von der Schichtdicke d und den mittleren freien Weglängen l_p bzw. l_e für Stöße heißer Ladungsträger im Metallfilm (mit Phononen bzw. Elektronen) abhängt. Die

elastischen Streuprozesse im Metallfilm bewirken nach dem Kane - Dalal Modell eine starke Erhöhung der inneren Quantenausbeute $Y(d)$ mit abnehmender Schichtdicke d , wenn $l_e \gg d$ gegeben ist. Die Monte - Carlo - Methode ermöglicht einen weiteren theoretischen Zugang zu Y . Hierbei wird der Weg im Metallfilm eines optisch angeregten Ladungsträgers simuliert, indem die Streuprozesse der Statistik entsprechend abfolgen.

Ziel der vorliegenden Arbeit ist die quantitative Messung der inneren Quantenausbeute $Y(h\nu)$ an dünnen Metall/Halbleiter Heterostrukturen, um einen systematischen Vergleich zur berechneten inneren Quantenausbeute (nach Fowler, Kane - Dalal, Monte - Carlo Simulation) herzustellen. Dadurch soll der Einfluß der Trägerstreuung im Metallfilm auf die innere Photoemission geklärt werden. Dies kann einerseits eine genauere Bestimmung der absoluten Höhe der Schottky - Barriere E_B ermöglichen, und andererseits eine gezieltere Nutzung der inneren Photoemission bei Detektoren und als Wirkprinzip in Solarzellen.

Neben der absoluten Messung der inneren Quantenausbeute $Y(h\nu)$, ist die genaue Bestimmung der Film Dicke d notwendig. Für den quantitativen Vergleich zwischen Theorie und Experiment müssen zudem alle Materialparameter, die in die Rechnung eingehen bekannt sein. Au/Si ist eines der am längsten erforschten Metall/Halbleiter Systeme [Met53],[Sze66],[Cro65],[Wea90]. Die relevanten Materialparameter sind für Au und Si bekannt, und das Reflexionsspektrum hängt empfindlich von der mittleren Au - Film Dicke ab (für $d < 50$ nm), sodaß d direkt aus den optischen Messungen bestimmt werden kann. Im Hochvakuum (HV) präparierte Au/Si Heterostrukturen wachsen jedoch polykristallin, mit einer rauen Oberfläche. CoSi_2/Si Heterostrukturen können hingegen unter Ultrahochvakuum (UHV) Bedingungen in einkristalliner und polykristalliner Modifikation hergestellt werden, jeweils mit einem glatten Metallfilm (homogene Schichtdicke). In der vorliegenden Arbeit wurde $Y(h\nu, d)$ quantitativ an beiden Materialsystemen (Au/Si und CoSi_2/Si) schichtdickenabhängig gemessen. Bei CoSi_2/Si wurde auch der Einfluß von Korngrenzen auf die innere Quantenausbeute untersucht. Die verwendeten Proben wurden jeweils in unserer Arbeitsgruppe hergestellt [Rab96].

Die experimentellen Ergebnisse wurden quantitativ mit den Modellen von Fowler und Kane - Dalal verglichen, sowie mit einer Monte - Carlo Simulation, die im Rahmen der vorliegenden Arbeit ebenfalls in unserer Arbeitsgruppe entwickelt wurde [MCP97].