

Title	Electronic States in Two-Dimensional Lattices under Strong Electric Fields
Author(s)	中西, 毅
Citation	
Issue Date	
Text Version	ETD
URL	https://doi.org/10.11501/3100502
DOI	10.11501/3100502
rights	
Note	

Osaka University Knowledge Archive : OUKA

<https://ir.library.osaka-u.ac.jp/>

Osaka University

氏名	なかにし たけし 中 西 毅
博士の専攻分野の名称	博 士 (理 学)
学位記番号	第 1 1 7 2 0 号
学位授与年月日	平成 7 年 3 月 23 日
学位授与の要件	学位規則第 4 条第 1 項該当 理学研究科物理学専攻
学位論文名	Electronic States in Two-Dimensional Lattices under Strong Electric Fields (強電場中の二次元格子における電子状態)
論文審査委員	(主査) 教授 斎藤 基彦 (副査) 教授 阿久津泰弘 教授 赤井 久純 教授 邑瀬 和生 助教授 松川 宏

論 文 内 容 の 要 旨

近年の半導体の分野における人工物質作成技術、微細加工技術の目ざましい進歩により、平均自由行程が大きな人周期系が実現されるようになり、この分野における理論的、実験的な研究に大きな進歩がみられた。その一つには、分子線エピタキシー法によって作成される GaAs/AlGaAs ヘテロ構造いわゆる超格子で、一次元系で理論的には予言されていたが実験的な確認が困難であったシュタルク・ラダー状態が実際に確かめられたことがある。シュタルク・ラダー状態とは周期系に強電場をかけると、エネルギー固有値は隣合う格子間の電位差の整数倍で量子化され波動関数は電場方向に局在するというものである。

しかし、二次元周期系でのシュタルク・ラダーについての理解はまだ十分とはいえない。すなわち、面内で電場の方向をさまざまに変えると電場方向の周期性は不連続に変化し、また一次元と異なり電場と垂直方向の自由度が存在する。これによって、またさらに磁場によってシュタルク・ラダー状態はどのような変更を受けるかを強束縛模型を用いて直接対角化の手法によりその電子状態を調べてきた。その結果、エネルギー・レベルは隣合う等ポテンシャル線間の電位差で量子化され、波動関数は電場方向に局在していることを明らかにした。しかし、シュタルク・ラダー間隔と縮退度の打ち消し合いにより、粗視化された状態密度は電場の方向に依らないことを示した。またバンドの端に電場の方向によりその位置と大きさが連続的に変わるエネルギー・ギャップ及び状態密度の振動など興味深い構造がみられ、これらについて考察した。

一方、二次元強束縛模型に単位格子あたり磁束量子の p/q 倍の磁束が貫くような垂直磁場をかけると、 q 個のサブバンドが現われる。ここに強電場を加え、系全体ポテンシャル差が外場のないときのバンド幅に等しくなるようなとき、状態密度に磁束の大きさに密接に関係した階段状の構造が見られることがわかった。これは、磁場によるサブバンドがそれぞれシュタルク・ラダー状態になっているとして理解された。

このとき波動関数は電場方向には局在するが電場に垂直な方向は平面波で記述される。この電場方向に局在した波動関数がそれと垂直な方向にカレントを運び、シュタルク局在による「量子細線」がつけられることが期待される。安藤によって提案されたランダウアー公式に基づくリカーゾン法を用いて、コンダクタンスを計算し電場の大きさの関数として階段状に変化することを示した。さらに、不純物の影響をランダムポテンシャルとして取り入れた計算を行ない、磁場によるチャンネルの空間的分離がランダムポテンシャルによる散乱を抑制する様子が示された。

最近、量子ドット格子と呼ばれる人工二次元周期系が実現され、これらのことを直接観察しうる有力な候補として

あげられ、今後の実験面からの研究が期待される。

論文審査の結果の要旨

中西毅君は、平面状の強束縛模型格子中の電子のエネルギー状態、波動関数、量子化コンダクタンス等を理論的に解析した。従来は磁場のみが印加された場合が研究されており、いわゆる Hofstadter の蝶構造が知られていたが、本研究では更に面内に電場を加えた場合が解析された。その結果、電子状態は極めて豊富な複雑性を持つ事が示された。これらの結果は半導体の人工超格子等で実現する事が将来的に可能であると考えられる。よって博士（理学）の学位論文として十分価値あるものと認める。