



| | |
|--------------|---|
| Title | Phonon anharmonicity and melting of two-dimensional Wigner crystals |
| Author(s) | 川口, 高明 |
| Citation | 大阪大学, 1993, 博士論文 |
| Version Type | |
| URL | https://hdl.handle.net/11094/38103 |
| rights | |
| Note | 著者からインターネット公開の許諾が得られていないため、論文の要旨のみを公開しています。全文のご利用をご希望の場合は、大阪大学の博士論文についてをご参照ください。 |

The University of Osaka Institutional Knowledge Archive : OUKA

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

The University of Osaka

氏 名 かわ 川 ぐち 口 たか 高 あき 明

博士の専攻分野の名称 博 士 (理 学)

学 位 記 番 号 第 1 0 5 8 4 号

学 位 授 与 年 月 日 平 成 5 年 3 月 25 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 **Phonon anharmonicity and melting of two-dimensional
Wigner crystals**

(2次元ウィグナー結晶の格子振動の非線型性と融解)

論 文 審 査 委 員 (主査)
教 授 斎藤 基彦

(副査)
教 授 大山 忠司 助教授 川村 光 助教授 城 健男
助教授 阿久津泰彦

論 文 内 容 の 要 旨

ウィグナー結晶は電子の形成する結晶であり、定性的には電子のポテンシャルエネルギーが運動エネルギーよりも優勢になる場合に起こり得る。2次元ウィグナー結晶は2次元電子系の発展と共に関心を集めており、その相図は定性的には高密度低温度域での量子系と低密度高温域での古典系に分けて考えることができる。そして相境界を定量的に決定できる融解機構として、古典系においては Kosterlitz-Thouless 理論が挙げられる。しかし、量子系では融解機構の理解は十分には得られてない。そこで、融解基準として格子振動の横波の不安定性の立場からその量子融解についての議論が行われている。その際、格子振動の非線型性の寄与が重要であると考えられ、それはこれまで調和近似にたいする最低次の摂動計算と自己無撞着調和近似の方法で調べられてきた。これらの方法は非線型性の取り扱い方にそれぞれ特徴を持っているが十分とは言えず、高次の非線型性を扱うための系統的な方法が必要と考えられていた。そこで本論文では、量子系の2次元ウィグナー結晶の格子振動の分散における調和近似への非線型補正を経路積分を用いて系統的に調べ、格子振動の不安定性から融解機構についての理論的研究を行った。まず、2次元3角格子のウィグナー結晶状態を仮定し、その格子振動を経路積分法によって定式化した。自由エネルギーの評価のため、従来の Jensen-Feynman 不等式をさらに3次のキュムラントまで拡張した新しい自由エネルギー不等式を用いた。試行作用として変分パラメータを含む調和型を採用し、格子振動の分散関係は自由エネルギーに対して変分を行うことで求めた。自由エネルギー不等式の評価は3次までのキュムラントを具体的に計算することで求められるが、その際の近似方法としては $1/\sqrt{\epsilon}$ についての摂動展開の方法を用いた。この経路積分法に基づいた方法によって高次の非線型補正を表すダイアグラムが導出され、格子振動の横波の分散への非線型補正の表式が得られた。最低次の補正は、まず、角度積分による方法で評価した。ここで、格子点についての和を行うことが必要であるが、それについては連続体近似と Ewald 法を用いて計算し、比較検討した。さらに Ewald の方法を一般化し、数値計算を援用することで最低次の補正を求め、角度積分の方法と比較し、良い一致が得られた。2次の補正も同様に数値計算により評価した。これらの結果、最低次の補正項は小さな正の値をとることがわかった。2次の非線型補正は全体で負となり、各過程の寄与がもとめられた。最低次の補正が小さくなることから、2次の補正からの寄与は重要となることがわかった。さらに最低次の補正だけでは格子振動の横波の不安定は生じず、高次の非線型補正を考慮することではじめて不安定が生じることがわかった。得られた融解条件は $r_s = 8 \sim 9$ となり、電子密度で考えると自由電子系の場合は 10^{14} cm^{-2} 程度に対応し、ヘテロ構造等の半導体系では 10^{10} cm^{-2} 程度に対応することがわかった。

論文審査の結果の要旨

液体ヘリウムの面上に束縛された準2次元の電子系はウィーグナー結晶を作ることが予言され、実際熱エネルギーがフェルミ・エネルギーに較べて大きな古典的な領域で液体-固体相転移が実験的に観測されている。量子的な領域すなわち絶対零度においても電子濃度を变化させると液体-固体相転移が期待されるが、その研究はあまりされていない。川口君はこの量子的相転移がウィーグナー結晶中の横波の不安定性に起因するとして、臨界濃度の計算を経路積分法に基づく摂動展開により行い $r_s \simeq 9$ を得た。その際不安定性が生ずる原因は、従来いわれている最低次の非調和項ではなく、高次の項が重要であるとの新しい知見を得た。この値の是非は今後実証的に確かめられねばならないが、将来の実験的研究を大いに刺激するものといえる。よって博士(理学)の学位論文として十分価値があるものと認める。