1979 г. Май Том 128, вып. 1

УСПЕХИ ФИЗИЧЕСКИХ НАУК

БИБЛИОГРАФИЯ

535.58(049.3)

ЭЛЕКТРОННАЯ СТРУКТУРА БЛАГОРОДНЫХ МЕТАЛЛОВ. ПОЛЯРИТОННЫЙ МЕХАНИЗМ РАССЕЯНИЯ СВЕТА

Lengeler B., Bendov B. Electronic Structure of Metals and Polariton-mediated Light Scattering. — Berlin; Heidelberg; New York: Springer-Verlag, 1978. — 114 p.—(Springer Tracts in Modern Physics. V. 82).

Этот том известной серии монографий содержит два обзора. Первый из них написан Б. Ленгелером и посвящен обсуждению результатов исследования электронной структуры благородных металлов и их разбавленных сплавов с помощью эффекта де Гааза — ван Альфена.

Эффект де Гааза — ван Альфена — квантовые осцилляции намагниченности электронов проводимости — широко применяется для определения электронной структуры чистых металлов, интерметаллических соединений и разбавленных сплавов. Обзор Б. Ленгелера содержит последние данные, полученные этим методом для чистых монокристаллов меди, серебра и золота, а также для некоторых разбавленных сплавов на их основе.

Обзор состоит из введения, пяти глав и списка литературы.

В первых двух главах содержится квазиклассическое описание эффекта де Гааза — ван Альфена и модуляционной методики его наблюдения.

В последующих главах приводятся сведения о поверхностях Ферми благородных металлов, их феноменологического описания на основе симметризованных рядов Фурье и наиболее точные, полученные автором, данные о значениях эффективных масс. Следует отметить, что электронная структура благородных металлов изучена весьма подробно; размеры поверхностей Ферми известны с точностью до 10^{-4} %, а эффективные массы и скорости электронов измерены с точностью 0,3—1%. Из сравнения вычисленных и измеренных скоростей электронов на поверхности Ферми определены локальные значения постоянной электрон-фононного взаимодействия и ее усредненная по направлениям величина.

Наибольший интерес представляет последняя глава, посвященная выяснению влияния различного рода примесей на температуру Дингла и время релаксации электронов проводимости в благородных металлах. Работами последних лет установлено, что эффективность рассеяния электрона на примеси определяется симметрией волновой функции электрона и характером примеси. Поскольку поверхности Ферми благородных металлов многосвязны, появляется возможность изучения примесного рассеяния на таких участках поверхности Ферми, где волновые функции имеют совершенно различную симметрию. Важным преимуществом благородных металлов является их металлургическая простота, а также то, что в них способны растворяться разнообразные примеси. В обзоре приведены обширные экспериментальные данные по анизотропии времени релаксации для примесей различных металлов, вакансий и внедренного водорода. Любопытно, что эффективность рассеяния зависит не только от типа примеси, но и от ее положения в решетке. Так, в зависимости от режима термообработки атомы водорода могут либо замещать атомы меди, либо располагаться в октаэдрических пустотах решетки. При этом прирост температуры Дингла для электронной орбиты вокруг «шейки» поверхности Ферми составляет 2,8 и 120 °К/ат. % соответственно. Этот и другие экспериментальные результаты находят объяснение в теории, основанной на анализе фазовых сдвигов, вносимых в волновую функцию электрона при рассеянии на примеси.

Второй обзор, вошедший в книгу — обзор Б. Бендова — посвящен поляритонной теории резонансного комбинационного рассеяния света в кристаллах. Поляритоны возникают при квантовании электромагнитного поля в кристалле и являются фактически «фотонами в среде». В окрестности экситонного резонанса эти квазичастицы

© Главная редакция физико-математической литературы издательства «Наука», «Успехи физических наук», 1979.

являются смесью (суперпозицией) состояний экситонов и поперечных фотонов и их использование требует выхода за рамки (восходящей к Я. И. Френкелю) физической картины оптических явлений, идущих с участием экситонов.

Спектр поляритонов в области резонанса существенно отличается от спектров как экситона, так и фотона. Спектральная же область, где это отличие существенно, тем больше, чем больше сила осциллятора экситонного перехода. В области резонанса зависимость дисперсии поляритонов от константы экситон-фотонного взаимодействия от силы осциллятора является нелинейной. Это означает, что в указанной области спектра использование такой теории возмущений, в которой слабым считается все экситон-фотонное взаимодействие, вообще говоря, потребовало бы для тех или иных физических величин суммирования рядов возмущений. Для ряда кристаллов при низких температурах ширины экситонных линий достаточно малы, и именно в этих условиях при обсуждении оптических явлений становится полезным использование теории поляритонов. В настоящее время в рамках этой теории обсуждаются процессы поглощения и люминесценции света в кристаллах, нелинейные оптические эффекты, а также процессы комбинационного рассеяния света.

Обзор Б. Бендова посвящен теории резонансного комбинационного рассеяния света. Его цель, как это подчеркивается во введении (гл. 1), состоит не только в том, чтобы дать анализ литературы по проблеме и обсудить особенности поляритонной теории резонансного КРС; кроме этого, в обзоре проводится подробное сравнение результатов поляритонной теории с результатами теории возмущений, а также обсуждаются те черты предсказаний поляритонной теории, которые могли бы быть выявлены экспериментально. Во введении содержится также изложение результатов теории резонансного комбинационного рассеяния света (РКРС), полученных при использовании теории возмущений по константе экситон-фотонного взаимодействия.

В гл. 2 обзора обсуждаются основы микроскопической теории поляритонов и формулируются два различных подхода в теории РКРС. В первом из них РКРС рассматривается как последовательность квантовых событий: 1) рождение поляритона «внешним» фотоном, 2) рассеяние поляритона на фононе, 3) превращение рассеянного поляритона во «внешний» фотон. Процессы 1) и 3) описываются в рамках линейных уравнений Максвелла и требуют правильного учета граничных условий (включая дополнительные граничные условия). Интенсивность процесса 2) вычисляется так же, как для неограниченной среды и в качестве начального и конечного состояний здесь используются плоские волны.

Во втором более точном подходе в качестве состояний начального и конечного используются точные решения уравнений Максвелла, найденные при учете границы и обладающие правильной асимптотикой. Так, начальному состоянию вне кристалла отвечает падающая и отраженная волны, тогда как внутри кристалла — преломленная волна или несколько преломленных волн с той же частотой (последнее может иметь место, в частности, при учете добавочных волн). Наоборот, конечному состоянию отвечает вне кристалла только уходящая волна и т. д. Переход из начального в конечное состояние осуществляется под влиянием поляритон-фононного взаимодействия, что и учитывается в первом порядке теории возмущений.

Гл. 3 посвящена обсуждению полученных в рамках поляритонной теории вероятностей РКРС. Вдали от резонансов результаты поляритонной теории совпадают с результатами теории возмущений. Поэтому особенно детальное сопоставление проведено для окрестности изолированного экситонного резонанса. Показано, что наибольшее различие частотных зависимостей эффективности РКРС в рамках упомянутых теорий имеет место для окрестности квадрупольного экситонного резонанса, а также при учете запрещенных для КРС фононов.

В этой же главе обсуждаются те особенности РКРС, которые обусловлены необходимостью учета добавочных световых волн. Первичное излучение в этом случае возбуждает несколько типов поляритонов одной и той же энергии. Поэтому спектр рассеянного излучения оказывается очень богатым, и его исследование дает ценнейшую информацию о спектре поляритонов. Здесь же речь идет о работе Цейхера, Бренига и Бирмана (1972), в которой было показано, что при нормальном падении возбуждающего света спектр рассеянного мандельштам-бриллюэновского излучения, выходящего из кристалла по нормали к ее поверхности (обратное рассеяние), должен содержать не дублет, а октет. В 1977 г. это предсказание поляритонной теории РКРС было подтверждено в работах Ульбрихта и Вайсбуха (GaAs) и Винтерлинга и Котелеса (CdS). В настоящее время такого рода исследования позволяют получать очень ценную информацию о характеристиках экситона (т. е. о его эффективной массе и продольно-поперечном расщеплении, константах затухания), а также о виде добавочных граничных условий.

Обзор написан одним из создателей поляритонной теории резонансного комбинационного рассеяния света и, безусловно, вызовет интерес у всех, интересующихся проблемами рассеяния света в конденсированных средах.

В. М. Агранович, В. П. Нижанковский