2. Однородное распространение по кристаллу – смещ атомов ->ув пер реш.

Охлаждение материалов, обладающих свободными электронами, часто приводит к ряду эффектов, отсутствующих при обычных температурах и связанных с неустойчивостью однородного и неупорядоченного их состояния, описываемого как «Ферми-газ» или «Ферми-жидкость». Это может быть сверхпроводимость, магнитные переходы с установлением магнитного порядка и т.п. Среди этих свойств свободных электронов находится и переход в так называемое состояние с Волной Зарядовой Плотности - ВЗП. Суть этого явления состоит в формировании периодических пространственных неоднородностей в распределении электронов проводимости

ВЗП известна в широком круге материалов. Так, она наблюдается, например, в хроме, обладающем трехмерным энергетическим спектром, в слоистых соединениях типа дихалькогенидов переходных металлов MX2 (M = Nb, Ta, X = Se, S), имеющих квазидвумерные энергетические спектры, а также в большом классе квазиодномерных проводников типа три- и тетрахалькогенидов переходных металлов MX3 и MX4 (M = Nb, Ta, X = Se, S), голубых бронз M0,3MoO3 (M = Rb, K) и многих других. Наиболее интересны свойства квазиодномерных проводников, в которых ВЗП может скользить, давая вклад в электрический ток и определяя многие их необычные свойства

1. исторически первым был механизм, предсказанный Р.Пайрлсом.

металл, зона проводимости которого заполнена наполовину не может быть стабилен при условии взаимодействия электронов с атомами решётки, если последние не закреплены жёстко в своих позициях. В таком металле должны возникать периодические искажения решётки, приводящие к удвоению её периода. Это сопровождается открытием энергетической щели 2∆ на уровне Ферми, так, что зона проводимости разбивается на полностью заполненную и полностью пустую. Выигрыш в энергии системы состоит в том, что электроны заполненной зоны понижают свою энергию. Правда, это сопровождается повышением энергии пустой зоны, но поскольку она не содержит частиц, то это не влияет на полную энергию системы.

Однородное распределение электронов в невозмущённой решётке (b) при формировании искажения сменяется изменением размеров зоны Бриллюэна, так, что электроны уровня Ферми оказываются непосредственно на границе зоны. На границе же зоны Бриллюэна существует энергетическая щель. Таким образом, при формировании периодического искажения решётки, уменьшающего размер зоны Бриллюэна в два раза на уровне Ферми образуется щель, делающая материал диэлектриком.

физической природой формирование ВЗП является хорошо нам уже знакомое электрон-фононное взаимодействие. Вспомним, что фонон есть стоячая волна колебаний решётки. Следовательно, его длина волны должна целое число раз укладываться в пределах кристалла. Если кристалл состоит из N элементарных ячеек, то устойчивыми стоячими волнами будут только те, что отвечают условию: N n k 2π = , n = 0, ± 1, ± 2 …± ½(N – 1), ½ N. (4.5) Здесь k – волновой вектор фонона.

С другой стороны, волновые вектора электронов на уровне Ферми kF могут принимать любые значения, в зависимости от степени заполнения зоны и ограничены только границами зоны Бриллюэна - a 2π ± , где а – параметр решётки. Следовательно, при кратном заполнении зоны, на 1/2, 1/3, 1/4 и т.п. волновые векторы Фермиевских электронов будут совпадать или быть кратными волновым векторам фононов. Такой резонанс собственных колебаний электронной и атомной подсистем неизбежно вызывает резкое возрастание диэлектрической проницаемости.

На атом решетки действ возвр сила электр природы. Атом смещ при тепл колебаниях, окруженный шубой электронов, ЭКРАН ВОЗД ВСЯКИХ ЭЛЕКТР ПОЛЕЙ, включая возвр силы -> нестаб реш -> упоряд периодич смещ ат из п р -> новая реш -> нарушается резонанс фононов и электронов из-за отс своб эл -> стаб, возвр сила снова велика.

Формирование ВЗП в одномерных кристаллах является их универсальным свойством – во всех одномерных проводниках, являющихся металлом, т.е. у которых плотность состояний на уровне Ферми при температуре 0 К не равна нулю, при охлаждении наблюдается переход в состояние с ВЗП. Для двумерных и, тем более, трёхмерных кристаллов такой переход является, скорее, исключением, нежели правилом. Причиной тому характер деформации решётки. Действительно, в одномерных системах сдвиг атомов вдоль оси цепочки не приводит ни к каким дополнительным деформациям. Однако в двумерных и трёхмерных материалах деформация уже является тензором, так, что смещение атома в одном направлении приводит к появлению деформации и в направлениях, соответствующих другим кристаллографическим осям. Природа этого очевидна – деформация в выбранном направлении приводит к растяжению, сжатию или изгибу связей выбранного атома с атомами его окружения, не лежащих на оси деформации. Ясно, что такие деформации являются паразитическими, то есть они требуют энергии на свою реализацию, но не приводят к выигрышу в энергии электронов, поскольку не влияют на изменение размера зоны Бриллюэна в выбранном направлении.

4. Оказывается, что вектора, определяемые этим уравнением не всегда являются кратными векторам обратной решётки. Экспериментально обнаружено несколько десятков соединений в которых соотношение между длинами векторов нестинга и векторов обратной решётки является иррациональным числом. Такие волны зарядовой плотности получили название «несоразмерных» ВЗП – НВЗП

В отличие от СВЗП, чьё возникновение приводит к формированию чётких и совершенно одинаковых групп атомов расположенных со строгой периодичностью, НВЗП приводит к образованию структурных фрагментов, заметно отличающихся по размеру и количеству атомов в них входящих, вследствие несовпадения периодов основной решётки и НВЗП. Это обстоятельство приводит к тому, что в отличие от СВЗП, НВЗП может перемещаться по кристаллу.

(Сходство такого типа процесса переноса заряда со сверхпроводимостью долгое время порождали иллюзии о том, что именно НВЗП могут быть причиной сверхпроводящего состояния. Действительно, в этом случае, так же как и при сверхпроводимости на уровне Ферми формируется энергетическая щель, а сопротивление резко падает. Последнее связано с тем, что длина волны НВЗП велика по сравнению с длинами волн фононов. Поскольку эффективное электрон-фононное взаимодействие происходит только при близости длин волн, то это обстоятельство резко ограничивает количество фононов, которые могут рассеивать НВЗП.)

Пиннинг. Из условия непрерывности НВЗП следует, что она должна деформироваться так, чтобы искажённый участок стал её частью. Поскольку дефектов в кристалле не один, а много, то общий вид НВЗП искажается, как это показано на правой части Рис.14.5. Происходит «зацепление» НВЗП за примеси. Такое «зацепление» получило в литературе название «пиннинг».

5. чтобы не соскочить с примеси нужно время, чтобы поднабрать/отобрать достаточно электронов, чтоыб соскочить. Волна движется неравномерно, перебежками. Т е ток не мб пост, будет шум. Период = время пробега от примеси до примесим -> величина тока определяется скоростью движения взп от дефекта к дефекту.

крип: чтобы не соскочить с примеси нужно время, чтобы поднабрать/отобрать достаточно электронов, чтоыб соскочить. Волна движется неравномерно, перебежками. Т е ток не мб пост, будет шум. Период = время пробега от примеси до примесим -> величина тока определяется скоростью движения взп от дефекта к дефекту.

6. При одновременном наложении на материал с НВЗП постоянного и переменного электрических полей возникают новые эффекты, природа которых состоит в резонансе между собственными осцилляциями системы НВЗП в постоянном поле и внешнего переменного электрического поля. Поскольку частота собственного узкополосного шума НВЗП зависит от величины приложенного постоянного электрического поля, или, что то же самое, от величины тока переносимого ВЗП, то для наблюдения резонанса можно зафиксировать частоту внешнего электрического поля и изменять амплитуду постоянного поля, измеряя величину тока, переносимого НВЗП. При этом возникает т.н. явление «ступеней Шапиро», показанное на Рис. 19.5. При совпадении или кратности собственной частоты шума ВЗП ωс и частоты внешнего поля ωас величина электрического тока перестаёт зависеть от приложенного постоянного поля Vd в некотором диапазоне его величин.

Узкополосный шум (осцилляции) при переносе тока НВЗП в NbSe3 [8.5]. Параметры эксперимента показаны на поле рисунка. Приложенное напряжение превосходит напряжение депиннинга, стало быть, проводимость проходит в режиме движения ВЗП. Частота осцилляций прямо пропорциональна силе тока. Осцилляции связаны с процессами пиннинга/депиннинга ВЗП на примесях и дефектах. Период осцилляций равен времени, требующемуся ВЗП для прохождения расстояния между центрами пиннинга.

Теперь прикл внеш поле не только пост, но и перем + стараемся добиться резонанса между пер волны и внеш полем + волна может двигаться не насквозь, а между примесями туда-сюда, а там не сопр, пока она на примесь не налетела – ступеньки шапиро.

7. про образцы

8. Стрелкой отмечена температура перехода. В кач темп перехода обычно принимается значение при кот дост макс произв dlnR/d(1/T)

9. Черным цветом - ВАХ образца длиной 456 мкм без облучения при T=120 K. Красным цветом – ВАХ при подаче на образец ВЧ поля частотой 500 кГц и амплитудой Up-p= 120 мВ (при такой амплитуде подавление порогового поля происходит не полностью и еще виден порог, если подать амплитуду ВЧ поля порядка 200 мВ, то порог исчезнет и останется только нелинейная проводимость ВЗП). Стрелками отмечено положение ступенек Шапиро. Также на черном графике видна начальная точка записи при I = 0, которая не повторилась при подаче на образец постоянного напряжения различной полярности, так как перед измерением образец был при более низкой температуре и имел более высокое сопротивление. Далее мы немного нагрели образец и стабилизировали температуру. При приложении электрического поля выше порога метастабильное состояние ВЗП релаксировало (из-за сброса деформации ВЗП, возникшей из-за изменения температуры) и сопротивление образца приняло меньшее значение, соответствующее данной температуре

Видно, что ток первой гармоники ступеньки Шапиро в 10 раз больше, чем при облучении 500 кГц.

10. ничего особенного, шапиро плохо видно