Math-Net.Ru
Общероссийский математический портал

М. Л. Кожух, Н. С. Липкина, И. С. Шлимак, Переход металл–диэлектрик в структурно разупорядоченном германии,
Физика и техника полупроводников, 1985, том 19, выпуск 2, 331–333

https://www.mathnet.ru/phts1088

Использование Общероссийского математического портала Math-Net.Ru подразумевает, что вы прочитали и согласны с пользовательским соглашением
https://www.mathnet.ru/rus/agreement

Параметры загрузки:
IP: 18.97.14.81
6 декабря 2025 г., 05:51:45

[3] Панков Ж. Оптические процессы в полупроводниках. М., 1973. 456 с.
[4] Конников С. Г., Рожков А. В., Соболев М. М., Тропп Э. А. Исследование высоковольтных структур на основе слабо легированного арсенида галлия. — В кн.: Полупроводниковые приборы. Таллин, 1982, с. 43—47.

Физико-технический институт
им. А. Ф. Иоффе АН СССР
Ленинград

Получено 8.08.1984
Принято к печати 30.08.1984

ФТП, том 19, вып. 2, 1985

ПЕРЕХОД МЕТАЛЛ—ДИЭЛЕКТРИК В СТРУКТУРНО РАЗУПОРЯДОЧЕННОМ ГЕРМАНИИ

Кожух М. Л., Липкина Н. С., Шлимак И. С.

С увеличением концентрации мелких примесей N в легированных полупроводниках низкотемпературная проводимость, обусловленная прыжками локализованных носителей по примесной зоне, растет, энергия активации проводимости в области промежуточных концентраций примесей исчезает, и при достижении критической концентрации N_c наблюдается переход металл—диэлектрик (ПМД) [1]. Величина N_c в разных материалах хорошо соответствует критерию Мотта $N_c^{1/3} a \simeq 0.25$.

При облучении германия быстрыми реакторными нейтронами образуются дефекты акцепторного типа с мелким уровнем $E_v+0.01$ эВ [2]. В работе [3] была исследована низкотемпературная проводимость по уровням этих дефектов в области сравнительно малых концентраций (интегральная доза облучения не превышала 10^{17} см$^{-2}$, а концентрация дефектных уровней $N_{деф}=8\cdot10^{15}$ см$^{-3}$). В [3] было определено значение радиуса локализации для дырки на мелком дефектном уровне $a=40$ Å.

Если провести аналогию с проводимостью по примесям, то следовало ожидать, что при дальнейшем увеличении $N_{деф}$ и достижении критического значения N_c (для $a=40$ Å $N_c=2\cdot10^{17}$ см$^{-3}$) должен произойти ПМД.

Эксперименты проводились на германии с концентрацией сурьмы $3\cdot10^{13}$ см$^{-3}$. Малая концентрация примесей обеспечивала отсутствие в исходных образцах измеримой электропроводности в области низких (гелиевых) температур. Образцы облучались быстрыми нейтронами в активной зоне реактора ВВР-М. Для «отсечки» медленной компоненты реакторного спектра ($E \leqslant 0.4$ эВ) образцы облучались в кадмиевых пеналах с толщиной стенок 0.5 мм. Величина дозы определялась на контрольных образцах-спутниках. После облучения образцы-спутники подвергались полному отжигу радиационных дефектов (450 °С, 24 ч). При этом для оценки интегрального потока нейтронов использовался экспериментально обнаруженный в [4] эффект трансмутационного легирования германия «надкадмиевыми» ($E > 0.4$ эВ) нейтронами. Концентрация трансмутационно введенных примесей в результате взаимодействия с надкадмиевыми нейтронами, определенная по эффекту Холла при 300 К, пропорциональна дозе облучения. Как показали наши исследования,[1] в неотожженных образцах трансмутационно введенные примеси не обладали электрической активностью, поскольку находились не в узлах кристаллической решетки, а в междоузлиях из-за большой энергии отдачи в процессе трансмутационных превращений. Поэтому электрические свойства неотожженных образцов определялись исключительно уровнями радиационных дефектов.

Концентрация дефектных уровней и подвижность носителей в исследованных образцах определялись по эффекту Холла при 300 К. Омические контакты наносились «холодным» способом — электролитическим осаждением никеля.

---

[1] Подробное обсуждение результатов этих исследований выходит за рамки настоящего сообщения и будет опубликовано отдельно.

На рис. 1, *а* показана дозовая зависимость концентрации дырок, обусловленных радиационными дефектами. Видно, что при больших дозах эта зависимость выходит на насыщение, т. е. максимальная концентрация дефектных уровней, которые можно ввести в германий путем облучения быстрыми нейтронами, составляет $2 \cdot 10^{18}$ см$^{-3}$. Эффект «насыщения» концентрации дефектов можно объяснить следующим образом. Быстрый нейтрон передает часть энергии атому германия, в результате чего последний создает «разупорядоченную область» (РО). Поскольку расположение атомов в РО хаотично, повторное выделение большой энергии в этой области приводит к частичному упорядочению в расположении

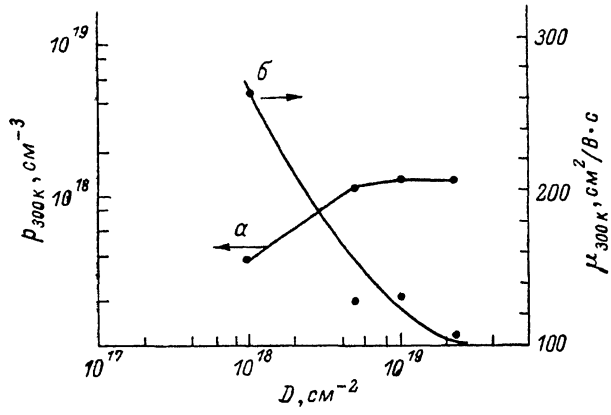

Рис. 1. Зависимость концентрации свободных дырок (*а*) и их подвижности (*б*) при 300 К от дозы облучения германия быстрыми нейтронами.

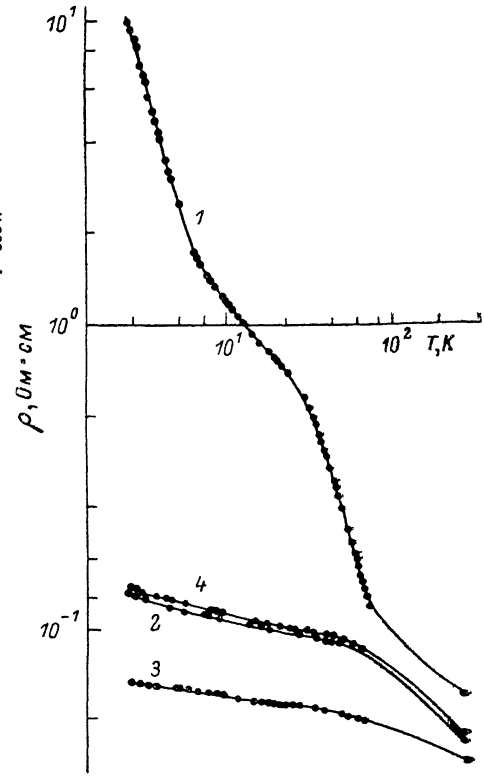

Рис. 2. Температурные зависимости проводимости образцов германия, получивших различные дозы быстрых нейтронов.

D, см$^{-2}$: *1* — 10^{18}, *2* — $5 \cdot 10^{18}$, *3* — 10^{19}, *4* — $2.3 \cdot 10^{19}$.

атомов. Аналогичный эффект имеет место при ионной имплантации, когда при больших дозах тяжелых ионов наблюдается рекристаллизация аморфизованного слоя [5].

При малых дозах, когда концентрация РО мала, вероятность выделения в них большой энергии в результате рассеяния быстрых нейтронов также мала, и концентрация дефектных состояний растет линейно с дозой. При больших дозах, когда объем, занимаемый РО, сравним с объемом кристалла, наступает динамическое равновесие, когда число вновь вводимых дефектных состояний будет компенсироваться их уменьшением из-за частичной рекристаллизации. В то же время из рис. 1, *б* видно, что подвижность свободных носителей заряда в состоянии «предельной разупорядоченности» продолжает уменьшаться, хотя и не столь быстро, как при малых дозах. Что касается низкотемпературной проводимости (рис. 2), то она в области больших доз проходит через максимум и затем начинает уменьшаться.

Оба эти эффекта могут быть объяснены в предположении, что при больших дозах быстрых нейтронов происходит перестройка пространственного расположения дефектов, их объединение в кластеры. Действительно, при концентрациях дырок 10^{18} см$^{-3}$ заметное влияние на величину подвижности оказывает рассеяние на ионизованных центрах. Если в процессе кластеризации расстояние между двумя центрами будет меньше де-бройлевской волны свободной дырки, то эти центры будут в процессе рассеяния выступать как единый центр с удвоенной величиной электрического заряда z. Следовательно, концентрация рассеиваю-

щих центров уменьшится, но, поскольку вероятность рассеяния пропорциональна z^2, общая вероятность рассеяния возрастет, что и приведет к уменьшению μ.

Корреляция в пространственном расположении дефектов, т. е. образование областей их «сгущения» и «разрежения», должна одновременно привести и к уменьшению низкотемпературной проводимости, величина которой определяется перекрытием волновых функций локализованных носителей в наиболее трудных для «протекания» [6] областях кристалла. Это предполагает, что области «сгущения» дефектов расположены, в свою очередь, хаотично и не образуют сверхструктуры, например, в виде квазиодномерных нитей, пронизывающих образец от контакта до контакта.

Математическая аппроксимация кривых проводимости $\sigma(T)$ в области температур ниже 4.2 К показывает, что в случае образца *1* имеет место активационная прыжковая проводимость, описываемая выражением типа $\sigma(T) \sim \exp[-(T_0/T)^x]$, где $x=0.5$. В образцах *2—4* наблюдается уже не активационная, а слабая температурная зависимость вида $\sigma(T)=\sigma(0)+AT^n$, где $n=0.13 \div 0.16$. Столь малый показатель степени дает, по-видимому, основания считать, что эти образцы находятся на металлической стороне перехода.

Таким образом, в своем максимальном значении электропроводность «предельно разупорядоченного» германия достигает металлического состояния.

Литература

[1] Мотт Н. Ф. Переходы металл—изолятор. М., 1979. 342 с.
[2] Cleland J. W., Crawford F. H., Pigg J. C. — Phys. Rev., 1955, № 4, p. 1170—1181.
[3] Добрего В. П., Ермолаев О. П. Прыжковая проводимость в германии по мелким уровням радиационных дефектов. — ФТП, 1976, т. 10, в. 5, с. 999—1001.
[4] Рывкин С. М., Шлимак И. С., Кожух М. Л., Трунов В. А. Влияние отжига радиационных дефектов, обусловленных быстрыми реакторными нейтронами, на межпримесные переходы в трансмутационно легированном германии. — В кн.: Межд. конф. по радиационной физике полупроводников и родственных материалов. Тбилиси, 1979, с. 789—792.
[5] Вопросы радиационной технологии полупроводников / Под ред. Л. С. Смирнова. Новосибирск, 1980. 296 с.
[6] Шкловский Б. И., Эфрос А. Л. Электронные свойства легированных полупроводников. М., 1979. 416 с.

Физико-технический институт
им. А. Ф. Иоффе АН СССР
Ленинград

Получено 17.08.1984
Принято к печати 30.08.1984

ФТП, том 19, вып. 2, 1985

ДВУМЕРНЫЙ ЭЛЕКТРОННЫЙ ГАЗ С ВЫСОКОЙ ПОДВИЖНОСТЬЮ В СПЕЦИАЛЬНО НЕЛЕГИРОВАННЫХ ГЕТЕРОСТРУКТУРАХ GaAs—$Al_xGa_{1-x}As$, ВЫРАЩЕННЫХ МЕТОДОМ ЖИДКОФАЗНОЙ ЭПИТАКСИИ

Волков В. А., Галченков Д. В., Гродненский И. М., Елинсон М. И., Матов О. Р., Старостин К. В., Чернышева О. В.

Селективное легирование гетероструктур (ГС) типа GaAs—$Al_xGa_{1-x}As$ (донорами легируются только $Al_xGa_{1-x}As$) приводит к образованию вблизи гетерограницы проводящего канала с высокоподвижным двумерным электронным газом [1, 2]. Эта система в настоящее время вызывает большой интерес (подробнее см., например, обзор [3]).

ГС с наиболее высокими [4] значениями подвижности электронов в канале μ получаются методом молекулярно-пучковой эпитаксии. ГС, полученные методом жидкофазной эпитаксии (ЖФЭ), имеют значительно меньшие значения μ: