

Диэлектрические свойства полупроводниковых соединений $\text{Cd}_{1-x}\text{Fe}_x\text{Te}$

© П.В. Жуковский, Я. Партыка, П. Венгерэк, Ю.В. Сидоренко*, Ю.А. Шостак*, А. Родзик†

Люблинский технический университет,

Люблин, Польша

*Белорусский государственный университет,

Минск, Белоруссия

†Ягеллонский университет,

Краков, Польша

(Получена 29 июня 1998 г. Принята к печати 1 июля 1998 г.)

Приведены зависимости диэлектрической проницаемости и проводимости соединений $\text{Cd}_{1-x}\text{Fe}_x\text{Te}$ ($0 < x \leq 0.03$) от температуры и частоты измерений. Установлено, что атомы Fe располагаются коррелированным образом в подрешетке Cd.

В работе [1] нами были проведены исследования диэлектрической проницаемости и сопротивления $\text{Cd}_{1-x}\text{Mn}_x\text{Te}$ ($0 \leq x \leq 0.7$) на переменном токе в области частот 100 Гц–10 кГц. Там же приведена модель обнаруженного нами явления термически активируемого роста диэлектрической проницаемости, в основе которого лежит прыжковый обмен зарядами между нейтральными дефектами, вносящими глубокие уровни в запрещенную зону полупроводниковых материалов. Как оказалось, это явление, обнаруженное впервые в кремнии, облученном большими флюэнсами быстрых реакторных нейтронов [2], характерно для широкого класса полупроводниковых материалов.

В работах [3,4] нами были исследованы оптические и электрофизические свойства соединений $\text{Cd}_{1-x}\text{Fe}_x\text{Te}$. В этих работах установлено, что материалы эти являются компенсированными полуизолирующими полупроводниками, а атомы железа вносят глубокие уровни в запрещенную зону. Такие свойства являются предпосылкой для появления дополнительной поляризации, обусловленной прыжковым обменом зарядов [1].

В настоящей работе представлены результаты экспериментальных исследований диэлектрических свойств полупроводниковых соединений $\text{Cd}_{1-x}\text{Fe}_x\text{Te}$ ($0 < x \leq 0.03$). Для измерений диэлектрической проницаемости из пластинок полупроводников разного состава толщиной 0.45 мм нанесением серебряной пасты были изготовлены конденсаторы с поверхностью обкладок около 20 мм². Измерения емкости и сопротивления проводились с помощью цифровых измерителей иммитанса E7-14 (частоты 0.1, 1 и 10 кГц) и E7-12 (1 МГц).

На рис. 1 и 2 приведены температурные зависимости диэлектрической проницаемости материалов $\text{Cd}_{1-x}\text{Fe}_x\text{Te}$ для разных частот измерений и концентраций железа. Из рисунков видно, что при низких температурах диэлектрическая проницаемость образцов с разным x составляет около 10. С ростом температуры наблюдается возрастание ϵ , причем чем выше частота измерений, тем позднее начинается рост ϵ . Наклон кривых, полученных

при разных частотах измерений для одного и того же образца, остается постоянным (см. рис. 1).

Из полученных температурных зависимостей, на основании модели, представленной в работе [1], были определены энергии активации прыжковой перезарядки дефектов, обуславливающих рост ϵ .

На рис. 3 приведены частотные зависимости диэлектрической проницаемости и проводимости, полученные с помощью измерителя импеданса VM-507 (50 Гц–500 кГц) и измерителя добротности VM-560 (50 кГц–35 МГц). Из этого рисунка видно, что ϵ материала $\text{Cd}_{0.9965}\text{Fe}_{0.0035}\text{Te}$, измеренная при 77 К, остается постоянной во всем измеренном диапазоне частот. Диэлектрическая проницаемость при 300 К в области низких частот составляет около 10^3 и, медленно уменьшаясь, при частоте около 20 МГц сравнивается с ϵ , полученной при 77 К. Из приведенной на рис. 3, кривая I частотной зависимости проводимости для $T = 300$ К видно, что до частоты около 1 МГц σ возрастает, а при $f > 1$ МГц проявляется дальнейший рост с тенденцией выхода на насыщение.

Полученные зависимости ϵ от температуры и частоты измерений находятся в полном соответствии с предложенной в работе [1] моделью, согласно которой в результате прыжкового обмена электронов между соседними нейтральными дефектами в кристалле возникают диполи, приводящие к его дополнительной поляризации. Перемещающиеся прыжковым способом электроны должны приводить также к прыжковой проводимости, которая на переменном токе возрастает вместе с частотой измерения [5]. Из приведенных на рис. 3 зависимостей $\sigma(f)$ видно, что и проводимость исследованных материалов изменяется так, как этого следовало ожидать для материалов с прыжковым механизмом проводимости.

В работе [1] нами на основе анализа результатов исследований ϵ в материалах $\text{Cd}_{1-x}\text{Mn}_x\text{Te}$ предложена модель дефектов, прыжковый обмен зарядами между которыми приводит к росту ϵ . Дефекты эти являются дефектами подрешетки Te, в ближайшем окружении

которых находятся, при последовательном росте x от 0 до 0.70, ноль, один, два, три и четыре атома Mn. Каждой из этих конфигураций соответствует своя энергия активации ΔE_i , где i — число атомов Mn — ближайших соседей дефекта. В материалах $Cd_{1-x}Fe_xTe$ изменения в

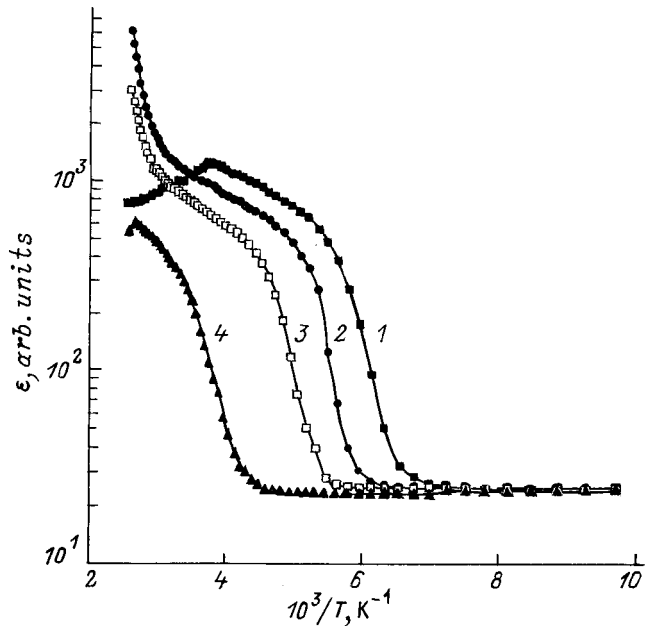


Рис. 1. Температурная зависимость диэлектрической проницаемости $Cd_{0.9965}Fe_{0.0035}Te$ для частот измерений: 1 — 0.1 кГц, 2 — 1 кГц, 3 — 10 кГц, 4 — 1 МГц.

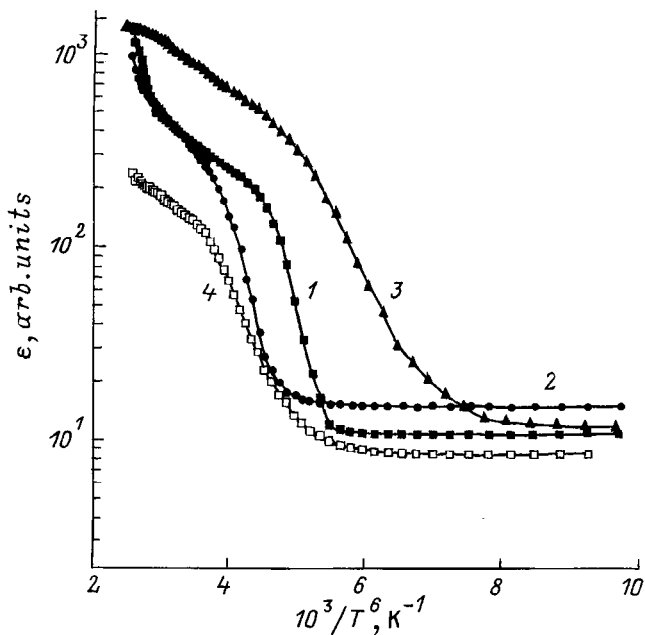


Рис. 2. Температурная зависимость диэлектрической проницаемости соединений $Cd_{1-x}Fe_xTe$ различного состава x : 1 — 0.0035, 2 — 0.01, 3 — 0.02, 4 — 0.03. Частота измерений 10 кГц.

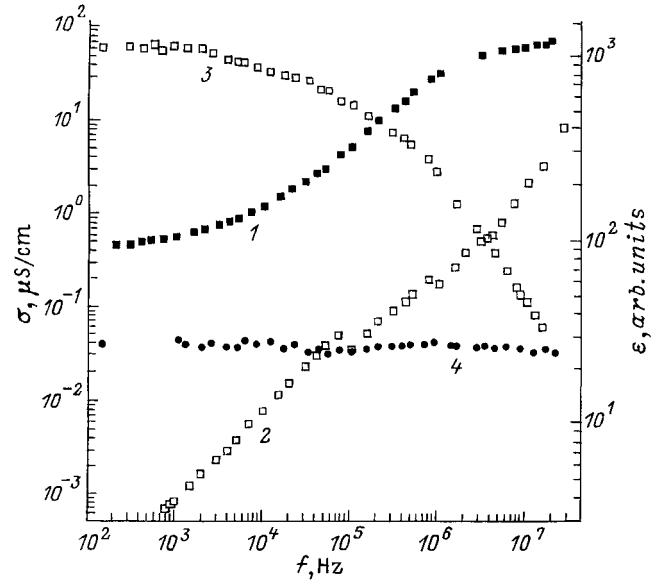


Рис. 3. Зависимости диэлектрической проницаемости (3, 4) и проводимости (1, 2) от частоты измерений. Температура измерений, К: 1, 3 — 300, 2, 4 — 77.

энергии активации прыжкового обмена зарядами между дефектами происходят при значительно меньших, чем это было для $Cd_{1-x}Mn_xTe$, значениях x .

Энергия активации для чистого CdTe ($x = 0$) была определена в работе [1] и составляет $\Delta E_0 \leq 0.12$ эВ. При увеличении концентрации Fe до $x = 0.0035$ энергия активации возрастает до $\Delta E_1 = 0.38$ эВ и остается неизменной до $x = 0.01$. При дальнейшем росте x до $0.02 \leq x \leq 0.03$ $\Delta E_2 = 0.14$ эВ (см. рис. 2).

По аналогии с материалом $Cd_{1-x}Mn_xTe$ можно предполагать, что в состав дефектов, энергия активации для которых $\Delta E_1 = 0.38$ эВ, входит один атом Fe, а в состав дефектов с $\Delta E_2 = 0.14$ эВ входят два атома Fe.

В материалах $Cd_{1-x}Mn_xTe$ размещение атомов Mn в подрешетке Cd является близким к случайному. Поэтому дефекты, в состав которых входят два атома Mn, являются доминирующими при $x \sim 0.50$. При $x = 0.02$ вероятность их образования уменьшается более чем в 100 раз.

В соединениях $Cd_{1-x}Fe_xTe$ изменения числа атомов Fe, входящих в состав дефектов, происходят значительно быстрее, чем в $Cd_{1-x}Mn_xTe$. Это может означать, что атомы Fe размещаются в подрешетке Cd коррелированным образом, а именно уже при небольших значениях $x \geq 0.02$ доминируют дефекты, в состав которых входят два атома Fe.

Обнаруженная в описанных выше исследованиях ΔE склонность атомов Fe к коррелированному расположению в кристаллической решетке CdTe может послужить в качестве основы для объяснения факта низкой растворимости атомов Fe в $Cd_{1-x}Fe_xTe$, для которых однофазный твердый раствор существует только до $x \leq 0.05$ [6].

Список литературы

- [1] П.В. Жуковский, А. Родзик, Ю.А. Шостак. ФТП, **31**, 714 (1997).
- [2] P. Żukowski, S.B. Kantorow, K. Kiszczak, D. Mączka, A. Rodzik, V.F. Stelmakh, E. Czarnecka-Such. Phys. St. Sol. (a), **128**, 117 (1991).
- [3] A. Holda, A. Rodzik, A.A. Melnikov, P. Żukowski. Acta Phys. Polon., **87**, 357 (1995).
- [4] A. Holda, A. Rodzik, A.A. Melnikow, P. Żukowski. Phys. St. Sol. (b), **189**, 543 (1995).
- [5] Н. Мотт, Э. Дэвис. *Электронные процессы в некристаллических веществах* (М., Мир, 1982) т. 1.
- [6] *Полуманитные полупроводники*, под ред. Я. Фурдыны и Я. Косуца (М., Мир, 1992).

Редактор В.В. Чалдышев

Dielectric properties of $\text{Cd}_{1-x}\text{Fe}_x\text{Te}$ semiconductor compounds

P. Żukowski, J. Partyka, P. Węgierek, J.W. Sidorenko*, J. Szostak*, A. Rodzik†

Technical University of Lublin, Poland

*Belarussian State University, Minsk, Belarus

†Jagellonian University, Kraków, Poland

Abstract This paper presents dependencies of dielectric permittivity and conductance of $\text{Cd}_{1-x}\text{Fe}_x\text{Te}$ compounds versus temperature and measurement frequencies. It is shown that Fe atoms are located in a correlated way in Cd sublattice.