

energy distribution function of electrons, and, hence, the constants in question. The validity of this assumption is confirmed by a satisfactory agreement between the obtained values of constants and results of other studies.

Изв. АН Армянской ССР, Физика, т. 23, вып. 3, 145—149 (1988)

УДК 535.312

ИССЛЕДОВАНИЕ ЭФФЕКТА ПРОТЕКАНИЯ В СЛУЧАЙНО-НЕОДНОРОДНОЙ СИСТЕМЕ $Cu-ZnO$

А. Г. САРКИСЯН, В. М. АРУТЮНЯН, К. Г. БЕГОЯН, А. Р. МАИЛЯН,
М. А. МНАЦАКАНЯН, М. Р. МИКАЕЛЯН

Ереванский государственный университет
(Поступила в редакцию 20 марта 1987 г.)

Исследованы электрические свойства и спектры оптического отражения в диапазоне длин волн 0,3—0,8 мкм образцов случайно-неоднородной смеси металл-полупроводник $Cu-ZnO$. Обнаружено, что в длинноволновой области спектра (0,5—0,8 мкм) пороги протекания для электропроводности и отражения света совпадают и равны 20 об. % меди. В коротковолновой области (0,3—0,5 мкм) в образцах, содержащих от 20 до 30 об. % меди, спектр отражения определяется полупроводниковой фазой, хотя электропроводность имеет металлический характер. Дана качественная интерпретация наблюдаемого на эксперименте различия порогов протекания в оптическом смысле в коротковолновой и длинноволновой областях спектра.

В последнее время уделяется значительное внимание теоретическому и экспериментальному изучению явления переноса в неоднородных средах. Для понимания физических явлений в неоднородных системах проявляется растущий интерес к применению теории протекания. Однако многие важные утверждения этой теории остаются недоказанными, много и неясных вопросов, что связано с небольшим числом работ в этой области, особенно экспериментальных.

В работах [1, 2] в диапазоне длин волн 5—45 мкм исследованы спектры отражения в случайно-неоднородных системах металл-диэлектрик; результаты этих работ не согласуются с выводами теории протекания. В настоящей работе с целью выявления особенностей протекания в высокочастотном диапазоне исследуется спектр отражения случайно-неоднородной двухфазной системы $Cu-ZnO$ вблизи основной полосы поглощения ZnO в зависимости от соотношения фаз.

Для изготовления двухфазных образцов системы $Cu-ZnO$ исходными материалами служили порошки меди и ZnO . Средний размер частиц порошка меди составлял 20 мкм, а порошка ZnO — 5 мкм. Смеси различного состава получались сухим тщательным перемешиванием. Смеси порошков меди и ZnO , взятые в определенных процентных (объемных) соотношениях, брикетировались и спекались в вакууме при температуре $1000^\circ C$ в течение 2 часов.

Пористость спеченных образцов, определяемая по отношению их плотности к расчетной, нее превышала 5%, что позволяло считать систему двухфазной. Полученные образцы представляли собой цилиндры диаметром 10 мм и высотой 15 мм, из которых нарезались таблетки, имеющие толщину 1—2 мм. Описанным выше методом изготавливались двухфазные по всему разрезу *Cu-ZnO* образцы. Средний размер зерен был близок к 20 мкм.

Исследовалась электропроводность σ изготовленных образцов в зависимости от объемной доли

$$X = \frac{V_{Cu}}{V_{Cu} + V_{ZnO}}$$

металлической фазы, V_{Cu} , V_{ZnO} — соответственно объемные доли меди и *ZnO* в образцах. При $X = 0,2$ наблюдалось резкое увеличение электропроводности (рис. 1), что, видимо, является порогом протекания в исследуемой системе. Это хорошо согласуется с выводами теории протекания [3]. На приведенной кривой можно выделить 2 участка: участок, характеризующийся металлической проводимостью, и участок с полупроводниковой проводимостью. В области металлической проводимости образцы подобны «грязному» металлу, электропроводность которого изменяется с ростом концентрации примесей, оставаясь, однако, достаточно высокой. В области полупроводниковой проводимости электропроводность в целом определяется электропроводностью *ZnO*.

Исследовалась температурная зависимость электропроводности образцов системы *Cu-ZnO* в интервале температур от 300 до 600 К. Образцы, содержащие от 18 об.% металлической фазы, проявляли полуметаллический характер, что характерно для частично восстановленного *ZnO*.

Образцы, содержащие более 20 об.% металлической фазы, проявляли металлический характер. Для образцов из переходной области вблизи критической точки (порога протекания), т. е. содержащих от 18 до 20 об.% металлической фазы, не удалось обнаружить какое-либо закономерное изменение электропроводности с температурой.

Для измерения оптического отражения образцов поверхность образцов обрабатывалась описанным в [2] способом. Измерение спектральных зависимостей коэффициента отражения проводилось с помощью монохроматора от спектрометра СФД-2. Отраженный от поверхности сигнал преобразовывался с помощью ФЭУ-18, с выхода которого сигнал усиливался электрометрическим усилителем У5-7 и записывался на самописце. Некоторые из полученных спектров отражения приведены на рис. 2.

Спектр отражения чистого *ZnO* (кр. 1) имеет максимум при $\lambda_{\max} = 0,38$ мкм, что соответствует экситонной зоне *ZnO* [4]. Увеличение концентрации металлической фазы (*Cu*) до 20% не приводит к существенному изменению спектра — незначительно увеличивается сигнал в длинноволновой области (кр. 2). Начиная с концентрации 20 об.% меди ($X = 0,2$) длинноволновое плечо резко возрастает (кр. 3, 4) и при 30 об.% *Cu* в коротковолновой области пик не проявляется (кр. 5). Спектр становится аналогичным спектру отражения *Cu*. В длинноволновой области спектра (0,5—0,8 мкм) при $X \geq 0,2$ спектр отражения образцов носит металлический характер (совпадает со спектром отражения *Cu*), т. е. в

этой области длин волн порог протекания в оптическом смысле полностью совпадает с порогом протекания электропроводности. Образцы, содержащие до 30 об. % Cu , в диапазоне длин волн 0,3—0,5 мкм имеют спектры отражения, не отличающиеся друг от друга и от спектра ZnO . Образцы, содержащие 30 и более объемных процентов меди, в этом диапазоне длин волн имеют спектры отражения, не отличающиеся от спектра отражения меди.

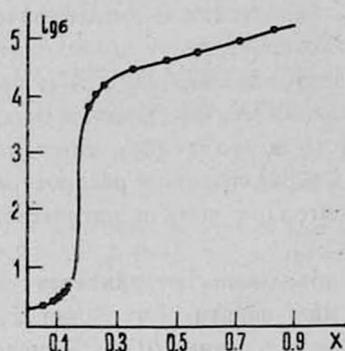


Рис. 1. Зависимость удельной электропроводности образцов $Cu-ZnO$ от объемной доли металлической фазы.

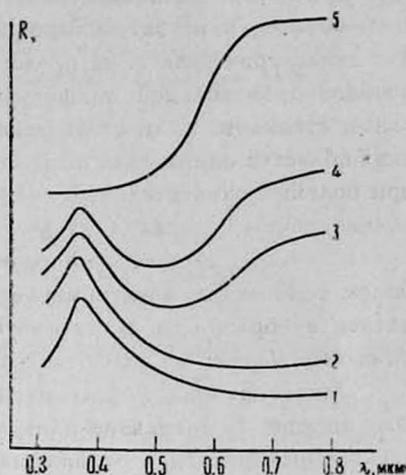


Рис. 2. Спектры отражения образцов системы $Cu-ZnO$ для составов: 1 — чистый ZnO ; 2 — 10% Cu ; 3 — 20% Cu ; 4 — 25% Cu ; 5 — 30% Cu .

Таким образом, экспериментальные данные свидетельствуют о том, что в образцах, содержащих от 20 до 30 об. % меди; хотя электропроводность имеет металлический характер, спектры отражения в области длин волн 0,3—0,5 мкм в исследуемой системе определяются полупроводниковой фазой. Аналогичные расхождения порогов протекания по электропроводности и отражению наблюдались авторами [1] при исследовании системы $W-LiNbO_3$ в интервале длин волн 5—45 мкм. В [1] показано, что при концентрациях W от 20 до 80 об. % образцы обладают металлической проводимостью и спектром отражения, характерным для диэлектрической фазы.

В работе [2] показано, что в отличие от статической проводимости σ в узком диапазоне концентраций вблизи $X_{кр.} \approx 0,2$ фазовый коэффициент отражения R в широком интервале частот света не имеет особенностей при $X = X_{кр.}$ Лишь при $X > 0,6$ R и спектр принимают соответственно значение и вид, типичные для металлов.

Экспериментальные результаты противоречат выводам теории эффективной среды и основанной на теории протекания работе, которые предсказывают переход к металлическому характеру оптического отражения при $X \approx X_{кр.}$ Однако надо отметить, что обе указанные теории справедливы

ливы лишь тогда, когда длина волны λ падающего излучения значительно превосходит характерный размер a неоднородностей. Условие $\lambda \gg a$ не выполняется ни в вышеуказанных работах [1, 2], ни в настоящей работе, так как средний размер зерен (неоднородностей) в исследуемых системах — порядка 20 мкм.

Для объяснения своих экспериментальных результатов авторы работ [1, 2] допускают, что в неоднородной системе металл-диэлектрик существует протекание по диэлектрику, т. е. существуют пути, проходящие через весь образец и не затрагивающие металлических областей. Это означает, что диэлектрическая фаза представляет собой как бы сложную сетку волноводов произвольной конфигурации с хорошо отражающими металлическими стенками. Если статические свойства металлических и диэлектрических областей одинаковы, то протекание по диэлектрику будет происходить при большей относительной концентрации диэлектрика, чем $X_{кр}$, т. е. при концентрации металла $X < 1 - X_{кр}$. При значениях X , не слишком близких к $1 - X_{кр}$, характерный размер «узких мест» в волноводах имеет порядок a . Поэтому электромагнитная волна с $\lambda \leq a$ способна распространяться в образце на достаточную глубину, благодаря чему в оптическом диапазоне частот он ведет себя как диэлектрик.

Однако данная модель не подходит для объяснения результатов наших опытов. В диапазоне длин волн 0,5—0,8 мкм пороги протекания для электропроводности и отражения света совпадают и равны 20 об. % меди. А в диапазоне волн 0,3—0,5 мкм расхождение составляет всего 10%. Расхождение порогов протекания в коротковолновой области спектра (которая близка к основной полосе поглощения ZnO) мы связываем с тем, что в этой области, благодаря большому значению коэффициента поглощения, электромагнитная волна не проходит на глубину более 10 мкм от поверхности, что сравнимо с размерами зерен в исследуемых объектах, т. е. протекание в нашем случае связано с образованием не трехмерного, а двухмерного бесконечного кластера, что, естественно, сдвигает порог протекания в сторону больших значений концентрации меди. В длинноволновой области (0,5—0,8 мкм) электромагнитная волна проходит в глубь образца и, как в случае электропроводности, протекание связано с образованием трехмерного бесконечного кластера, и поэтому пороги протекания в обоих случаях совпадают.

Таким образом, различие порогов протекания (в оптическом смысле) в коротковолновой (0,3—0,5 мкм) и длинноволновой (0,5—0,8 мкм) областях спектра скорее всего связано с различными значениями коэффициента поглощения в указанных областях.

ЛИТЕРАТУРА

1. Вассерман И. А. и др. ФТТ, 24, 3377 (1982).
2. Арутюнян В. М. и др. ФТТ, 28, 2707 (1986).
3. Скад А. С., Шкловский Б. И., Эфрос А. Л. Письма в ЖЭТФ, 17, 522 (1973).
4. Кузьмина Я. П., Никитенко В. А. Окись цинка. Получение и оптические свойства. Изд. Наука, М., 1984.

ՀՈՍՈՒՆՈՒԹՅԱՆ ԷՖԵԿՏԻ ՈՒՍՈՒՄՆԱՍԻՐՈՒԹՅՈՒՆԸ $Cu-ZnO$
ՊԱՏԱՀԱԿԱՆ-ԱՆՀԱՄԱՍԵՌ ՄԻՍՏԵՄՈՒՄ

Ա. Գ. ՍԱՐԳՍՅԱՆ, Վ. Մ. ՀԱՐՈՒԹՅՈՒՆՅԱՆ, Կ. Գ. ԲԵԳՈՅԱՆ,
Ա. Ռ. ՄԱՅԻՅԱՆ, Մ. Ա. ՄՆԱՑԱԿԱՆՅԱՆ, Մ. Ռ. ՄԻՔԱՅԵԼՅԱՆ

Ուսումնասիրված են $Cu-ZnO$ պատահական-անհամասեռ խառնուրդի էլեկտրական հատկությունները և 0,3—0,8 մկմ տիրույթում լույսային ալիքների օպտիկական անդրադարձման սպեկտրները: Հայտնաբերված է էլեկտրահղորդականության հոսունության և 0,3—0,5 մկմ տիրույթում լույսային ալիքների օպտիկական անդրադարձման հոսունության շեմերի տարամիտում:

INVESTIGATION OF PERCOLATION EFFECT IN RANDOMLY
INHOMOGENEOUS $Cu-ZnO$ SYSTEM

A. G. SARKISYAN, V. M. ARUTYUNYAN, K. G. BEGOYAN,
A. R. MAILYAN, M. A. MNATSAKANYAN, M. R. MIKAELYAN

Electrical properties and optical reflection spectrum in the wavelength range of 0.3-0.8 μm were studied for samples of randomly inhomogeneous $Cu-ZnO$ mixture. The percolation of electrical conductivity as well as the divergence of percolation threshold for the optical reflection of light waves in 0.3-0.5 μm region were found.

Изв. АН Армянской ССР, Физика, т. 23, вып. 3, 149—155 (1988)

УДК 621.382.2

ШУМОВЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ p^+-n-p^+ МЕЗАПЛАНАРНЫХ
СТРУКТУР ИЗ КРЕМНИЯ, КОМПЕНСИРОВАННОГО ЦИНКОМ

Յ. Օ. ՄՅԻՏԱՐՅԱՆ, Վ. Մ. ԱՐՄՅՈՅԱՆ

Ереванский государственный университет

Յ. Ն. ԱԴԱՄՅԱՆ

Институт радиофизики и электроники АН АрмССР

(Поступила в редакцию 25 марта 1987 г.)

Измерены вольт-амперные характеристики и шумы p^+-n-p^+ мезапланарных структур из кремния, компенсированного цинком, в интервале температур 90—300 К. Шумы исследовались в частотном диапазоне 20 Гц—20 кГц. Сопоставление экспериментальных данных с проведенными оценками дало возможность выяснить, какие центры могут быть причиной генерационно-рекомбинационного шума.

В работе [1] было показано, что замена одного из инжекторов в длинном диоде слоем умножения в обратно-смещенном переходе с последующей эмиссией основных носителей приводит к увеличению фоточувствительности за счет дополнительного к инжекционному усилению лавинного