

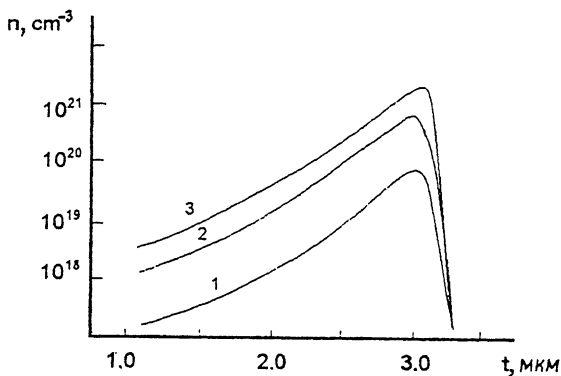
05.2;05.4

ОБЛУЧЕНИЕ ИОНАМИ КИСЛОРОДА МОНОКРИСТАЛЛОВ ОКИСИ МЕДИ CuO

© *Б.А.Гижевский, Т.А.Белых, Т.М.Пяткова,
С.В.Наумов, Н.А.Виглин, Н.Н.Лошкарева,
А.А.Пузанов, А.А.Самохвалов*

В ряде работ [1,2] отмечается сходство электронной структуры и некоторых физических свойств окиси меди и купратных ВТСП, что связано с присутствием в них общего структурного элемента — кластера CuO_4 . Поэтому CuO может служить в некоторых случаях модельным объектом для изучения полупроводниковых фаз ВТСП. CuO является антиферромагнитным полупроводником с поляронным типом проводимости [2]. Свойства ВТСП весьма чувствительны к легированию и содержанию кислорода. В то же время в CuO химическими методами не удается получить достаточную степень легирования и существенно снизить электросопротивление. Известно, что ионное облучение непроводящих соединений может приводить к значительному росту электропроводности, особенностям в оптических, ЭПР и других свойствах [3,4]. В данной работе проводилось облучение ионами кислорода с энергией 6.65 МэВ монокристаллов CuO . Для оценки эффекта облучения измерялись электросопротивление, оптические спектры поглощения, ЭПР, а также проведены рентгеновские измерения. С целью изучения особенностей реальной структуры и стехиометрии монокристаллов CuO проведены исследования резерфордского обратного рассеивания в сочетании с каналированием протонов (РОР/К) с энергией 600 кэВ [5].

Методы получения и основные характеристики образцов аналогичны приведенным в [2,6]. Облучение ионами кислорода производилось в Уральском государственном техническом университете на циклотроне У-120. Методики РОР/К осуществлялись на генераторе Ван-де-Граафа ЭГ-2.5. Имплантированная поверхность образца имела ориентацию (110); каналирование протонов осуществлялось вдоль оси $\langle 110 \rangle$. Флюенс ионов кислорода составлял от $3 \cdot 10^{15}$ до 10^{17} см^{-2} . Электросопротивление измерялось четырехконтактным способом. Индиевые контакты перед облучением счищались. Основная погрешность при измерении электросопротивления возникала из-за неточности нанесения контактов и составляла 10–15%. Спектры поглощения снимались в инфракрасном диапазоне от 1.5 до 10 мкм.



Профили концентраций n внедренных ионов кислорода в зависимости от глубины t при различных флюенсах: 1 — $3 \cdot 10^{15} \text{ см}^{-2}$, 2 — $3 \cdot 10^{16} \text{ см}^{-2}$, 3 — 10^{17} см^{-2} .

По нашим сведениям, в литературе отсутствуют данные об имплантации монокристаллов CuO . Следует отметить также трудности при изучении радиационных повреждений в CuO традиционными полупроводниковыми методиками. Эффект Холла в CuO трудноизмерим из-за малой подвижности поляронов ($\leq 0.01 \text{ см}^2/\text{В} \cdot \text{с}$) [2]. ЭПР сигнал в чистом CuO отсутствует и наблюдается только при наличии магнитных примесей [7]. Люминесценция и фотопроводимость в CuO не наблюдались. Проведенное ранее облучение CuO электронами с энергией 5 МэВ флюенсами до 10^{18} см^{-2} привело к значительному увеличению электросопротивления (в 40–100 раз), изменению спектров поглощения и структурным нарушениям [6,8]. В данной работе кроме измерений электросопротивления и спектров поглощения использовалась также методика РОР/К, которая является эффективным способом исследования нарушений кристаллической решетки [5].

После облучения CuO ионами кислорода флюенсом $3 \cdot 10^{15} \text{ см}^{-2}$ не зафиксировано изменения электросопротивления облученной грани, а также особенностей в спектрах поглощения и появления сигнала ЭПР. Непосредственно после облучения флюенсом 10^{17} см^{-2} электросопротивление практически не менялось. В спектрах поглощения отмечалось некоторое сглаживание структуры линий. На одном из образцов была обнаружена слабая линия ЭПР. Измерения рентгеновской дифракции не выявили каких-либо изменений в решетке CuO .

Как видно из рисунка, расчетная концентрация внедренных ионов при максимальном флюенсе достигает $3 \cdot 10^{21} \text{ см}^{-3}$. Такая высокая концентрация дефектных центров в случае их электрической активности проявилась бы в изменении электросопротивления облученной грани образца. Поскольку такие изменения не замечены, можно полагать, что возникшие дефекты электрически не активны. О новых центрах в облученных образцах может свидетельствовать появление узкой линии ЭПР непосредственно после облучения. Ширина линии составляла 2.2 Э , g -фактор — 2.0032. Сигнал ЭПР был обнаружен только на одном изоблученных образцов. Несмотря на то что рентгеновский анализ показывал однофазность образцов, нельзя исключить, что появление линии ЭПР после имплантации связано со второй фазой. Внедренный кислород не всегда приводит к изменению электросопротивления. В [3,4] отмечается, что ионы O^+ , имплантированные в ZnSe и некоторые стекла, не создают электрически активных центров. Активизации центров может способствовать отжиг образцов. Действительно, выдержка образцов при комнатной температуре в течение $\sim 10^3$ ч привела к увеличению электросопротивления на 15–25%. Последующий отжиг при 160°C в течение 4 ч привел к релаксации электросопротивления до исходного значения. Отжиг до 650°C не изменил электросопротивления и оптических спектров. Таким образом, имплантация кислорода в CuO и отжиг не приводят к появлению в образцах заметного количества электрически активных центров. Концентрация радиационных дефектов в нашем случае может оказаться значительно меньше, чем указано на рисунке. Действительно, исследование облученных образцов методом РОР/К не показало отличий степени дефектности структуры от исходного состояния. Отметим, что спектры РОР/К исходных образцов имеют форму, характерную для кристаллов с большим содержанием протяженных дефектов типа дислокаций в поверхностном слое, доступном для анализа данной методикой (2 мкм). Относительный выход в минимуме обратной тени при этом составил 0.3, что свидетельствует о высокой степени дефектности кристаллов. Эти нарушения могут служить ненасыщенными стоками для радиационных дефектов и эффективно захватывать внедренные ионы кислорода и вновь образованные точечные дефекты [5]. Кроме этого, по спектрам, полученным при неориентированном направлении падения анализирующего пучка на мишень, был определен относительный атомный состав на поверхности кристаллов. Оказалось, что стехиометрический состав на поверхности сильно нарушен: концентрация кислорода превышает концентрацию меди на $\sim 10\%$, что, по-видимому, также влияет на эффективность облучения ионами кислорода.

Слабое влияние свойства CuO облучения ионами кислорода в отличие от облучения электронами можно объяснить, если принять во внимание качественное различие этих воздействий, а именно удельную плотность ионизационных потерь. Для высокоэнергетичных ионов кислорода характерен значительный процент ионизационных потерь ($> 90\%$) и из-за большой удельной плотности, что приводит к высокой плотности электронных возбуждений. Диссипация этих возбуждений вызывает непосредственно в процессе облучения эффективный динамический отжиг образующихся при имплантации дефектов [9]. Эти причины, а также наличие в исходном кристалле большого количества внутренних насыщенных стоков для точечных дефектов и избыточная концентрация кислорода в поверхностном слое монокристаллов CuO обуславливают, по нашему мнению, низкую эффективность имплантации ионов кислорода в монокристаллы CuO .

Работа поддержана грантом РФФИ № 96-02-16063 и Госпрограммой (012) — грант № 95-2.10.

Список литературы

- [1] *Ghijzen J., Tjeng L.H., Van Elp J., Eskes H., Westerink J., Zawatzky G.A., Czyzyk M.T.* // Rev. B. 1988. V. 38. N 16. P. 11 322-11 330.
- [2] *Самозвалов А.А., Виглин Н.А., Гижевский Б.А., Лошкарева Н.Н., Осипов В.В., Солин Н.И., Суворуков Ю.П.* // ЖЭТФ. 1993. Т. 103. В. 3. С. 951-961.
- [3] *Пичугин В.Ф., Соловьев В.А., Франгульян Т.С., Тишкина В.А.* // Физ. и хим. обработки материалов. 1993. № 5. С. 24-27.
- [4] *Бобченко Ю.Л., Гаверищук Е.Н., Крупкин П.Л., Перескоков А.А., Сюзюк В.А.* // Высокочистые вещества. 1994. № 4. С. 91-97.
- [5] *Комаров Ф.Ф., Куматов М.А., Ташлыклов И.С.* Неразрушающий анализ поверхности твердых тел ионными пучками. Минск: изд-во "Университетское", 1987. 256 с.
- [6] *Гижевский Б.А., Арбузов В.Л., Самозвалов А.А., Наумов С.В., Лошкарева Н.Н., Суворуков Ю.П.* // Письма в ЖТФ. 1994. Т. 20. В. 7. С. 1-5.
- [7] *Виглин Н.А., Наумов С.В., Самозвалов А.А.* // Оксиды. Физико-химические свойства и технологии. Екатеринбург, 1995. 148 с.
- [8] *Лошкарева Н.Н., Суворуков Ю.П., Гижевский Б.А., Арбузов В.Л., Наумов С.В., Самозвалов А.А.* // ФТТ. 1995. Т. 37. № 2. С. 376-381.
- [9] *Urmanov A.R.* // Phys. Stat. Sol. 1991. V. 166. P. 9-14.

Институт физики металлов УрО РАН
Уральский государственный
технический университет-УПИ
Екатеринбург

Поступило в Редакцию
21 февраля 1996 г.
В окончательной редакции
7 августа 1996 г.