

ставлены осциллограммы входных двоячных последовательностей a , b , сигнала дискретной свертки e и окончательного результата перемножения в NRZ коде на выходе электронного блока g для обсуждавшегося выше примера $111 \times 111 = 110001$ ($7 \times 7 = 49$). Младшие разряды следуют по времени раньше старших, длительность импульса разряда каждого из чисел 2 мкс.

Таким образом, проведенные исследования показали возможность практической реализации АОЦП-умножителя на основе дискретной свертки. Одноканальное устройство описанного типа потенциально способно перемножать 32-разрядные числа каждые 100 нс при несущей частоте 1 ГГц. В то же время использование естественных в оптике двумерных световых пучков и пространственно многоканальных акустооптических ячеек может повысить производительность процессора еще в 10...100 раз. Работы по созданию оптических цифровых процессоров для задач линейной алгебры находятся в настоящее время на начальной стадии. Многие вопросы проектирования и реализации АОЦП требуют скорейшей проработки, и материал данного сообщения можно рассматривать как один из первых шагов в указанном направлении. Представляется, в частности, перспективным использование различного рода нелинейных явлений в АОЦП для увеличения их функциональных возможностей и развития элементной базы оптических цифровых вычислителей.

Список литературы

- [1] Есепкина Н. А., Рыжков И. Ф., Прусс-Жуковский С. В. и др. Препринт САО АН СССР. № 11 Л. Л., 1984. 36 с.
- [2] Сочук А. А., Стренд Т. С. // ТИИЭР. 1984. Т. 72. № 7. С. 8—33.
- [3] Guilfoyle P. S. // Opt. Eng., 1984. Vol. 23. N 1. P. 20—25.
- [4] Утида Н., Нидзэки Н. // ТИИЭР. 1973. Т. 61. № 8. С. 21—43.

Ленинградский политехнический институт
им. М. И. Калинина

Поступило в Редакцию
20 июня 1988 г.

ВОЛЬТ-АМПЕРНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ S-ТИПА В СУПЕРИОННОМ Cu_{2-x}Se

М. А. Коржув

Нестехиометрический селенид меди Cu_{2-x}Se представляет собой самолегирующееся вырожденное полупроводниковое соединение со смешанной электронной (p -типа, по дыркам) и ионной (по меди) проводимостью ($\sigma_p \sim 100 \text{ с; } \sim 10\text{—}1000 \text{ См/см}$, температура суперионного фазового перехода $T_c = 291\text{—}413 \text{ К}$) [1].

Движение дырок и ионов меди в Cu_{2-x}Se под действием электрического поля происходит независимо друг от друга, эффект увлечения ионов дыркам отсутствует [2]. Вместе с тем в Cu_{2-x}Se наблюдается огромный термодиффузионный эффект (ТДЭ) с максимумом при температуре $T \sim T_c$ [3], который может приводить к значительному перераспределению подвижной меди при неоднородном нагреве образца теплом Джоуля [4].

В настоящей работе показано, что взаимодействие дырок и ионов меди посредством ТДЭ позволяет наблюдать нелинейные вольт-амперные характеристики S -типа и автоколебания напряжения с частотой $f \sim 0.02\text{—}0.5 \text{ Гц}$ на образцах Cu_{2-x}Se с точечными токовыми контактами.

Для исследований использовались цилиндрические прессованные поликристаллические образцы Cu_{2-x}Se ($x = 0.01$) толщиной $h = 1 \text{ мм}$, диаметром $D = 2\text{—}7 \text{ мм}$ (концентрация дырок $p = 2 \cdot 10^{20} \text{ см}^{-3}$, удельная электропроводность $\sigma = 625 \text{ См/см}$, термоэдс $\alpha = 108 \text{ мкВ/К}$). К центру образцов (рис. 1, 1) под давлением $P \sim 2 \text{ МПа}$ прижимали латунные токовые контакты (2) ($\varnothing 0.5 \text{ мм}$), луженные оловом для исключения химического взаимодействия с материалом. Через контакты (рис. 1, 2) пропускался постоянный электрический ток $I = 0\text{—}30 \text{ А}$ от стабилизированного источника П-138, в образце при этом выделялась мощность до 3—10 Вт, для охлаждения образец с контактами погружался в воду.

Температуру на поверхности образцов измеряли термопарами медь—константан ($\varnothing 0.02 \text{ мм}$) с точностью $\pm 1 \text{ К}$, напряжение U на контактах образца регистрировалось с помощью

усилителя Н-37 и самописца КСПП-4, распределение состава x по диаметру образцов определяли с точностью $\Delta x \sim 0.001$ методом микротермоэда [3, 4].

Электрический ток I , проходящий по образцу, вызывал избыточный разогрев межэлектродного пространства (рис. 2, кривые 5, 6) и соответственно ТДЭ диффузию подвижной меди в более холодные части образца (рис. 1) [3]. По мере увеличения тока I происходил своеобразный электротепловой «пробой» материала — в средней части образца образовывался «шнур», т. е. область с большими x и σ , размер которой уменьшался при уменьшении диаметра образца (рис. 1, кривые 3—5). Образование «шнура» происходило за время ~ 60 — 100 с и сопровождалось характерным уменьшением напряжения на образце непосредственно после включения тока (рис. 1, кривая 6).

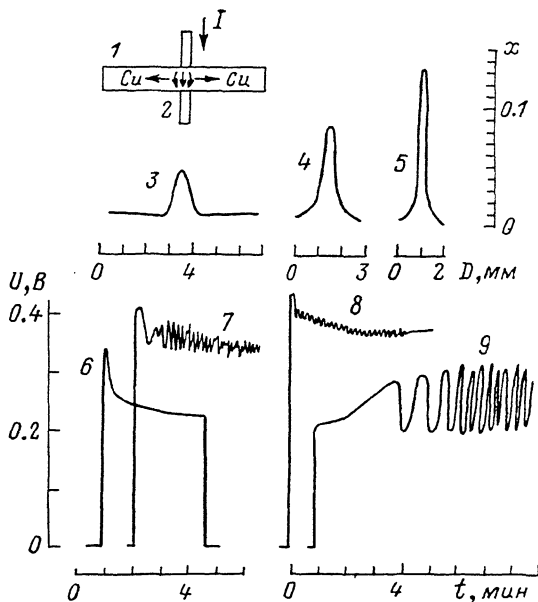


Рис. 1. Образец Cu_{2-x}Se ($x=0.01$) (1) с контактами (2), распределение состава x по диаметру D образца после пропуска тока $I=10$ А в течение 90 с (3—5), напряжение U на контактах в зависимости от времени прохождения тока (6—9).

D , мм: 3, 6 — 7; 4, 7 — 3; 5, 8, 9 — 2; I , А: 6, 8 — 10, 9 — 16 (после предварительного пропуска тока 30 А).

Вольт-амперные характеристики (ВАХ) образцов Cu_{2-x}Se , снятые в режиме увеличения тока J по зависимостям насыщенных значений $U=U(I)$ ($t > 90$ с на кривой 6. рис. 1), существенно отклонялись от линейных и имели форму S-кривых с участками отрицательной дифференциальной проводимости (ОДП) в области достаточно больших токов ($\Delta I/\Delta U < 0$) (рис. 2, кривые 1, 3, 4).

Наблюдавшаяся форма ВАХ (рис. 2) объясняется следующим образом. В области малых токов ($I > 2$ А) ни температура T , ни состав x межэлектродного пространства образца не меняются, при этом $I \sim U$ (закон Ома). При $I < 3$ А становится заметным разогрев образца

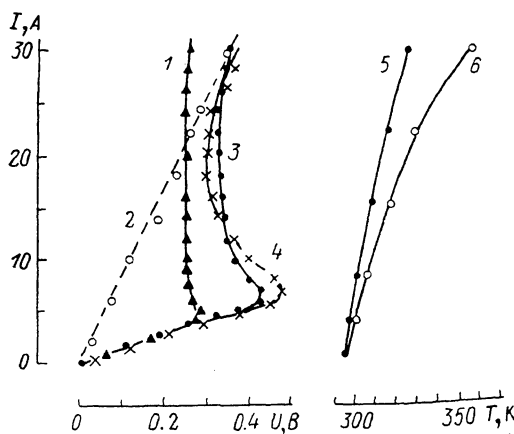


Рис. 2. Вольт-амперные характеристики образцов $\text{Cu}_{1.99}\text{Se}$ различного диаметра D и температура T поверхности образца вблизи (6) и вдали (5) от токового контакта.

D , мм: 1, 5, 6 — 7; 2, 3 — 3; 4 — 2; 1, 3, 4 — увеличение тока, 2 — уменьшение.

(рис. 2, кривые 5, 6) и зависимость $I=I(U)$ отклоняется от линейной в сторону больших значений U из-за уменьшения электропроводности σ Cu_{2-x}Se с ростом температуры [4]. При $I \geq 5$ А состав межэлектродного пространства образца из-за ТДЭ изменяется в сторону больших x (рис. 1, кривые 3—5), при этом σ увеличивается, а U уменьшается (рис. 2, кривые 1, 3, 4). При $I \geq 15$ — 20 А из-за дальнейшего разогрева образца (рис. 2, кривые 5, 6) и ограничения ТДЭ (в особенности в образцах с малыми D) величина U начинает снова возрастать (рис. 2, кривые 3, 4).

При уменьшении тока I высокая σ в области «шнура» сохранялась, в результате чего на зависимости $I=I(U)$ наблюдался гистерезис (рис. 2, кривые 2, 4).

Повреждения, вносимые в образец в результате электротеплового «пробоя» (рис. 1, кривые 3—5) были обратимыми: через несколько часов при 300 К (несколько минут при $T >$

$> T_c$) «шнур» рассасывался и распределение состава по образцу возвращалось к равномерному. Для образцов $\text{Cu}_{1.99}\text{Se}$ небольшого диаметра ($D \sim 2-3$ мм) в области ОДП (рис. 2, кривые 3, 4) наблюдали автоколебания напряжения U на образцах с током (рис. 1, кривые 7-9) с частотой $f \sim 0.02-0.5$ Гц и амплитудой 0.002-0.12 В как незатухающие (контрольное время наблюдения до 30 мин) (кривые 7, 9), так и затухающие (кривая 8) (общее число наблюдавшихся серий автоколебаний 56). В образце $\text{Cu}_{1.99}\text{Se}$ с $D=7$ мм, где область ОДП на кривой ВАХ была выражена недостаточно четко (рис. 2, 2), возникновения автоколебаний не наблюдали.

Поскольку в условиях проведенных опытов ток I через образцы поддерживался постоянным, то колебания напряжения U на образцах соответствовали колебаниям их проводимости σ и состава x вблизи области «шнура», связанными с известной флуктуационной неустойчивостью систем, имеющих ОДП [5, 6].

Выше показано, что ОДП в Cu_{2-x}Se — следствие ТДЭ, характеризующегося постоянной времени $\sim 60-100$ с (соответствующая частота $\sim 0.01-0.02$ Гц) для образцов диаметром $D=2-7$ мм.

Таким образом, наблюдавшиеся в работе частоты $f \sim 0.02-0.5$ Гц соответствуют автоколебаниям состава x образцов в областях с размерами от $l \sim D \sim 2-3$ мм до $l \sim 0.1$ мм, последние, по-видимому, отвечают локальным неоднородностям в области токовых контактов.

С помощью резонансного усилителя Ф-582 (чувствительность по напряжению более 1 мкВ) в интервале частот 20 Гц—200 кГц был проведен поиск высокочастотных автоколебаний на образце $\text{Cu}_{1.99}\text{Se}$ в области ОДП, последних обнаружено не было. Заметим, что ОДП в Cu_{2-x}Se — существенно низкочастотная характеристика образцов, для частот $f > 1-10$ Гц всегда $\Delta I/\Delta U > 0$ из-за инерциальности ТДЭ, при этом ОДП в образцах отсутствует. Соответственно в области низкочастотной ОДП (рис. 2, кривые 3, 4) возбуждаются только низкочастотные автоколебания системы (рис. 1 кривые 7-9).

Отметим также, что нелинейные ВАХ N -типа на образцах Cu_2Se и $\text{Cu}_{1.8}\text{Se}$ наблюдали ранее [7, 8], однако указанные особенности были связаны, по-видимому, не с ТДЭ, а с химическим взаимодействием образцов с материалами контактов (Al, Ag), на что указывает, в частности, существенное отличие эффективной проводимости образцов $\text{Cu}_{1.8}\text{Se}$ с контактами ($\sigma = 4.5$ См/см [8]) от соответствующих значений проводимости материала ($\sigma = 4000$ См/см).

Таким образом, в настоящей работе на образцах Cu_{2-x}Se с точечными контактами впервые наблюдалась ВАХ S -типа и автоколебания, связанные с перераспределением подвижной меди по образцу за счет ТДЭ, вызванного неоднородным нагревом образца теплом Джоуля. Низкая частота наблюдавшихся автоколебаний — следствие инерционности ТДЭ, лежащего в основе найденной неустойчивости.

Эффекты, обнаруженные в настоящей работе, по-видимому, можно будет наблюдать и в других суперионных проводниках.

Благодарю В. С. Гарныка и В. Ф. Банкину за помощь в работе.

Список литературы

- [1] Абрикосов Н. Х., Банкина В. Ф., Коржухов М. А. и др. // ФТТ. 1983. Т. 25. Вып. 10. С. 2911—2916.
- [2] Конев В. Н., Фоменков С. А. // Изв. вузов. Физика. 1984. Т. 27. № 3. С. 118—119.
- [3] Коржухов М. А., Лаптев А. В. // ФТТ. 1987. Т. 29. № 9. С. 2646—2650.
- [4] Коржухов М. А. // ФТТ. 1988. Т. 30. № 3. С. 690—695.
- [5] Копуэлл Э. Кинетические свойства полупроводников в сильных электрических полях. М.: Мир, 1970. 384 с.
- [6] Пожела Ю. К. Плазма и токовые неустойчивости в полупроводниках. М.: Наука, 1977. 368 с.
- [7] Абдуллаев Г. Б., Алиярова З. А., Асадов Г. А. и др. // УФН. 1969. Т. 99. № 3. С. 505—507.
- [8] Горбачев В. В., Квасков В. Б. // Изв. вузов. Физика. 1978. № 5. С. 135—137.

Институт металлургии им. А. А. Байкова
АН СССР
Москва

Поступило в Редакцию
27 июня 1988 г.