

АНОМАЛЬНАЯ ЭЛЕКТРОННАЯ ЭМИССИЯ С ОБЛУЧЕННОГО КРЕМНИЯ, ЛЕГИРОВАННОГО МЕДЬЮ

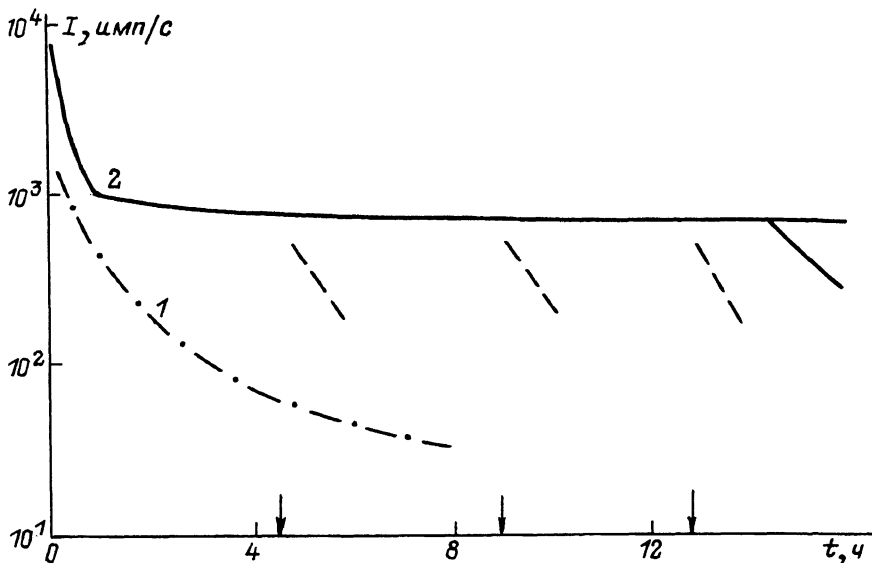
В.А. П а н т е л е е в, В.В. Ч е р н я х о в с к и й

Известно, что под воздействием радиации, механической обработки с поверхности твердых тел появляется нестационарная эмиссия низкоэнергетических электронов малой интенсивности 10^{-16} – 10^{-19} А („экзоэлектронная эмиссия“). Для повышения интенсивности регистрируемой электронной эмиссии (ЭЭ) часто применяют стимуляцию светом спектрального состава, не вызывающего самостоятельного внешнего фотоэффекта. Характерное время релаксации, фотостимулированной ЭЭ, порядка 10^3 – 10^4 с.

В [1] нами был предложен эффективный метод возбуждения ЭЭ с монокристаллов кремния путем бомбардировки их импульсными (микросекундными) ионно-плазменными пучками мощностью до 7.5×10^4 Вт·см⁻². Эмиссия появлялась как непосредственно с поверхности, подвергающейся бомбардировке, так и с противоположной поверхности, причем интенсивность ЭЭ с последней могла значительно превосходить интенсивность ЭЭ с облученной поверхности. Максимальная эмиссия с противоположной поверхности достигалась при толщинах образцов 0.03–0.12 мм. С дальнейшим ростом толщины образцов (до 5 мм) интенсивность ЭЭ падала со скоростью, характерной для зависимости затухания гиперзвуковых (1 Гц) упругих волн в кремнии при комнатной температуре [2].

Наряду с появлением ЭЭ после бомбардировки изменялись и другие электрофизические характеристики поверхности. Например, методом вибрирующего конденсатора фиксировалось уменьшение величины работы выхода электрона $\Delta\varphi$ [3], которая со временем релаксировала к исходному значению. Интересно отметить, что максимальное начальное уменьшение $\Delta\varphi$ совпадало (с точностью до нескольких процентов) со значением ширины запрещенной зоны S_i (опыты на других материалах подтвердили эту закономерность, получалось для Ge : $\Delta\varphi = 0.67$ В, для $InSb$: 0.23 В). Характерной особенностью изменений на противоположной поверхности при высоких уровнях возбуждения (тонкие образцы) являлось то, что их параметры уже не зависели ни от типа проводимости, ни от концентрации (вплоть до 10^{20} см⁻³) основных легирующих примесей. Эффекты на одном образце могли воспроизводиться многократно после соответствующих циклов отжига в вакууме при $T = 300$ – 400 °С.

На рис. 1 кривой 1 представлена кинетика затухания фотостимулированной эмиссии J_{φ} с поверхности (111) образца КДБ-0.03 толщиной 0.16 мм, подвергнутого бомбардировке ионно-плазменным пучком. (Интенсивность фотостимуляции от УФ-лампы



Характерная кинетика затухания „нормальной“ (кривая 1) и „аномальной“ (кривая 2) фотостимулированной электронной эмиссии с образцов кремния КДБ-0.03 толщиной 0.16 мм. Стрелками указаны моменты прерывания фотостимуляции.

$3 \cdot 10^{-5}$ Вт·см $^{-2}$; Г - образный фильтр с $h\nu_{\text{ГП}} = 4.1$ эВ). Если произвести дополнительное легирование образцов медью до концентраций $10^{19} - 10^{20}$ см $^{-3}$, то интенсивность ЭЭ заметно возросла, однако характер релаксации оставался неизменным.

Совершенно иная ситуация возникала в том случае, когда образцы с медью перед бомбардировкой предварительно облучались УФ-светом с $h\nu_{\text{ГП}} = 5.5$ эВ. В таких случаях при комнатной температуре наблюдалась аномально слабо затухающая фотостимулированная ЭЭ (кривая 2 на рисунке). Если для „нормальной“ ЭЭ постоянная спада через несколько часов после бомбардировки порядка $8 \cdot 10^{-5}$ с $^{-1}$, то для „аномальной“ - $3 \cdot 10^{-6}$ с $^{-1}$ с тенденцией к дальнейшему уменьшению.

По нашему мнению, „аномальная“ эмиссия не может быть сведена к известному явлению долгоживущей фотопроводимости в полупроводниках [4]. В частности, важно отметить, что наблюдавшееся нами метастабильное состояние поверхности является по своей сути кинетическим, т.к. прекращение фотостимуляции в течение времени до 1 мин на любой стадии (указано стрелками на рисунке) приводит к срыву ЭЭ, причем восстановление фотостимуляции уже не влияет на развивающуюся деградацию эмиссии. (При „нормальной“ эмиссии циклы прерывания фотостимуляции не изменяют параметров релак-

сации поверхности). На это указывают и случаи самопроизвольного срыва „аномальной“ ЭЭ на образцах, у которых с течением времени, как правило, после 12 часов $J_p \leq 600$ имп.с⁻¹. Явление кинетической блокировки метастабильных состояний привлекалось авторами работы [5] для объяснения хода интенсивности катодоллюминесценции $YBa_2Cu_3O_7$ в области температур ниже критической.

Обращает на себя внимание, что „аномальная“ эмиссия имеет и много других признаков, характерных для явления высокотемпературной сверхпроводимости (ВТСП). Во-первых, „аномальная“ эмиссия имела место только на низкоомных образцах р-типа с медью при наличии на поверхности окисной пленки. (В этих образцах окисные пленки были естественного происхождения). В случае образцов со специально выращенными нитридными пленками ЭЭ была крайне мала. Во-вторых, наблюдавшийся нами эффект сильного возгорания эмиссии после облучения бомбардированных образцов электронами ($E=1-2$ КэВ, $J_e=10$ мкА) подобен эффекту возгорания вторичной электронной эмиссии с образцов ВТСП-керамики вблизи критической температуры T_c [6], где также отмечался резко выраженный диэлектрический характер поверхностного слоя. Образование высокоомного поверхностного слоя толщиной до 200 Å фиксировалось в наших образцах (нормальных) по вольт-емкостным характеристикам. Далее, кинетика „аномальной“ ЭЭ во многом подобна динамике затухания СП-тока, например [7], а наблюдавшийся нами эффект постепенного расщепления двух температурных пиков ЭЭ при 92 °С и 225 °С на нормальных образцах при временах, больших 20 мин, и пропадание расщепления через 140 мин аналогичен обнаруженному в [8] поведению расщепления спектров ЯМР меди в $YBa_2Cu_3O_7$ в зависимости от изменения величины T_c .

С точки зрения того, что „аномальная“ ЭЭ является поверхностным эффектом, а также согласно воззрениям некоторых авторов [9], о поверхностном происхождении высокотемпературной ($T_c > 150$ К) сверхпроводимости, следует указать работу [10], где выдвигается идея о повышении критической температуры ВТСП методом „эффекта поля“. Нами проводились измерения как темновых сопротивлений бомбардированных образцов различных типов проводимости и уровней легирования, так и при фотостимуляции. Однако лишь в первом случае результаты укладывались в рамки обычной модели нестационарного „собственного эффекта поля“. Что касается „аномальных“ образцов, то попытки проведения подобных измерений всегда приводили к срыву „аномальной“ ЭЭ.

Необычная роль предварительной УФ-подсветки, которая имела место лишь для „медных“ образцов, может быть связана, по нашему мнению, лишь с ионизацией атомов меди. В действительности переходы на d -уровнях меди с переносом заряда в $YBa_2Cu_3O_7$, согласно [11], вызываются только фотонами с достаточно большими энергиями (около 5 эВ). Укажем, что в литературе высказываются мнения, что изменения в зарядовых состояниях меди („смешанная валентность“) является одной из причин ВТСП.

Поскольку одним из необходимых факторов для появления „аномальной“ ЭЭ в наших опытах было наличие импульсного ударного воздействия, обратим внимание на работу [12], где после во многом аналогичного воздействия зафиксированы СП-свойства иттриевой керамики в тетрагональной фазе.

С п и с о к л и т е р а т у р ы

- [1] Пантелеев В.А., Черняховский В.В., Ершов С.Н. // ФТТ. 1974. Т. 16. № 7. С. 2151-2153.
- [2] Авдонин В.Я., Леманов В.В., Смирнов И.А., Тихонов В.В. // ФТТ. 1972. Т. 14. № 3. С. 877-883.
- [3] Пантелеев В.А., Черняховский В.В., Ершов С.Н., Волков Е.Ф. // ФТТ. 1975. Т. 17. № 5. С. 1536-1538.
- [4] Morgan T.N. // Phys. Rev. B. 1986. V. 34. N 5. P. 2664-2668.
- [5] Еременко В.В., Фуголь И.Я., Самиров В.Н., Журавлев В.М. // Физика низких температур. 1988. Т. 14. № 7. С. 764-767.
- [6] Волынец В.Н., Головашкин А.И. и др. // ФТТ. 1988. Т. 30. № 6. С. 1646-1651.
- [7] Габович А.М., Моисеев Д.П. и др. // Физика низких температур. 1988. Т. 14. № 6. С. 649-652.
- [8] Сериков В.В., Богданович А.М. и др. // Письма в ЖЭТФ. 1988. Т. 47. № 9. С. 451-453.
- [9] Красинькова М.В., Мойжес Б.Я. // ФТТ. 1988. Т. 30. № 7. С. 2221-2223.
- [10] Бразовский С.А., Яковенко В.М. // Письма в ЖЭТФ. 1988. Т. 48. № 3. С. 159-161.
- [11] Geserich H.P. et al. // Europhys. Lett. 1988. V. 6. N 3. P. 277-282.
- [12] Кондаков С.Ф., Подурец А.М. и др. // Письма в ЖЭТФ. 1988. Т. 48. № 4. С. 193-195.

Поступило в Редакцию
14 декабря 1988 г.