

СТРУКТУРА И ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ПЛЁНОК ОЛОВО – ФУЛЛЕРЕН C₆₀

Жданок С.А.,¹ Шпилевский Э.М.,¹ Шпилевский М.Э.,¹ Матвеева Л.А.²

¹Институт тепло- и массообмена им. А.В.Лыкова НАН Беларуси,
ул. П. Бровки, 15, Минск, 220072, Беларусь

²Институт физики полупроводников НАН Украины,
пр. Науки, 45, Киев, 03650, Украина

Введение

В настоящее время формируется новое научное направление — фуллереновое материаловедение. Разработка принципов и приёмов формирования фуллеренсодержащих и фуллереноподобных материалов, изучение их свойств актуальны как с позиций фундаментальных исследований, так и с позиций использования таких материалов в различных устройствах (солнечных элементах, оптических затворах, холодных катодах электронно-лучевых трубок, полевых транзисторах, парах трения и др.). Как было показано ранее [1], тонкие плёнки олова имеют аномальную зависимость удельного электрического сопротивления от толщины. При значениях толщины 20 - 60 нм удельное электрическое сопротивление плёнок ниже значений для массивного олова.

Методика эксперимента

Композиционные тонкие плёнки получались в вакуумной установке ВУП-4 из совмещённых атомно-молекулярных потоков, образованных молекулами фуллеренов C₆₀, сублимировавших из находящегося в танталовой эффузионной ячейке фуллеритового порошка, и атомов олова, испаряемых с помощью молибденового испарителя. Температура испарителей поддерживалась постоянной во время испарения и составляла для фуллеренов 673 К и 1473 К — для олова. Подложкой служила грань монокристалла кремния. Конденсация проводилась на подогретую до 423 К подложку. Давление остаточных паров в камере при получении образцов не превышало $1 \cdot 10^{-3}$ Па. Скорость роста плёнок составляла 3,0 - 3,5 нм·с⁻¹.

Структура и фазовый состав плёнок исследовались методами электронной микроскопии и рентгенографии, электрическое сопротивление измерялось компенсационным методом.

Результаты и их обсуждение

Тонкие плёнки Sn-C₆₀ имеют ультрамелкодисперсную структуру. При изменении долевого состава компонентов плёнок размер зёрен уменьшается с увеличением гетерогенности.

На рис. 1 представлено изображение структуры плёнки Sn-C₆₀, полученной в просвечивающем электронном микроскопе.

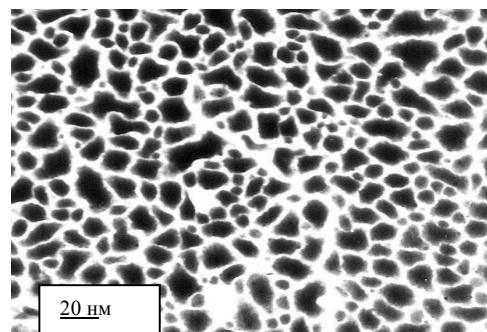


Рис. 1. Электронномикроскопическое изображение плёнок Sn-C₆₀

Представленный снимок иллюстрирует не только малый размер зёрен, но и факт расположения фуллеритной фазы по границам зёрен олова.

При некоторых долегах составах компонентов в плёнках Sn-C₆₀ обнаружены дифракционные максимумы, несвойственные ни олову, ни фуллериту, что свидетельствует о наличии новых фаз (рис.2).

Обнаружение металл-фуллереновых фаз представляется важным результатом, так как принято считать, что олово не образует карбидных фаз, а растворимость углерода в нём мала (менее 0,002 ат. %) [2].

Удельное электрическое сопротивление пленок Sn-C₆₀ изменяется на 14 порядков при изменении долевого состава компонентов от 0 до 100%.

Температурные зависимости электрического сопротивления выявили пять концентрационных зон с разными преобладающими механизмами переноса заряда. Температурный коэффициент сопротивления меняется в широких пределах от положительного до отрицательного. При нагреве и охлаждении наблюдается гистерезис (рис.3).

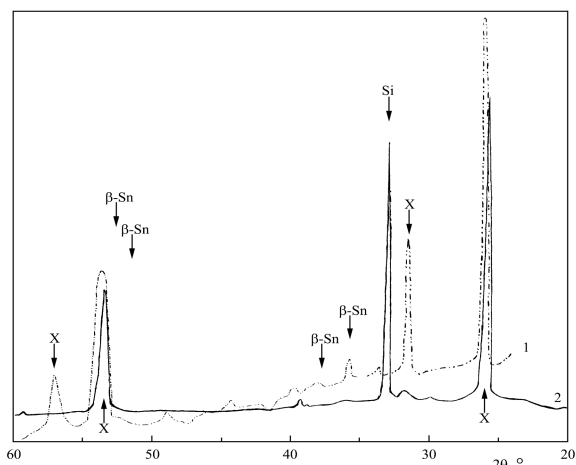


Рис. 2. Рентгенограммы плёнок Sn-C₆₀. 1 — $n_{\text{Sn}} : n_{\text{C}_{60}} = 12$, стеклянная подложка; 2 — $n_{\text{Sn}} : n_{\text{C}_{60}} = 9$, кремниевая подложка. Знаком «X» отмечены дифракционные линии неизвестных фаз.

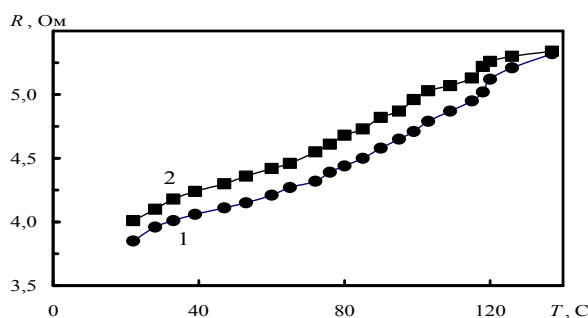


Рис. 3. Зависимость электросопротивления плёнки Sn-C₆₀ от температуры. 1 — кривая нагрева; 2 — кривая охлаждения ($d = 600$ нм, $n_{\text{Sn}} : n_{\text{C}_{60}} = 80$).

Вольтамперные характеристики плёнок Sn-C₆₀ нелинейны (рис. 4.).

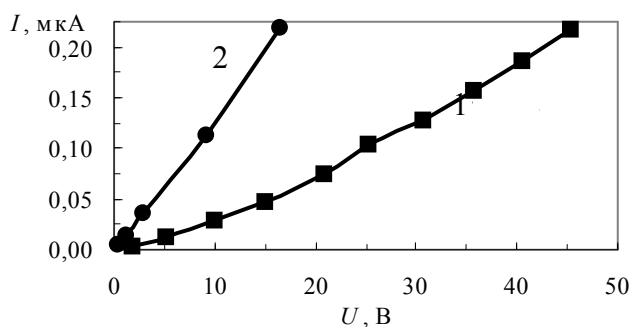


Рис. 4. Вольтамперные характеристики плёнок Sn-C₆₀: 1 — $n_{\text{Sn}} : n_{\text{C}_{60}} = 6$; 2 — $n_{\text{Sn}} : n_{\text{C}_{60}} = 15$.

Электрическая проводимость плёнок пропорциональна квадратному корню из напряжённости электрического поля.

Зависимость проводимости плёнки Sn-C₆₀ от напряжённости приложенного электрического поля приведена на рис. 5.

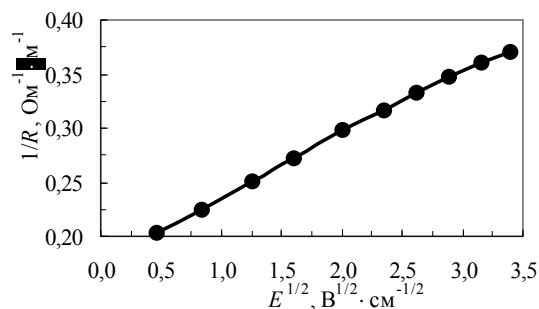


Рис. 5. Зависимость проводимости плёнки Sn-C₆₀ от напряжённости электрического поля. $n_{\text{Sn}} : n_{\text{C}_{60}} = 6$

Наблюдаемая активация проводимости электрическим полем свидетельствует о наличии в плёнках металлической и диэлектрической (полупроводниковой) фаз. Структура плёнок представляет собой «островковые» образования, что иллюстрирует рис. 1.

Выводы

1. Установлена структурирующая роль фуллеренов при совместной конденсации олова и фуллеренов
2. При совместной конденсации олова и фуллеренов для некоторых долевых составов компонентов обнаружено химическое взаимодействие атомов олова с молекулами фуллеренов C₆₀ и образование фуллеридов Sn_xC₆₀.
3. При изменении долевого состава компонентов удельное электрическое сопротивление изменяется на 14 порядков, при этом выявляются пять концентрационных зон с разными преобладающими механизмами переноса заряда.
4. Для большинства долевых составов компонентов плёнки Sn-C₆₀ имеют нелинейные вольтамперные характеристики, их электрическая проводимость активируется электрическим полем.

Литература

1. Шпилевский Э.М., Шпилевский М. Э. Электрические свойства ансамблей малоразмерных частиц меди, олова и свинца. // Низкоразмерные системы. — Минск: БГУ, 1998. — с.80 — 82.
2. Эллиот Р.П. Структуры двойных сплавов. Т. 1. — М.: Металлургия, 1970. — 456 с.