

УДК 621.791.011

І.В. Нагорна, аспірант
О.О. Новомлинець, канд. техн. наук, доцент
Чернігівський національний технологічний університет, zavalnaya89@gmail.com
Є.В. Половецький, канд. техн. наук
ІЕЗ ім. Є.О. Патона НАНУ, м. Київ, Україна, evgesha@ukr.net

ВИВЧЕННЯ БАР'ЄРНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ ІОННО – МОДИФІКОВАНИХ ШАРІВ

Важливими характеристиками будь-якого приладу є його надійність і довговічність. На даному етапі розвитку термоелектричних модулів (ТЕМ) їхня надійність і довговічність знаходиться на низькому рівні. Саме тому на сьогоднішній день ведуться дослідження в області удосконалення конструкції ТЕМ з метою збільшення їх терміну служби. Найбільш перспективним напрямком збільшення терміну служби ТЕМ визнано проблему вивчення властивостей бар'єрного покриття і способу його нанесення [1].

Як відмічають автори [2], одним з найефективніших традиційних термоелектричних матеріалів, використовуваних сьогодні для виготовлення робочих елементів термоелектричних приладів і обладнань є телурид вісмуту Bi_2Te_3 . Для виготовлення комутаційних пластин термоелементів, найчастіше використовують Cu , Cr , Ni , Ti , Ag , Au та їх сплави [3]. Не дивлячись на те, що телурид вісмуту Bi_2Te_3 є одним з найефективніших традиційних термоелектричних матеріалів, він володіє різко вираженою анізотропією властивостей, внаслідок чого коефіцієнти дифузії та самодифузії будуть залежати від кристалографічного напрямку. Коефіцієнти дифузії для всіх домішок сильно анізотропні, а для Cu , Ag і Au вони до того ж і надзвичайно великі. Велика швидкість дифузії Cu , Ag і Au в напрямку площин відколу обумовлена слабким зв'язком і великими проміжками між шарами $\text{Te}^{(1)} - \text{Te}^{(1)}$ [3]. Автори [4] висувають іншу точку зору – передбачається, що Cu (чи інший матеріал шару провідника) швидко дифундує уздовж дислокацій, щільність яких у напрямку різних осей сильно розрізняються. Сильна анізотропія швидкості росту Bi_2Te_3 і його твердих розчинів призводить до того, що при кристалізації з плоскою межею розподілу твердої і рідкої фази утворюється «спрямована» структура, в якій площина спайності зерен орієнтуються паралельно осі злитка (по нормалі до фронту кристалізації). Через утворення такої структури стає можлива дифузія атомів шару провідника в напівпровідник. Для запобігання зустрічної дифузії атомів і збільшення терміну служби ТЕМ застосовують дифузійні бар'єрні шари. Ці шари розділяють провідник і напівпровідник в місці їх контакту та наносяться на поверхню напівпровідника різними способами. Однак така технологія не завжди дозволяє досягти потрібного результату, внаслідок впливу антидифузійного шару на структуру напівпровідникового матеріалу та працездатність ТЕМ. Тому автори даної роботи вважають за доцільне виконувати нанесення бар'єрного шару безпосередньо на поверхні комутаційної пластини методом іонної імплантації.

Поряд із технологією нанесення антидифузійного шару, актуальним є вибір оптимального матеріалу прошарку та його товщини, який би дозволив запобігти дифузії атомів шару провідника (Cu) в напівпровідник (Bi_2Te_3).

Дослідження дифузійних процесів Cu в бар'єрний шар, за умови створення цього шару методом іонної імплантації, було проведено для антидифузійних прошарків виконаних з Cr , Ni та Ti . Розрахунок коефіцієнта дифузії D , який є однією з найбільш важливих величин, яка визначає швидкість дифузії, визначався користуючись залежністю коефіцієнта дифузії від температури (закон Арреніуса). З результатів розрахунків видно, що найбільший коефіцієнт дифузії ($D_{\text{Cu}-4\% \text{Ni}} = 4,8 \times 10^{-8} \frac{\text{cm}^2}{\text{c}}$) властивий парі $\text{Cu} - \text{Ni}$. Це пояснюється тим, що Ni , відповідно до діаграми стану подвійних сплавів,

взаєморозчинний з Cu і не може якісно блокувати її дифузію в напівпровідник. Розрахунки для пари Cu – Cr показали найменше значення коефіцієнта дифузії ($D_{Cu-2.43\%Cr} = 9 \times 10^{-10} \frac{cm^2}{c}$), що може свідчити про можливість блокування дифузії атомів шару провідника (Cu) в напівпровідник (Bi_2Te_3). Саме за рахунок обмеженої розчинності Cr в Cu можливе використання цього матеріалу в якості ефективного бар'єрного шару.

Для визначення необхідної товщини антидифузійного прошарку, який би гарантовано блокував дифузію атомів шару провідника (Cu) в напівпровідник (Bi_2Te_3), користувалися законом Фіка. Час дифузійного процесу для розрахунків середньої глибини дифузійного шару приймався рівним $10,8 \times 10^6$ секунд, оскільки, в середньому, довговічність ТЕМ складає 3000 годин роботи в циклічному режимі.

Отже, серед запропонованих бар'єрних прошарків найменшим коефіцієнтом дифузії Cu володіє шар Cr, тому саме для цього матеріалу було проведено розрахунок необхідної глибини дифузійного шару. Відповідно до проведених розрахунків товщина бар'єрного прошарку повинна складати $X_{(Cu-2.43\%Cr)} = 30 - 50$ мкм, яка буде гарантувати блокування дифузії атомів шару провідника (Cu) в напівпровідник (Bi_2Te_3).

Список посилань

1. Пат. 2425434 Российская Федерация, Патент RU 2425434. Способ изготовления термоэлектрического модуля с увеличенным сроком службы / Башков В.М.; Беляева А.О.; Горбатовская Т.А. и др. заявитель и патентообладатель Государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования "Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана" (RU), Общество с ограниченной ответственностью Научно-Производственное объединение "Кристалл" (RU). – заявл. 22.10.2009; опубл. 27.07.2011.
2. Горський П. В. Електропровідність контактуючих часток термоелектричного матеріалу / П. В. Горський, В. П. Михальченко // Термоелектрика. – 2013. – № 2. – С. 12 – 18.
3. Тушенцова Екатерина Николаевна. Термоэлектрический модуль (ТЭМ) [Электронный ресурс] // Четвертая Всероссийская научно-техническая конференция «Студенческая весна 2011: Машиностроительные технологии» / МГТУ им. Н.Э. Баумана. – Электрон. дан. – М.: МГТУ, 2011. – 1 электрон. опт. диск (CD-R). – Систем. требования: ПЭВМ, ОС Windows. – Режим доступа: <http://studvesna.qform3d.ru?go=articles&id=351>. – Загл. с экрана. – № гос. регистрации 0321100671.
4. Пат. 2173911 Российская Федерация, МПК C23C 14/00, МПК H01J 37/00, МПК H05H 1/00. Получение электродуговой плазмы в криволинейном плазмоведе / Додонов А.И.; Башков В.М.; заявитель и патентообладатель Додонов Александр Игоревич, Башков Валерий Михайлович. – № 99123361/09; заявл. 04.04.1997; опубл. 20.09.2001.

УДК 621.793

И.А. Селиверстов, канд. техн. наук, доцент
Д.А. Дмитриев, докт. техн. наук, профессор

Херсонский национальный технический университет, sia-72@yandex.ru

ИССЛЕДОВАНИЕ СВОЙСТВ ШТАМПОВ ДЛЯ ФОРМИРОВАНИЯ ИЗДЕЛИЙ СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ

Работоспособность штампового оборудования механизмов, а также инструмента, применяемого для изготовления строительного материала (силикатного кирпича, газобетона) определяется стойкостью материала, из которого они изготовлены. Воздействие щелочных сред на стали при повышенном механическом износе вызывает их активную коррозию и коррозионный износ. Данные виды разрушений имеют различную