



Природа Примесных Состояний, Образующихся Редкоземельными Металлами В Аморфном Гидрогенизированном Кремнии

Тураев Эргаш Юлдошевич

Профессор кафедры физики Термезского государственного университета

Жумаев Жасурбек Менглиевич

2-курс магистр Термезского государственного университета

Аннотация:

Методами электрофизических и спектральных исследований изучена механизм легирования аморфного кремния редкоземельными металлами, температурная зависимость электропроводности, температурная зависимость коэффициента термоэдс, зарядовое состояние примесных атомов. Установлено, что отличие свойств примесных атомов редкоземельных элементов зависит от особенностей их электронного строения.

ARTICLE INFO

Article history:

Received 26 Nov 2021

Revised form 28 Dec 2021

Accepted 06 Jan 2022

Ключевые слова: Примесные состояние, редкоземельных металлы, аморфный кремний, электропроводность, термоэдс, мессбауэровская спектроскопия, изотопы, инверсия, уровень Ферми.

Проблема легирования аморфного гидрогенизированного кремния $a\text{-Si(H)}$ давно привлекает внимание исследователей [1]. Основным методом, приводящим к эффективному изменению электрических и фотоэлектрических свойств $a\text{-Si(H)}$ является легирование из газовой фазы. Именно таким методом проводится легирование пленок $a\text{-Si(H)}$ бором и фосфором, что позволило создать ряд электронных приборов на основе данного материала (фотопреобразователей, полевых транзисторов и т.д.). Однако число работ, посвященных изучению влияния металлических примесей на свойства $a\text{-Si(H)}$ невелико, хотя очевидно, что расширение число примесей, эффективно изменяющих фотоэлектрических свойства $a\text{-Si(H)}$ позволит найти новые области практического использования материала [2].

Целью настоящей работы является исследование механизма легирования пленок $a\text{-Si(H)}$ редкоземельными металлами (РЗМ).

Пленки $a\text{-Si(H)}$, легированные РЗЭ, были получены с помощью метода высокочастотного распыления мозаичной мишени в газовой смеси, содержащей аргон, водород и силан. Температура подложки была 380°C , что позволило получить пленки “приборного класса”.

Пленки легировались следующими РЗЭ: неодим, самарий, европий, гадолиний, тербий, диспрозий, гольмий, эрбий, иттербий.

Концентрация примеси определялась с учетом коэффициента распыления и площади РЗМ на мозаичной мишени и во всех случаях она составляла 0.1 ат. %.

Измерялись температурная зависимость коэффициента термоэдс $S(T)$. Зарядовое состояние примесей европия, диспрозия и иттербия определялось методом мессбауэровской спектроскопии. Исследование показали, что влияние на коэффициент термоэдс все исследованные примеси делятся на три группы. Металлы первой группы (тербий, диспрозий, иттербия) не меняют знак S , но абсолютное значение S падает и не превышает $400 \text{ мкВ} \cdot \text{К}^{-1}$ при 295 К и $600 \text{ мкВ} \cdot \text{К}^{-1}$ при 500 К. Металлы второй группы (самарий, эрбий, гадолиний) настолько понижают абсолютное значение S , что при 295 К мы не смогли определить его знак, но при $T=500 \text{ К}$ S возрастает до $500 \text{ мкВ} \cdot \text{К}^{-1}$ (знак S при $T \geq 350 \text{ К}$ – отрицателен). Наконец, металлы третьей группы (неодим, гольмий) приводят к положительному знаку S при $T \leq 330 \text{ К}$, но при более высоких температурах происходит инверсия знака S и при $T=500 \text{ К}$ абсолютное значение S достигает $300 \text{ мкВ} \cdot \text{К}^{-1}$.

Для примесей второй и третьей группы зависимость $S(T^{-1})$ не является линейной. Полученные результаты могут быть объяснены, если предположить, что примеси РЗЭ образуют в $\alpha\text{-Si(H)}$ полосы акцепторного типа, лежащие вблизи середины щели подвижности, причем при $T=0 \text{ К}$ уровень Ферми локализован в акцепторной полосе.

Следовательно, примеси первой группы образуют акцепторную полосу, лежащую на $0,06 \div 0,15 \text{ эВ}$ выше середины щели подвижности: во всей области исследованных температур проводимость осуществляется электронами по делокализованным состояниям зоны проводимости с энергией активации знак коэффициента термоэдс отрицателен, а его малое абсолютное значение при объясняется вкладом в проводимость не только электронов, но и дырок: с ростом температуры уровень Ферми поднимается к , стремясь занять положение, отвечающее минимуму функции плотности состояний в зазоре подвижности, вследствие чего вклад дырочного тока уменьшается и абсолютное значение S растет.

Примеси второй и третьей групп образуют полосу акцепторного типа, лежащую на $0,06 \div 0,17 \text{ эВ}$ ниже середины щели подвижности. В отличие от всех примесей РЗМ, примесь европия в $\alpha\text{-Si(H)}$ увеличивает электропроводность и уменьшает . Коэффициент термоэдс и оптическая ширина запрещенной зоны не зависят от легирования. Следовательно, введение европия в $\alpha\text{-Si(H)}$ сдвигает уровень Ферми к . Действие примеси европия можно объяснить образованием в щели подвижности $\alpha\text{-Si(H)}$ полосы донорного типа, электроны с которой заселяют нижележащие пустые состояния и поднимают уровень Ферми. По видимому, такой отличие от остальных РЗ поведение европия объясняется особенностями его электронного строения.

Литература

1. Джоунопулос Дж. , Люковски Дж. “ Физика гидрогенизированного кремния. Вып.1” , Москва, 1987, 363 стр.
2. Регель А.Р. и др. “Природа примесных состояний в гидрогенизированном кремнии”, ФТП , 1988, т.22, вып.1, стр.16-19.