

СТРУКТУРНЫЕ ОСОБЕННОСТИ ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ ПОЛИКРИСТАЛЛОВ И ЭЛЕКТРОННОЕ СТРОЕНИЕ МЕЖКРИСТАЛЛИТНЫХ ГРАНИЦ

С.М.Зайнолобидинова

Ферганские государственные университет

s.zaynolobidinova@pf.fdu.uz

АННОТАЦИЯ

В работе приведены структурные особенности полупроводниковых поликристаллов и электронное строение межкристаллитных границ. Под поликристаллическими материалами в данном исследовании будем понимать твердые тела, отличающиеся микрокристаллической структурой.

***Ключевые слова:** полупроводник, площадь, монокристалл, поликристалл, термисторы, электрон, сопротивление, прозрачность, температура, фотонапряжения, кристаллит.*

ABSTRACT

The paper presents the structural features of semiconductor polycrystals and the electronic structure of intercrystallite boundaries. Under polycrystalline materials in this study, we mean solids that differ in microcrystalline structure.

***Keywords:** semiconductor, area, single crystal, polycrystal, thermistors, electron, resistance, transparency, temperature, photovoltage, crystallite.*

ВВЕДЕНИЕ

Первые фундаментальные исследования свойств полупроводников проводились именно на поликристаллических объектах и их заметное внедрение в технику продолжает непрерывно расширяться [1,2].

Примерами обширной материальной базы поликристаллов полупроводников, применяемых на практике, могут служить оксидные полупроводники (шпинели AB_2O_4 , оксиды типа титаната бария), термоэлектрические материалы (соединения типа $A_2^V B_3^{VI}$, $A^{IV} B^{VI}$, сплавы Fe_2Si и $Si_{1-x}Ge_x$ и др), используемые в СВЧ – схемах гетероэпитаксиальные слои кремния на сапфире или на шпинели, пленочные материалы для создания солнечных батарей большой площади, CdS и $CdSe$ для создания полевых транзисторов, селеновые шайбы, ZnO люминофоры и др. [2].

Во многих случаях решающим фактором применения поликристаллов в электронных устройствах становится их радиационная стойкость,

обусловленная уже имеющимися в них нарушениями кристаллической структуры [2], а также способность пропускать токи высокой плотности.

Заманчивым является то, что поликристаллическим полупроводникам свойственны физические эффекты, которые широко можно использовать в электронике, такие как барьерный эффект на границах кристаллитов (ГК). К приборам, построенным на этом эффекте, можно отнести варисторы на основе SiC и ZnO [2], ИК фотоприемники на основе фотоэлектрических слоев типа PbS и термоэлектрических пленок $A_2^V B_3^{VI}$ и $A^{IV} B^{VI}$ [3]. Особое положение среди поликристаллических элементов с активными ГК занимают термисторы с положительным температурным коэффициентом сопротивления (ТКС). Это так называемые позисторы, где активно используется взаимодействие между сегнетоэлектрическими свойствами материала основы и барьерными свойствами ГК, например, в поликристаллах титаната бария, что приводит к аномальному (на порядки) росту сопротивления при температурах выше температуры Кюри [2].

ОБСУЖДЕНИЕ И РЕЗУЛЬТАТЫ

Следует заметить, что, по-видимому, не нашел своего настоящего применения эффект возникновения аномального фотонапряжения (АФН) в поликристаллических полупроводниках, подробно описанный ещё Э.И.Адировичем с сотр. [4,5]. Определенные перспективы имеют поликристаллические люминесцентные материалы, например, получаемые рекристаллизационными методами цинкосульфидные кристаллофосфоры [6].

Перечисление областей успешного применения полупроводниковых поликристаллов может образовать достаточно длинный список. Всестороннее обсуждение возможностей практического использования немонокристаллических полупроводников не является целью настоящего исследования. Вопросы применения тех или иных поликристаллов удобнее всего обсуждать в контексте взаимосвязи типа материала, его структуры и электронных свойств с соответствующими конструктивными решениями.

Под поликристаллическими материалами в данном исследовании будем понимать твердые тела, отличающиеся микрокристаллической структурой. Поликристаллы по своему кристаллическому строению занимают промежуточное положение между монокристаллами и аморфными (стеклообразными) материалами. В пределе (при неизменном объеме твердого тела) при увеличении среднего размера микрокристалла они принимают

макрогранулированную структуру, а затем превращаются в монокристалл и, наоборот, при уменьшении среднего размера микрокристалла до десятков нм – в аморфное тело. Такое положение поликристаллических материалов обуславливает сочетание в них ряда физических и эксплуатационных свойств, присущих как монокристаллам, так и стеклам. Здесь, в первую очередь, следует указать на сочетание кристаллической структуры с изотропностью механических свойств и прозрачность в оптическом диапазоне спектра поликристаллических люминофоров [6], анизотропию электро- и теплопроводностей, с изотропностью термоэдс [7,8,9]. Последнее имеет важное практическое значение в связи с перспективами применения в термоэлектричестве [10], в котором требуется высокая добротность и коэффициент полезного действия.

В настоящее время разработан и совершенствуется целый ряд физических, химических и технологических приемов изготовления поликристаллических материалов из веществ находящихся в различных фазах: паровой, жидкой и твердой.

Из твердой фазы они могут быть получены как пластической деформацией монокристаллов в сочетании с сопутствующей ей первичной рекристаллизацией, так и уплотнением дисперсных порошков с помощью металлокерамических приемов (спеканием или прессованием) [6]. Из паровой и жидкой фазы зачастую формируют поликристаллические пленки и слои [11]. Некоторые современные модификации технологии получения таких объектов описаны в [12].

Общим для любого способа получения поликристалла является то, что зачастую процесс их образования происходит при температурах, заметно более низких, чем температура плавления исходного материала. Однако при этом, получаемые поликристаллы, по ряду параметров, как отмечалось выше, не отличаются от монокристаллических образцов. Во многих случаях единственным принципиальным отличием поликристаллических образцов от монокристаллов является присущая им макро-гранулярная структура, т.е. отличие физических свойств поликристаллов от монокристаллов связано не со свойствами отдельных кристаллитов, это отличие определяют контакты между ними - ГК. Поэтому путь к пониманию свойств вещества в поликристаллическом состоянии проходит через идентификацию свойств ГК.

ГК в поликристаллах как структурная единица давно привлекают к себе внимание металловедов и других специалистов в области твердого тела.

Известно, что адсорбционная активность ГК является основной причиной охрупчивания конструкционных материалов; уменьшение размера кристаллита обычно приводит к улучшению механических свойств материала; кинетикой атомных перестроек определяется подвижность ГК в процессе рекристаллизации [13]. Релаксационными явлениями на ГК обусловлены пики внутреннего трения и, отчасти, затухание ультразвука в поликристаллах [14].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Значение проблемы влияния атомной структуры ГК на свойства материала весьма ощутимо в связи с тем, что подавляющее большинство кристаллических материалов применяется в виде поликристаллов. Это связано с чрезвычайной затратностью (в первую очередь энергетической) технологий получения монокристаллов. Тем не менее ГК остаются единственными дефектами кристаллического состояния, об атомной структуре которых, еще нет общепринятых представлений. Этим объясняется, то что интерес к структуре ГК не ослабевает.

Из экспериментальных методов, развитых к настоящему времени и допускающих прямое наблюдение структуры ГК, можно указать методы автоионной и трансмиссионной электронной микроскопии, метод растрового электронного микроскопа и различные высокоразрешающие методы анализа локальных концентрационных неоднородностей, например, туннельная и атомно-силовая микроскопии. Возросшая точность всевозможных дифракционных эффектов в сочетании с новыми резонансными методами, аннигиляцией позитронов и др. позволяет все более надежно выявлять вклад ГК в исследуемое явление и использовать эти методы для исследования их собственной структуры. Такие исследования в сочетании с современными методами определения макроскопических характеристик (проводимость и ее температурная и полевые зависимости, термоэдс и термомагнитные эффекты, фотопроводимость, люминесценция и др.) могут более точно обрисовать атомную структуру и электронные свойства ГК.

REFERENCES

1. Колешко В.М., Ковалевский А.А. Поликристаллические пленки полупроводников в микроэлектронике. Минск: Наука и техника, 1978.-344с.
2. Аморфные и поликристаллические полупроводники// Хейванг В., Биркхольц У., Аицингер Р. и др. Под ред. В. Хейванга.-М.: Мир, 1987.-160с.

3. Атакулов Ш.Б., Коканбаев И.М. Термические и радиационно-стимулированные процессы в поликристаллических пленках халькогенидов свинца. -Ташкент: Фан,1992. - 96с.
4. Адирович Э. И., Рубинов В.М., Юабов Ю.М.О природе АФН-эффекта в полупроводниковых пленках //ДАН России, 1966.- №5 (168).-С. 1037-1040.
5. Черничкин В.И., Дашевский З.М. и др. Фотопроводимость пленок РbTe(In) с варьируемой микроструктурой //ФТП, 2011. –N11 (45). -С.1533-1537.
6. Волынец Ф.К.Перспективы изготовления поликристаллических люминесцентных материалов методом рекристаллизационного прессования// Изв. АН России Сер.физ., 1982.-№2 (45). – С. 315-320.
7. Атакулов Ш.Б., Зайнолобидинова С.М.,и др. Влияние структурных особенностей поликристаллических пленок полупроводников на формирование эффекта аномального фотонапряжения. I. Механизм явления // Физика и техника полупроводников, 2011, № 46-(6).- С.728-733.
12. Анатычук Л.И. Термоэлементы и термоэлектрические устройства.- Киев: Наукова думка, 1979. -766 с.
8. Анатычук Л.И. Термоэлементы и термоэлектрические устройства.- Киев: Наукова думка, 1979. -766 с.
9. Абдуллаев Э. Т., Атакулов Ш. Б., Мамадалиева Л. К. и др. Оптимизация параметров p-ветвей термопреобразователей солнечного излучения // Гелиотехника, Ташкент, 2008.-№1.-С.76-82.
10. Атакулов Ш.Б., Зайнолобидинова С.М.,и др. К.Теории Аномальных фотоэлектрического и фотомагнитного эффектов в полупроводниковых пленках // Ўзбек физика журналы, 2011, №4-(13).-С.255-260.
11. Гленг Р. Вакуумное испарение // Технология тонких пленок. Т. 1. М.: Радио, 1977.- С. 9-174.
12. Плячко С.В.. Особенности роста и физических свойств РbTe/BaF₂ // ФТП,1998, N3(32).- С.257-260.
13. Орлов А.Н. Геометрические и энергетические аспекты атомной структуры межзеренных границ // Атомная структура межзеренных границ. - М.:Мир, 1978.-С.5-23.
14. Постников В.С.Внутреннее трение в металлах. - М. : Металлургия, 1969.- 270 с.