

О ВОЗМОЖНОСТИ ПОЛУЧЕНИЯ ПЕРИОДИЧЕСКОЙ СТРУКТУРЫ В ТВЕРДЫХ ТЕЛАХ

А.А. АГАСИЕВ, Э.М. МАГЕРРАМОВ,
Дж.Г. ДЖАББАРОВ, М.З. МАМЕДОВ, Х.О. ГАФАРОВА
Бакинский Государственный Университет

Рассматривается возможность возникновения узкополосных энергетических структур при контакте твердого тела с тонкими пленками. В зависимости от параметров подобные структуры могут не только суммировать в себе свойства отдельных слоев и соответствующих границ, но и обладать рядом новых свойств, связанных с появлением подзон в энергетическом спектре.

Отличительные особенности многослойных пленочных структур представляют большой научный интерес в связи с развитием нанотехнологии. Они могут играть существенную роль при совершенствовании технологии нанесения пленок.

Причиной неоднородности пленок могут быть поверхностные или объемные дефекты, а также изменение концентрации носителей вблизи подложки. Соответственно этому неоднородность может быть как регулярной, так и случайной.

К регулярно неоднородным пленкам могут относиться и пленки с периодическим распределением неоднородностей. Эти пленки интересны тем, что позволяют получать на фоне обычного потенциала кристаллической решетки дополнительную длинноволновую подструктуру, что может быть использовано для разработки принципиально новых приборов. В работах [1, 2] предложен ряд моделей таких структур. Рассмотрим модель, в которой в качестве основы периодичности используется дифракционная решетка. В этом случае в местах соприкосновения контактная разность потенциалов создает точечные электрические поля, проникающие в глубь образца на расстояние $L = \sqrt{\delta U_k / 4\pi e^2}$.

Предложенные модели позволяют рассчитывать получение дополнительных разрешенных и запрещенных подзон, не превышающих десятых долей миллиэлектронвольт. Это значит, что при наиболее часто встречающемся в полупроводниках времени релаксации $\tau \approx 10^{-12}$ сек эти подзоны будут сильно размыты, что значительно снижает возможность их обнаружения и использования.

Рассмотрим сравнительно простой метод получения периодической подструктуры, основанный на использовании дифракционной решетки в качестве источника периодичности. Представим себе дифракционную решетку в виде

металлической пластины A с зубчатым профилем вдоль оси X и с периодом повторения a (рис. 1а).

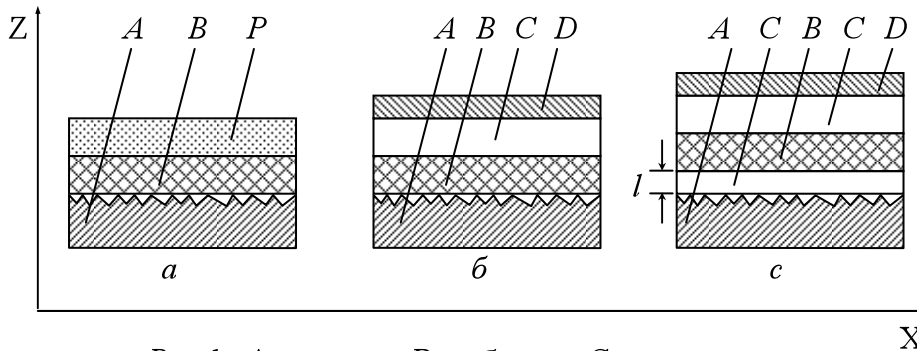


Рис. 1. А – металл; В – образец; С – изолятор;
D – электрод; P – подложка

Если к такому металлическому основанию приложить тонкую пластину полупроводника или полуметалла B , то возникающая в местах соприкосновения контактная разность потенциалов U_k создаст точечные электрические поля, проникающие в образец на расстояние L . Следовательно, в толщине образца порядка L имеется периодический потенциал электрического поля, который при подборе материалов A , B и периода a , может способствовать появлению разрешенных E_p и запрещенных E_z энергетических полос для движения электрона вдоль оси X , величины которых определяются формулами [3]:

$$E_p \approx \hbar\pi^2/2ma^2 \quad \text{и} \quad E_z \approx \varepsilon U_k(z),$$

где $U_k(z)$ – величина контактного потенциала на глубине Z .

Очевидно, что для экспериментального обнаружения энергетической структуры необходимо выбрать материал для рабочего слоя B с возможно малыми величинами эффективной массы и периода a . Кроме того, для получения достаточно четкой периодической картины распределения потенциала необходимо, чтобы толщина образца b , длина экранирования L и период a удовлетворяли условию неравенства:

$$b \leq L < a \quad (1)$$

Наиболее подходящим материалом для слоя B является Bi как из-за малой эффективной массы электрона ($m_e \approx 0,05m_0$ для Bi вдоль бинарной оси), так и из-за возможности его эпитаксиального наращивания [4]. Если исходить из периода дифракционной решетки $a \approx 10^{-5} \text{ см}$, что технически осуществимо [5], а ширина разрешенных подзон будет $E_p \approx 0,01 \text{ эВ}$ и значительно превышает неопределенность по энергии $\Delta E \approx \hbar/\tau$. В направлении Z образец представляет собой потенциальную яму с дискретным энергетическим спектром и электроны не могут

перераспределяться для экранирования контактного потенциала, например, при $L_z > L_x = L_y$. Тогда условие (1) заменяется более простым:

$$b \leq L_x; L_x < a \quad (2)$$

Для Bi ($n \approx 10^{17} \text{ см}^{-3}$, $\varepsilon \approx 150$) получим $L_x \leq 100 \text{ \AA}$ при $U_k \leq 0,3 \text{ эВ}$, т.е. при толщине слоя B меньше, чем 1000 \AA условие (2) будет выполнено. Величина контактного потенциала может изменяться с помощью внешнего электрического поля, приложенного вдоль оси Z . При этом, во избежание проводимости вдоль оси Z , между образцом B и контактом D следует проложить изолирующий слой C (рис. 1б). Тогда к контактному потенциалу добавляется (или вычитается) внешняя разность потенциалов $U_{\text{вн}}$ и $L \approx \sqrt{\varepsilon(U_k \pm U_{\text{вн}})/4\pi e^2}$.

Подобная конструкция может быть использована и в отсутствие непосредственного контакта между слоями A и B (рис. 1б), которые разделены воздушным промежутком ℓ ($\ell < a$), длина экранирования в этом случае определяется дебаевской длиной $L_D \approx \sqrt{\varepsilon kT/4\pi e^2}$. Если рабочий слой сильно прижать к металлической гребенке (рис. 1б), то возникающие при этом точечные деформации также приведут к появлению периодического возмущения вдоль оси X (деформация Bi вызовет периодическую модуляцию энергетического перекрытия электронно-дырочных подзон и изменение концентрации вдоль оси X). При этом из-за сравнительно слабого закона спада деформации в глубь образца [6], а также из-за «направленности» деформации вдоль оси Z по сравнению с более размытым распределением контактного потенциала, могут быть использованы слои с большей толщиной.

Одним из наиболее интересных результатов, ожидаемых от такой узкополосной энергетической структуры, является образование штарковских уровней в постоянном электрическом поле в результате брэгговского отражения носителей тока. По-видимому [7], наиболее вероятным для реализации этого эффекта следует считать вариант, когда зона проводимости значительно уже запрещенной зоны, что, как известно, не имеет места в твердых телах, но наблюдается в нашем случае. Кроме того, такие конструкции более предпочтительны по сравнению, например, с эпитаксиальным наращиванием многослойной периодической структуры; как из-за большой высокоомности вдоль направления X , так и в связи с удобством для изучения оптических и высокочастотных свойств.

Следует отметить, что нарезав на металлическом основании дифракционную решетку в двух взаимноперпендикулярных направлениях, можно сделать подрешетку двумерной.

ЛИТЕРАТУРА

1. Кастальский А.А. Письма ЖЭТФ. 10, 328, 1969.
2. Кастальский А.А., Хусаинов А.Х. ФТП. 4, 1198, 1970.
3. Стафеев В.И. ФТП. 5, 408, 1971.
4. Бойко Б.Т., Палатник Л.С., Сидельников А.И. Thin Solid Films, 7, 5, 1971.

5. Шермергор Т.Д., Фокин А.Г. Сб. научных трудов по проблемам микроэлектроники. Физ-мат серия, вып. 5, 1970.
6. Чопра К.Я. Электрические явления в тонких пленках. Мир, Москва, 1972.
7. Поута Дж., Ту К., Мейгер Дж. Тонкие пленки. Взаимная диффузия и реакции. Мир, Москва, 1982.

BƏRK CİSMLƏRDƏ PERİODİK STRUKTURLARIN ƏMƏLƏ GƏLMƏSİ HAQQINDA

**A.A.AĞASIYEV, E.M.MƏHƏRRƏMOV, C.H.CABBAROV,
M.Z.MƏMMƏDOV, X.O.QAFAROVA**

XÜLASƏ

Bərk cismlərin nazik təbəqələrlə kontaktı nəticəsində dar zolaqlı enerji strukturunun əmələ gəlməsinin mümkünlüyünə baxılmışdır. Bu cür strukturlar parametrlərindən asılı olaraq nəinki ayrı-ayrı strukturların və uyğun sərhədlərin xassələrini özündə cəmləşdirir, həm də energetik spektrdə alt zonanın meydana gəlməsi ilə əlaqədar olaraq bir sıra yeni xassələrə malik ola bilər.

THE POSSIBILITY OF DELIVERING PERIODICAL STRUCTURES IN SOLIDS

**A.A.AGASIYEV, E.M.MAGERRAMOV,
J.H.JABBAROV, M.Z.MAMEDOV, X.O.GAFAROVA**

SUMMARY

The possibility of narrow-band energetic structures' rise in the contact of solids with thin solid films is discussed in the paper. Depending on parameters such structures could not only summarize the properties of single layers and appropriate borders but also possess a number of new properties concerned with appearance of underbands in the energy spectrum.