

04; 10; 11

© 1992

УВЕЛИЧЕНИЕ ХОЛЛОВСКОЙ ПОДВИЖНОСТИ В ТОНКИХ ПЛЕНКАХ $InSb$, МОДИФИЦИРОВАННЫХ НИЗКОЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ КИСЛОРОДНОЙ ПЛАЗМОЙ

А.Г. Веселов, С.Л. Рябушкин, И.Я. Шуллер

Тонкие полупроводниковые пленки антимонида индия, полученные методами вакуумной конденсации, имеют, как правило, невысокие электрофизические параметры и требуют послеростовой обработки. Традиционным способом укрупнения зерен и, соответственно, увеличения подвижности в поликристаллических пленках $InSb$ толщиной порядка 0.1 мкм является термическая обработка (отжиг или плавление). Однако продолжительный высокотемпературный процесс для некоторых подложек представляется нежелательным.

Известно, что модификация поверхности тонких пленок ионными пучками существенно меняет их электрофизические свойства [1].

В настоящей работе представлены экспериментальные результаты по изменению свойств тонких (0.05–0.2 мкм) пленок $InSb$ при обработке их поверхности низкоэнергетической кислородной плазмой. Наблюдалось увеличение холловской подвижности носителей заряда до $900 \text{ см}^2/\text{В}\cdot\text{с}$ при толщине пленки 700 \AA .

Пленки создавались методом ионно-плазменного магнетронного распыления в установке планарного типа на постоянном токе [2]. Использовались подложки из стекла, кварца, ниобата лития, на поверхность которых термическим распылением наносился слой монооксида кремния толщиной $500\text{--}1000 \text{ \AA}$. Технологический режим, состоящий из двух циклов напыления при разных температурах подложки, позволил получать пленки с размером зерна $0.4\text{--}0.8 \text{ мкм}$. Для пленок толщиной $0.05\text{--}0.2 \text{ мкм}$ непосредственно после напыления холловская подвижность лежала в пределах $100\text{--}300 \text{ см}^2/\text{В}\cdot\text{с}$.

Обработка пленки проводилась в кислородной плазме тлеющего разряда с потенциалом анода $3\text{--}10 \text{ кВ}$ и плотностью тока $0.2\text{--}0.5 \text{ мА}/\text{см}^2$, время воздействия $0.5\text{--}3 \text{ мин}$. После напыления пленки и после каждого этапа облучения измерялись холловская подвижность носителей и сопротивление. В облученных пленках холловская подвижность многократно увеличивалась и достигала значений $900 \text{ см}^2/\text{В}\cdot\text{с}$. В процессе обработки наблюдалось незначительное уменьшение толщины пленок. Графики зависимости подвижности носителей и поверхностного сопротивления от суммарного времени обработки для пленки толщиной 0.12 мкм представлены на рис. 1. С возрастанием толщины эффект становится менее выраженным и практически исчезает при толщинах более 0.2 мкм .

На рис. 2 представлена зависимость холловской подвижности от температуры для пленок, напыленных в одном технологическом

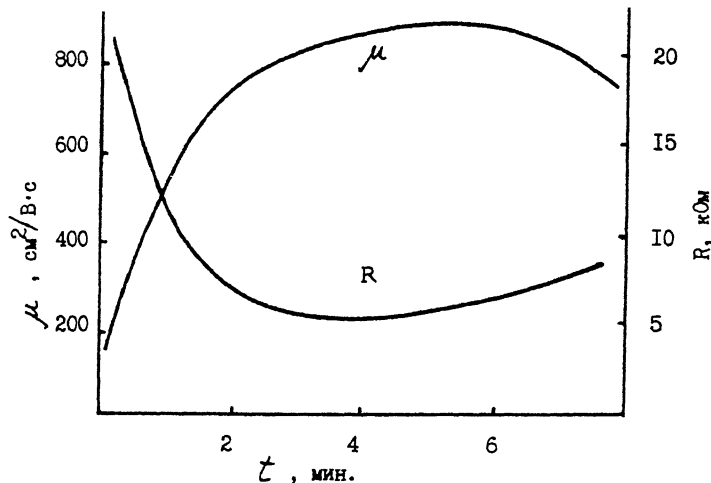


Рис. 1. Зависимость холловской подвижности и сопротивления пленки InSb толщиной 0.12 мкм от времени обработки в кислородной плазме.

режиме, одна из которых (1) обработана в кислородной плазме в течение 4 мин при токе плазмы 5 мА и напряжения на аноде 6 кВ.

Оже-спектрометрическое исследование пленки InSb толщиной 0.15 мкм, часть поверхности которой подвергалась воздействию ионов кислорода, показало, что поверхностный слой необработанной части стехиометричен, а в обработанном слое наблюдается недостаток сурьмы. Содержание кислорода на поверхности увеличивается примерно в 2 раза.

Известно, что в поликристаллических пленках доминирующую роль в механизме проводимости играют межкристаллитные границы. В основе большинства трактовок и способов моделирования взаимосвязи кинетических свойств носителей в тонких пленках с поликристаллической структурой пленок лежит предположение, согласно которому с границами зерен неотъемлемо связаны собственные области пространственного заряда, обусловленные наличием самой поверхности раздела. Происходит искривление зон, и возникают потенциальные барьеры, препятствующие переносу заряда.

Согласно моделям Волджера и Петриша [3, 4], высота потенциального барьера на границах зерен

$$\Delta E = KT \ln \left(\frac{n_1}{n_2} \right), \quad (1)$$

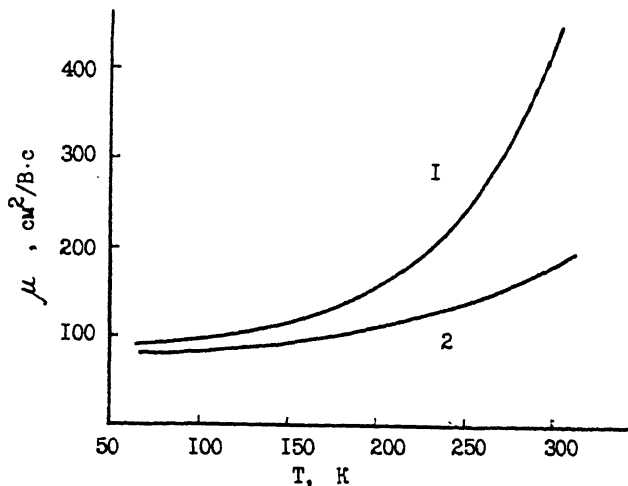


Рис. 2. Температурная зависимость холловской подвижности носителей заряда в пленках *InSb*: 1 – после обработки в кислородной плазме; 2 – после напыления.

где n_1 и n_2 – концентрации носителей заряда в зерне и в граничной области соответственно.

В [2] показано, что в нашем случае основным механизмом рассеяния можно считать барьерный. Тогда, исходя из выражения для подвижности в поликристаллических пленках [5],

$$\mu = \frac{eVD}{4KT} \exp\left(\frac{-\Delta E}{KT}\right), \quad (2)$$

где e – заряд электрона, K – постоянная Больцмана, ΔE – высота потенциального барьера на границах зерен, V – средняя скорость электрона, D – размер зерна.

Электронномикроскопическими исследованиями установлено, что до и после обработки пленки *InSb* – поликристаллические с размером зерна 0.4–0.8 мкм. Следовательно, можно предположить, что увеличение подвижности носителей при обработке происходит как следствие уменьшения высоты потенциального барьера на границах зерен.

Для подсчета величины ΔE необходимо определить степень вырождения носителей в пленках. В [2] показано, что наши пленки являются вырожденными, т. к. энергия Ферми $E_F = 0.027$ эВ. Эта величина удовлетворяет критерию вырождения при $T \leq 300$ К; $E_F \geq KT = 0.026$ эВ.

Следовательно, в качестве средней скорости электронов U необходимо брать фермиевскую скорость

$$U = U_f = \left(\frac{E_f}{2m^*} \right)^{1/2} = 10^6 \text{ м/с},$$

где m^* — эффективная масса электронов, которая для *InSb* составляет $9 \cdot 10^{-33}$ кг.

Подстановка имеющихся данных в (2) дает высоту потенциального барьера при $T=300$ К для обработанной пленки с холловской подвижностью $\mu=0.1$ м²/В·с — $\Delta E=0.154$ эВ, для необработанной пленки с $\mu=0.02$ м²/В·с — $\Delta E=0.195$ эВ. Уменьшение высоты потенциального барьера после обработки следует также из температурных зависимостей подвижности, представленных на рис. 2

Величина потенциального барьера ΔE может уменьшаться за счет уменьшения концентрации носителей в зерне и увеличения концентрации носителей в граничной области (1).

Можно предположить, что, воздействуя на поверхность пленки низкоэнергетической кислородной плазмой, мы создаем дополнительные поверхностные состояния, заполнение которых изменяет соотношение n_1/n_2 . Эти состояния акцепторного типа возникают, видимо, за счет удаления сурьмы из приповерхностного слоя, о чем говорят результаты Оже-измерений. Зависимости холловской подвижности и сопротивления пленок от времени обработки (рис. 1) также говорят об уменьшении n_1 при обработке.

Обратим внимание, что в нашем случае толщина пленки много меньше размера зерна, поэтому изменение механизма рассеяния на поверхности с диффузного на зеркальное за счет обработки также может существенно изменить кинетические свойства носителей заряда и привести к возрастанию холловской подвижности.

С п и с о к л и т е р а т у р ы

- [1] А б р а з о в М.Г., В и г д о р о в и ч В.Н., Р е ч е ш т е р Н.Н. // ДАН. 1988. Т. 302. В. 5. С. 1092–1095.
- [2] В е с е л о в А.Г., Г а й в о р о н с к и й А.Г., П е т р о с я н В.И. и др. // Микроэлектроника. 1989. Т. 18. В. 4. С. 325–328.
- [3] V o l g e r J. // Phys. Rev. 1950. V. 79. N 6. P. 1023–1024.
- [4] P e t r i t z R.L. // Phys. Rev. 1956. V. 104. N 6. P. 1508–1516.
- [5] W a x m a n A., H e n r i c h V.E., S h a l l - c r o s s F.V. et al. // J. Appl. Phys. 1965. V. 36. N 1. P. 168–175.

Поступило в Редакцию
28 марта 1992 г.