

ИОННАЯ ИМПЛАНТАЦИЯ ИНДИЯ В СУЛЬФИД ЦИНКА

А. Н. Георгобиани, М. Б. Котляревский, О. С. Лудзин

УДК 537.3:312.5

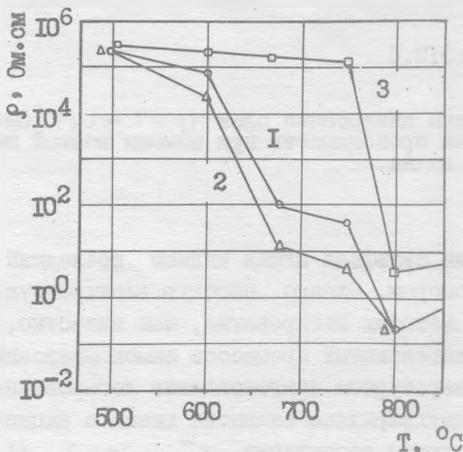
Получены низкоомные слои ($\rho \sim 1 - 0,1 \text{ Ом}\cdot\text{см}$) ZnS n-типа проводимости при помощи ионной имплантации индия.

При легировании сульфида цинка индием последний замещает цинк и является донором. Однако высокую электронную проводимость при обычных методах легирования, как известно, получить не удастся из-за интенсивных процессов самокомпенсации. При обычном высокотемпературном приготовлении легированных образцов генерируются двухзарядные вакансии цинка с акцепторными свойствами и образуются ассоциации $(V_{\text{Zn}}'' - \text{In}_{\text{Zn}}) / I /$. В работе /2/ показано, что существуют критические температуры компенсации донорной примеси $T_{\text{крит}}^{\text{п}}$. Если приготовление образцов ведется при температурах ниже $T_{\text{крит}}^{\text{п}}$, то самокомпенсация ограничивается и теоретически можно получить образцы с высокой электронной проводимостью. По оценкам эта температура составляет для ZnS 950 - 1000 °C при отжиге в насыщенном паре Zn.

В данной работе изучается возможность использования ионной имплантации индия для получения низкоомного ZnS n-типа. При этом предполагалось, что температура отжига радиационных дефектов окажется ниже $T_{\text{крит}}^{\text{п}}$, что и позволит получить низкоомные слои ZnS n-типа. Этот метод легирования имеет определенные преимущества и при приготовлении структур на основе ZnS.

Нами легировались монокристаллы ZnS, выращенные из расплава и имеющие сопротивление $\sim 10^{12} \text{ Ом}\cdot\text{см}$. Обработка поверхности состояла из механической полировки, химического травления в 2% бромметаноле (страивалось около 5 - 8 мкм нарушенного слоя) и ионно-лучевой полировки под пучком ионов аргона с энер-

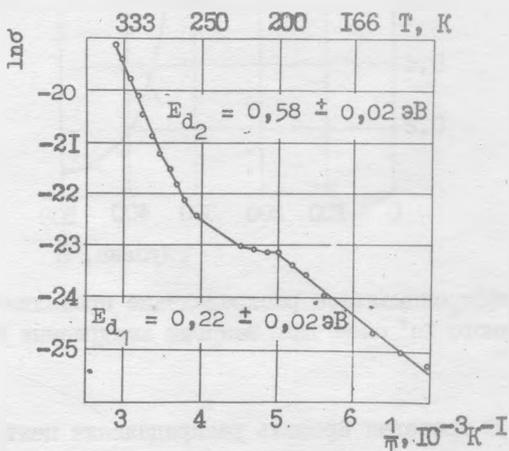
гией 1 кэВ и удельной мощностью 0,25 Вт/см². Отжиг радиационных дефектов после ионной имплантации осуществлялся в потоке осушенного азота. Омические контакты изготовлялись из расплава индия в процессе отжига. При расчете удельного сопротивления ионно-легированного слоя использовалась оценка толщины слоя по теории Линдхарда, Шарфа и Шотта (ЛШШ). На рис. 1 представлена



Р и с. 1. Зависимость удельного сопротивления имплантированных In^+ образцов ZnS от температуры отжига для разных доз облучения: 10^{14} см^{-2} (1), 10^{15} см^{-2} (2), $5 \cdot 10^{15} \text{ см}^{-2}$ (3)

зависимость удельного сопротивления образцов легированных ионами индия с энергией 100 кэВ дозами $10^{14} - 5 \cdot 10^{15} \text{ см}^{-2}$ от температуры отжига. При дозах 10^{14} см^{-2} и 10^{15} см^{-2} наблюдаются три стадии отжига. Первая стадия идет до температур 450 °C (на рис. 1 эта стадия не показана, но сопротивление имплантированных образцов перед отжигом составляло $10^8 - 10^9 \text{ Ом} \cdot \text{см}$). Вероятно, на этой стадии отжигаются простые точечные дефекты типа френкелевских пар и происходит встраивание индия в подрешетку цинка. На второй стадии в интервале 600 - 700 °C отжигаются более сложные ассоциации, и наконец, в интервале 750 - 800 °C отжигаются крупные комплексы дефектов - кластерные образования. При дозах $5 \cdot 10^{15} \text{ см}^{-2}$ вторая стадия не наблюдается, что связано, вероятно, с тем, что при этих дозах главную роль играют кластерные обра-

зования. Повышение дозы легирования от 10^{14} см⁻² до 10^{15} см⁻² при температуре отжига 800 °С не приводит к снижению сопротивления, а повышение дозы до $5 \cdot 10^{15}$ см⁻² даже увеличивает сопротивление имплантированных образцов. Это можно объяснить тем, что уже при дозах 10^{14} см⁻² превышаются пределы растворимости индия при данной температуре, как примеси замещения, и весь избыточный In в решетке ZnS встраивается как междоузельная примесь внедрения.

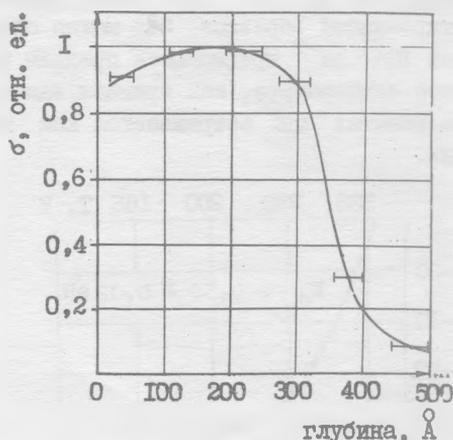


Р и с. 2. Температурная зависимость электропроводности конно-имплантированных индием монокристаллов ZnS. Доза - 10^{14} см⁻², $T_{\text{отж}} = 750$ °С, время отжига 10 мин

На рис. 2 приведена температурная зависимость проводимости образца с дозой легирования 10^{14} см⁻² после отжига при температуре 750 °С. Видно, что имеется два типа донорных центров: с $E_{d_1} = 0,22 \pm 0,02$ эВ, который, судя по данным работы /3/, можно идентифицировать как In_{Zn} , и с $E_{d_2} = 0,58 \pm 0,02$ эВ, который определяется междоузельными атомами In_1 . Так как энергия ионизации последнего центра велика, то не происходит заметного увеличения электропроводности при превышении дозой легирования предела растворимости.

При температуре отжига выше 800 °С вновь увеличивается со-

противление из-за генерации вакансий V_{Zn} , так как отжиг в потоке осушенного азота снижал $T_{крит}^n$ по сравнению с отжигом в насыщенных парах цинка.



Р и с. 3. Дифференциальное распределение проводимости по глубине легированного In^+ слоя ZnS . Энергия внедряемых ионов 100 кэВ

На рис. 3 приведен профиль распределения центров In_{Zn} , полученный по зависимости сопротивления при $T = 20^\circ C$ от толщины травленного слоя. Травление проводилось ионным пучком по методике, изложенной в [3], со скоростью 180 Å/мин.

Положение максимума распределения приблизительно совпадает с тем, что дает оценка теории ЛШШ, и, с учетом приближенной замены параметров атомов соединения усредненными параметрами, составляет $\sim 200 \text{ \AA}$.

Таким образом, метод ионной имплантации позволяет получать относительно низкоомные слои n-типа ZnS (до $1 - 0,1 \text{ Ом}\cdot\text{см}$) при выбранных режимах имплантации и отжига.

Поступила в редакцию
11 мая 1979 г.

Л и т е р а т у р а

1. Э. Е. Струмбан, Автореферат канд. диссертации, ФИАН, М., 1977 г.
2. А. Н. Георгбзани, М. Б. Котляревский, Труды Международной школы по оптоэлектронике, Прага, 1976 г.
3. Н. Н. Woodbury, M. Aven, Phys. Rev. B, Solid State, **9**, 5195 (1974).