

03,04

Влияние электронного облучения на диэлектрические характеристики монокристаллов AgGaSe_2

© А.У. Шелег, В.Г. Гуртовой

ГО „НПЦ НАН Беларуси по материаловедению“
Минск, Беларусь

E-mail: hurtavy@physics.by

Поступила в Редакцию 24 апреля 2019 г.

В окончательной редакции 24 апреля 2019 г.

Принята к публикации 26 апреля 2019 г.

Исследовано влияние различных доз электронного облучения на диэлектрическую проницаемость и удельную электропроводность тройных нелинейно-оптических кристаллов AgGaSe_2 на различных частотах измерительного поля в интервале температур 100–300 К. Обнаружено, что облучение монокристаллов приводит к уменьшению значений диэлектрической проницаемости и значительному возрастанию электропроводности. Показано, что с ростом температуры диэлектрическая проницаемость и электропроводность увеличиваются. Установлено, что для кристаллов AgGaSe_2 характерно наличие нескольких типов проводимости. Обнаружена существенная частотная дисперсия диэлектрических свойств исследованных кристаллов.

Ключевые слова: нелинейно-оптические кристаллы, диэлектрическая проницаемость, удельная электропроводность, температурная зависимость, дисперсия, электронное облучение.

DOI: 10.21883/FIT.2019.10.48243.467

1. Введение

Тройные серебросодержащие соединения AgGaSe_2 являются оптически-нелинейными материалами. Для них характерны высокие показатели нелинейности, широкая область прозрачности в видимой и средней инфракрасной области спектра. От широко используемых в настоящее время материалов они отличаются высокой лучевой стойкостью. Соединение AgGaSe_2 относится к прямозонным полупроводникам, имеет структуру халькопирита и кристаллизуется в тетрагональной симметрии с пространственной группой $I42d$ и параметрами элементарной ячейки $a = 5.757 \text{ \AA}$, $c = 10.305 \text{ \AA}$ [1].

Соединения на основе AgGaSe_2 и его твердых растворов используются для создания фотопреобразователей солнечной энергии, оптических параметрических осцилляторов, твердотельных источников спин-поляризованных электронов и других приборов полупроводниковой оптоэлектроники [2,3]. В последние годы достигнут значительный прогресс в применении монокристаллов прямозонных соединений AgGaSe_2 для получения второй и третьей гармоник лазеров на CO_2 . На основе высококачественных монокристаллов AgGaSe_2 разрабатываются детекторы рентгеновского и гамма-излучения, работающие при комнатной температуре. Однако, несмотря на определенные успехи, достигнутые в изучении физических свойств соединения AgGaSe_2 , многие физические характеристики данных кристаллов остаются пока неисследованными или требуют дальнейшего уточнения.

Целью данной работы было изучение влияния различных доз электронного облучения на температур-

ные зависимости диэлектрической проницаемости (ϵ) и удельной проводимости (σ) монокристаллов AgGaSe_2 в широком интервале температур.

2. Методика эксперимента

Измерения диэлектрической проницаемости и электропроводности проводились методом плоского конденсатора на монокристаллических пластинках с помощью цифрового измерителя E7-20 на частотах измерительного поля 10^3 – 10^6 Hz в температурном диапазоне 100–300 К. Образцы представляли собой монокристаллические пластинки AgGaSe_2 размерами $\sim 7 \times 5 \times 1$ mm. Поверхности пластинок совпадали с кристаллографической плоскостью (011). На образцы наносились омические серебряные контакты, затем образцы помещались между металлическими прижимными контактами. Держатель с образцом экранировался латунным стаканом, на который через изоляционную прослойку из слюды намотан нагреватель. Питание нагревателя осуществлялось постоянным током от стабилизированного источника. Температура контролировалась при помощи дифференциальной хромель-копелевой термопары и универсального цифрового вольтметра. Измерения велись методом непрерывного квазистатического нагревания со скоростью ~ 0.5 K/min. Точность измерения температуры составляла 0.1–0.2 К. Погрешность измерений диэлектрических характеристик составляла $\sim 0.5\%$. Значения диэлектрической проницаемости и удельной электропроводности рассчитывались по формуле, соответствующей плоскопараллельному конденсатору.

Проводились исследования как необлученных образцов, так и облученных электронами с энергией 4 MeV дозами 10^{15} и 10^{16} cm^{-2} .

3. Результаты исследований

На рис. 1 представлены температурные зависимости диэлектрической проницаемости монокристалла AgGaSe₂, полученные на различных частотах измерительного поля. Как видно из рисунка, значения ϵ с ростом температуры увеличиваются. Наблюдается значительная дисперсия диэлектрической проницаемости. С ростом частоты значения ϵ уменьшаются, что обусловлено, как известно, релаксационными процессами, происходящими в высокочастотной области измерений.

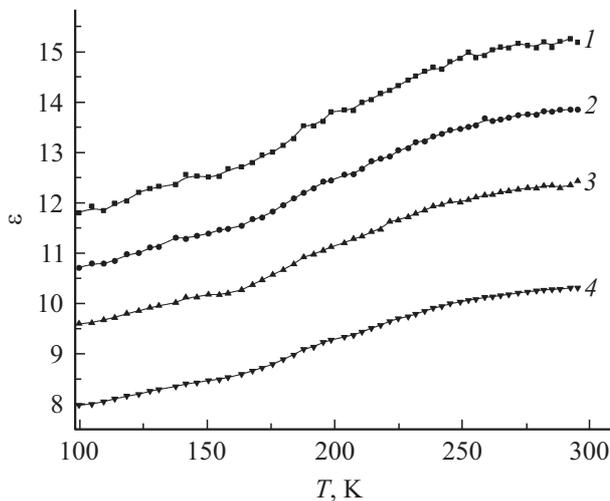


Рис. 1. Температурные зависимости диэлектрической проницаемости монокристалла AgGaSe₂ на частотах: 1 — 10^3 Hz; 2 — 10^4 Hz; 3 — 10^5 Hz; 4 — 10^6 Hz.

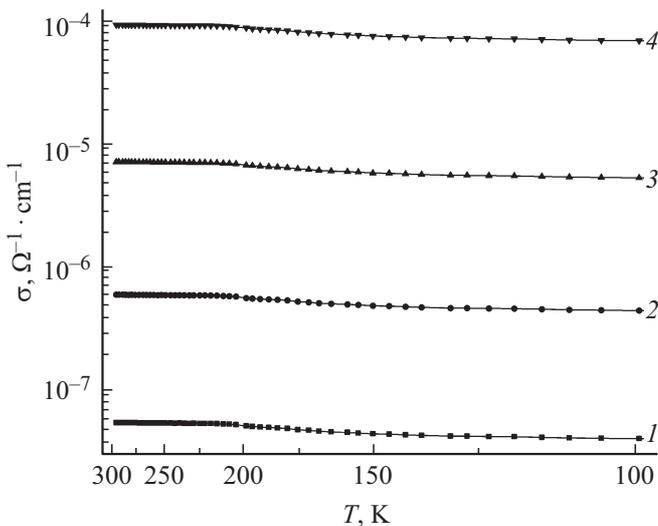


Рис. 2. Температурные зависимости удельной электропроводности монокристалла AgGaSe₂ на частотах: 1 — 103 Hz; 2 — 10^4 Hz; 3 — 10^5 Hz; 4 — 10^6 Hz.

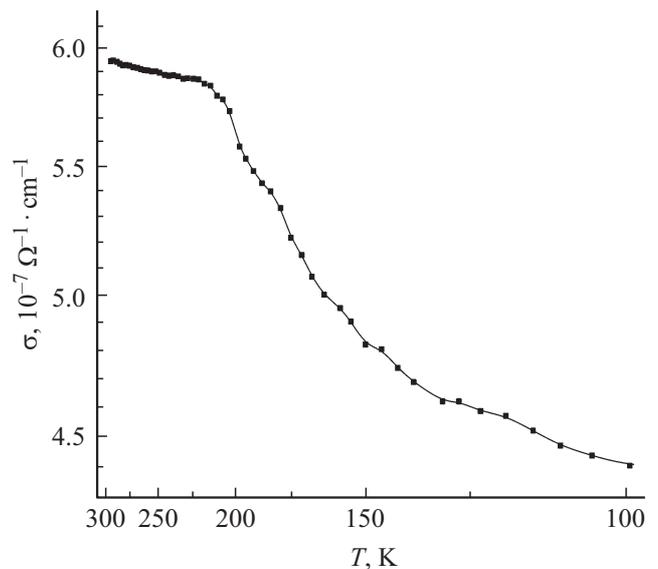


Рис. 3. Температурная зависимость удельной электропроводности AgGaSe₂ на частоте 10^5 Hz.

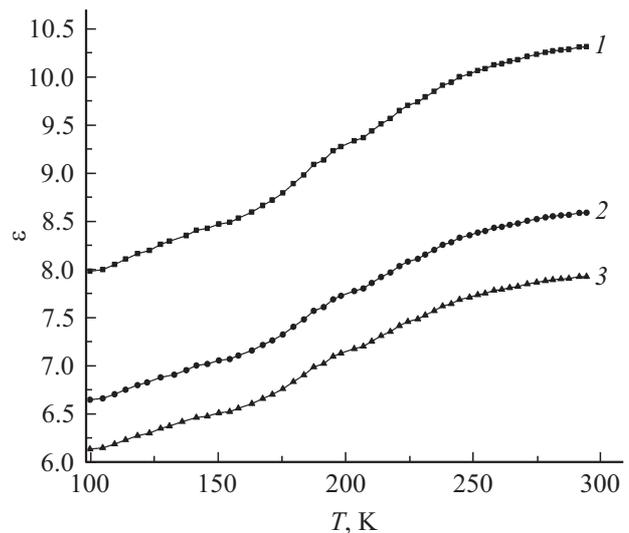


Рис. 4. Температурные зависимости диэлектрической проницаемости монокристалла AgGaSe₂ на частоте 10^6 Hz для различных доз электронного облучения: 1 — необлученный; 2 — 10^{15} cm^{-2} ; 3 — 10^{16} cm^{-2} .

На рис. 2 представлены температурные зависимости удельной электропроводности монокристалла AgGaSe₂ на различных частотах. На рис. 3 изображена кривая зависимости проводимости от температуры на частоте измерительного поля 10 kHz. Из рисунков видно, что значения σ увеличиваются с ростом температуры, что обусловлено ростом концентрации свободных носителей заряда (проявление полупроводниковых свойств). Участки с разным наклоном на кривых $\sigma = f(T)$ указывают на сложный механизм переноса заряда и наличие нескольких типов проводимости в этих кристаллах.

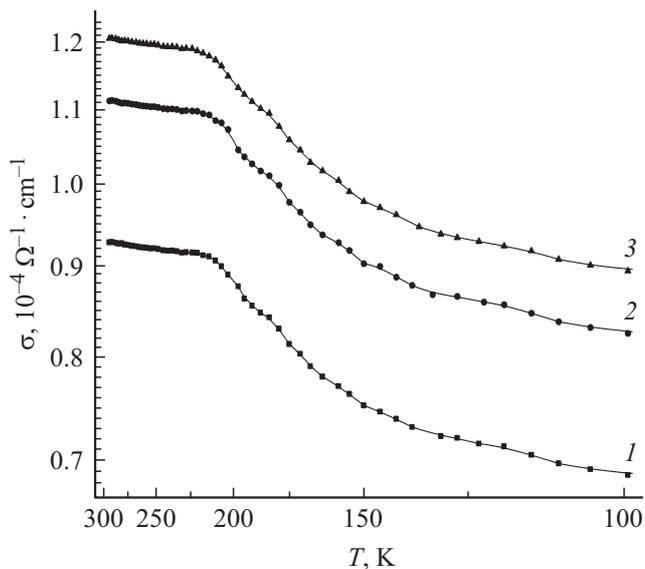


Рис. 5. Температурные зависимости удельной электропроводности монокристалла AgGaSe₂ на частоте 10⁶ Hz для различных доз электронного облучения: 1 — необлученный; 2 — 10¹⁵ cm⁻²; 3 — 10¹⁶ cm⁻².

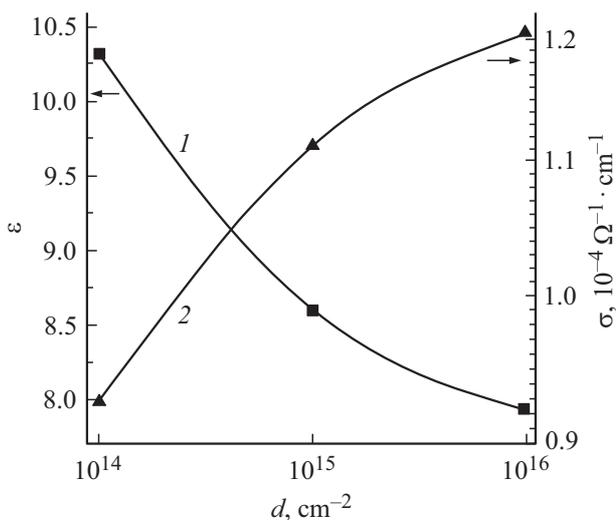


Рис. 6. Зависимости диэлектрических характеристик AgGaSe₂ от дозы электронного облучения на частоте 10⁶ Hz при температуре 300 K: 1 — диэлектрическая проницаемость; 2 — удельная электропроводность.

Следует отметить, что у кристалла AgGaSe₂ наблюдается значительная дисперсия электропроводности. Значения проводимости в изученном интервале частот (10³ Hz–10⁶ Hz) изменяются более чем на три порядка. С ростом частоты измерительного поля значения σ сильно увеличиваются, что обусловлено релаксационными процессами, происходящими в высокочастотной области измерений.

На рис. 4 и 5 приведены температурные зависимости диэлектрической проницаемости и проводимости

монокристалла AgGaSe₂ для различных доз облучения на частоте измерительного поля 10⁶ Hz. Температурные зависимости для других частот выглядят аналогично. На рис. 6 показаны зависимости диэлектрических характеристик AgGaSe₂ от дозы электронного облучения на частоте 10⁶ Hz при температуре 300 K.

Из рисунков видно, что облучение монокристаллов пучком электронов приводит к уменьшению значений диэлектрической проницаемости и значительному возрастанию электропроводности во всей исследованной области температур. Такое поведение значений ϵ под воздействием облучения электронами может быть вызвано радиационно стимулированным старением образцов, связанным с активизацией процесса миграции естественных дефектов под влиянием облучения, приводящим к снижению значений ϵ . Причиной роста значений электропроводности σ монокристаллов соединений AgGaSe₂ является, скорее всего, увеличение концентрации дефектов и, как следствие, возрастания вклада примесной проводимости.

4. Заключение

Проведены исследования влияния температуры на диэлектрическую проницаемость и электропроводность монокристаллов AgGaSe₂ на различных частотах измерительного поля в области температур 100–300 K. Показано, что с ростом температуры диэлектрическая проницаемость и электропроводность увеличиваются.

Установлено, что для кристаллов AgGaSe₂ характерно наличие нескольких типов проводимости. Обнаружена существенная частотная дисперсия электропроводности и диэлектрических свойств исследованных кристаллов.

Исследовано влияние электронного облучения на электрические свойства монокристаллов AgGaSe₂. Установлено, что увеличение дозы облучения приводит к уменьшению диэлектрической проницаемости и значительному возрастанию электропроводности во всей исследованной области температур.

Финансирование работы

Исследования проведены при поддержке Белорусского Фонда фундаментальных исследований (договор № Ф18УКА-002).

Конфликт интересов

Авторы заявляют, что у них нет конфликта интересов.

Список литературы

- [1] B. Tell, H.M. Kasper. Phys. Rev. B **4**, 12, 4455 (1971).
- [2] Y. Cui, U.N. Roy, A. Burger, J.T. Goldstein. J. Appl. Phys. **103**, 12, 123514-1 (2008).
- [3] H.-W. Wang, M.-h. Lu. Opt. Commun. **192**, 3, 357 (2001).

Редактор К.В. Емцев