

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 28 年 6 月 1 日現在

機関番号：33910

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2012～2015

課題番号：24560427

研究課題名(和文)超高速低電圧駆動空間光変調器の研究

研究課題名(英文) Research and development of ultra-high speed and low-driving voltage spatial light modulators

研究代表者

脇田 紘一 (WAKITA, KOICHI)

中部大学・生命健康科学部・教授

研究者番号：20301640

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 4,200,000円

研究成果の概要(和文)：光の超高速性、超並列性を生かした新しい光情報処理素子(空間光変調器)の研究・開発を目的に、超高純度砒化ガリウム(GaAs)を液相エピタキシャル成長により作製し、空乏層厚30 μ m以上、室温励起子吸収の観測、その電界印加による量子閉じ込めシュタルク効果類似の大幅な長波長側シフトを観測し、層に垂直な光入射構成で大きな消光比(>20dB)を低電圧(<10V)で実現でき、推定応答速度サブnsecを求め、既報告の1000V、数msecを大幅に超える素子特性を得、液晶に替わる次世代の空間光変調器を実現した。
また、大きな吸収係数変化よりクラマース・クローニツヒの関係から大きな電界屈折率変化を推定した。

研究成果の概要(英文)：For realizing the ultra-high speed and ultra-parallel optical processing, ultra-high purity GaAs epitaxial layers have been grown by liquid-phase epitaxy and clear exciton absorption and its large red-shift associated with applied voltage have been observed at room temperature. Large on-off ratio larger than 20dB by less than 10 V and subnano sec response have been demonstrated and estimated. These data overcome reported data (1000V and a few msec response) and indicate the possibility of next generation spatial light modulator (SLM) in place of liquid crystal SLMs and magnetic resistance SLMs.
A large refractive index change (about 2 times larger than reported data) associated with observed large electroabsorption has been estimated based on the Kramers- Kroenig relation-ship.

研究分野：光エレクトロニクス

キーワード：高速 低電圧駆動 室温励起子吸収 高純度 厚い空乏層 電気吸収効果 電気光学効果 空間光変調器

1. 研究開始当初の背景

光の持つ超高速性・超並列性を生かした空間光変調器(SLM:Spatial Light Modulator)は液晶で実用化されているが、応答速度は数 ms と遅く、電圧も~100V と大きく、これに替わる新しい素子が求められている。他材料では半導体の砒化ガリウム(GaAs)におけるフランツ・ケルディッシュ(Franz-Keldysh:F-K)効果を利用して動作電圧 4kV で消光比 20dB、応答速度 1ms が報告されている。最近、磁気抵抗効果(MO)を利用した動作電圧 5V、電流数 10mA、応答速度 15ns が報告されている(表 1 参照)。

表 1. 従来 SLM の応答時間と駆動電圧
(Exc.は励起子吸収関与)

機構	材料	応答速度	電圧(V)	研究機関
旋光性	液晶	1~3ms	24~100V	HTV
MO	garnet	15ns	5V 数 10mA	豊橋技大
EA(F-K)	GaAs	1ms	4kV	産総研
Exc.EA	GaAs	<1ns	<10V	中部大

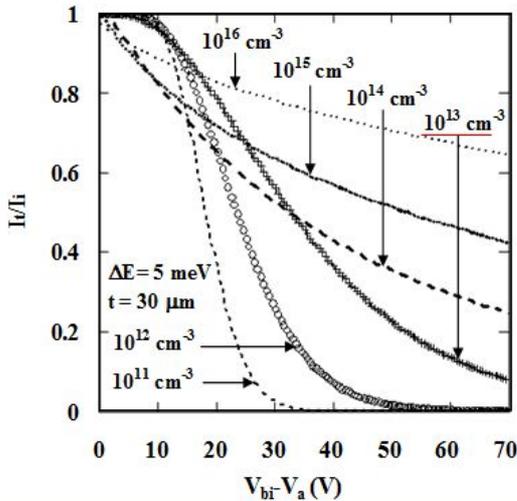


図 1 . F-K 効果の不純物濃度依存性

図 1 は従来用いられてきた F-K 効果による SLM の消光比を示す。F-K 効果は電圧印加による吸収端の裾の変化を利用するため吸収係数変化が小さく消光比 20dB は厚い半絶縁性基板を用いて 4kV を必要とした。当グループは液相エピタキシャル成長法(LPE)による超高純度 GaAs において室温励起子 (exciton) 吸収(図 2 参照)、急峻な吸収端の電界印加による長波長シフトを観測し、大きな吸収係数変化を確認できたのでこのデータを基に従来の報告例を凌駕する高速、高消光比、低電圧駆動の SLM 実現を目指すこととした(図 3 参照)。

図 3 はその動作原理と従来の F-K 効果との比較を示す。量子井戸構造において観測された量子閉じ込めシュタルク効果(QCSE)と類似の電界による励起子吸収ピークの大きな

長波長シフト及び量子井戸に比べ高純度のため電界強度が層内で均一に近く、小さな電圧で大きな消光比が得られる。

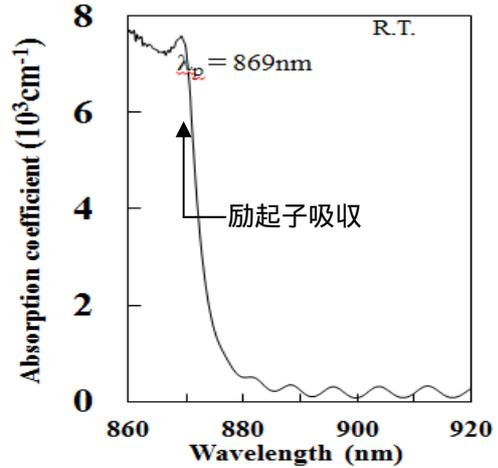


図 2. 高純度 GaAs の吸収特性

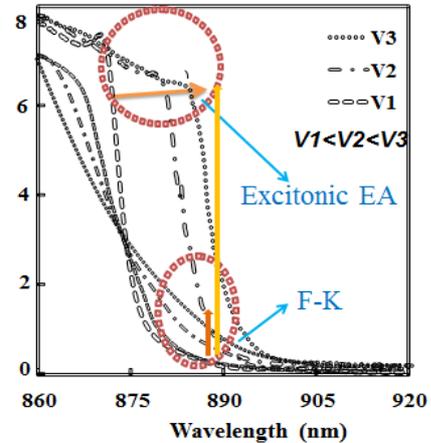


図 3 . 従来の F-K 効果と励起子吸収効果(Excitonic EA)の比較

2. 研究の目的

LPE は熱平衡状態に近い条件で結晶を成長できるという特徴を持つ。当研究室では LPE を用いこれまで不可能とされていた残留キャリア密度 10^{13}cm^{-3} 以下、空乏層厚 30μm 以上の達成、室温で励起子吸収を観測し、これが電界印加で長波長にシフトすることを見出し、高消光比 (>20dB) が層に垂直な光入射構成でも低電圧で達成できることを立証して新しい高速・低電圧駆動の SLM を実現することにある。

3. 研究の方法

LPE 法において高純度化された水素および成長後の残留 Ga を次回の成長時に用い、結

晶中の不純物を還元・除去して高純度結晶(残留キャリア濃度 $<10^{13}\text{cm}^{-3}$)を用い、印加電圧33Vで消光比35dBを得たが(図4参照)、リング状電極の受光径($\sim 300\mu\text{m}$)が入射光のスポットサイズに比べ大き過ぎ、受光面内の電界分布が不均一で駆動電圧を大きくした(約20Vのオフセット電圧、図5参照)。素子構造の見直し(寸法、透明ショットキー電極の採用等)により駆動電圧を10V以下(目標値5V)、応答速度はキャリアの走行時間及び素子容量で制限されるのでサブnsecが可能と判断し、素子製作を試み、その特性を評価した。

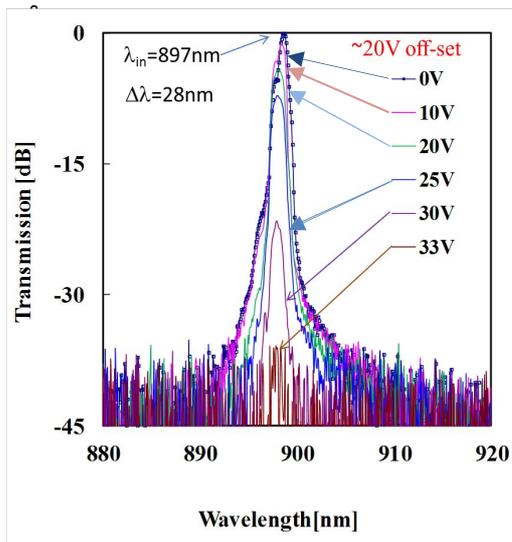


図4. リング状電極を持ったSLDの特性

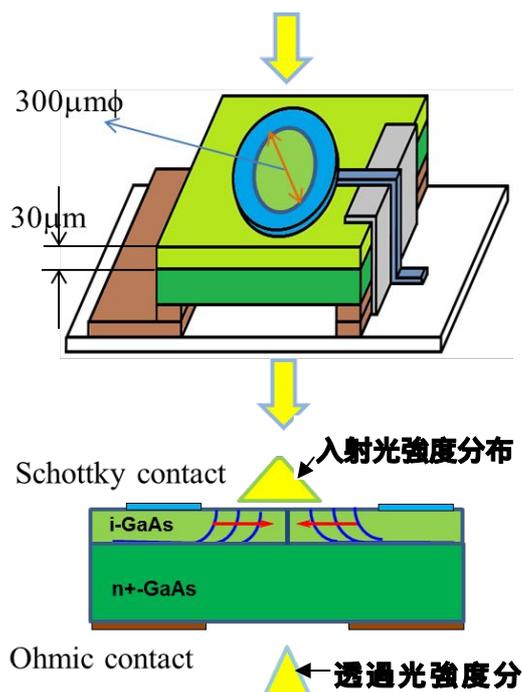


図5. 大きな駆動電圧(33V)の分析モデル
受光径とスポットサイズのミスマッチを示す。光強度最大のところに電界がリーチスルーするまで余分の電圧必要。

透明なショットキバリア利用によるオフセット電圧低減を検討した結果を図6に示す。

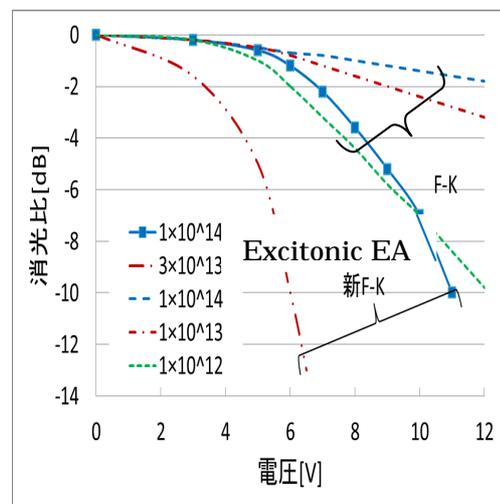


図6. オフセット電圧削減による消光特性特性
(新F-K:Excitonic-EA)

消光比20dBは10V以下で達成できたが、さらに構造最適化により駆動電圧5V以下をめざす。

吸収係数の変化は屈折率変化とクラマース・クロニツヒ(Kramers-Kroenig)の関係にあるため、上記吸収係数の電界による変化を基に電界屈折率変化を計算した。その結果、従来の報告例に比べて約2倍の電界屈折率変化が得られた。

これらの成果を基にその権利化もすすめ、特許1件「GaAsの液相エピタキシャル成長法」を取得し(平成24年6月12日成立)、さらにもう1件「平面型光変調器」も現在出願中で、最近、拒絶査定に対する意見書を作成し、提出済である。

[補] 動作原理を説明するための引用文献

M. S. Kayastha, M. Takahashi, and K. Wakita, "High-extinction ratio and low-driving-voltage spatial light modulator by use of ultrahigh-purity GaAs", 査読あり, Jpn. J. Appl. Phys. (2010), Vol. 49, pp. 102201-102205

M. S. Kayastha, I. Matsunami, D. P. Sapkota, M. Takahashi, and K. Wakita, "Ultrahigh-purity undoped GaAs epitaxial layers prepared by liquid phase epitaxy", Jpn. J. Appl. Phys. Lett., 査読あり, (2009), Vol. 48, pp. 121102-121106

4. 研究成果

- (1) GaAsにおいて室温励起子吸収を観測。
- (2) 層に垂直な電界印加により励起子吸収ピークの長波長シフトを観測。従来の電界印加による吸収係数の裾の変化[F-K効果]に比べ格段に大きな吸収係数変化を観測。
- (3) 空乏層厚30μm達成。光と相互作用する電界の印加された部分の長さの延長に成功。

- (4)電界印加による大きな吸収係数変化を利用してこれを素子化し、基本特性の実験による検証。
- (5)電界印加による大きな吸収係数変化に基づきクラマース・クローニツヒの関係を用いて電界屈折率変化を推定。従来に比べ約2倍を確認。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計 15 件)

- (1) D. P. Sapkota, M. S. Kayastha, and K. Wakita, "Electric refractive index change in high purity GaAs modulator at room temperature", 査読あり, (2013), International J. of Electrical, Computer, Electronics and Communication Engineering, Vol. 9, No. 2, pp. 195-197.
- (2) D. P. Sapkota, M. S. Kayastha, M. Takahashi, and K. Wakita, "Proposed model of electric field effects in high-purity GaAs at room temperature", Optics and Photonic J., 査読あり, Vol.4, 2013, pp.99-103.
- (3) D. P. Sapkota, M. S. Kayastha, and K. Wakita, "Analysis of linewidth enhancement factor for compressively strained AlGaInAs and InGaAsP", 査読あり, Opt. and Quantum Electron., Vol. 45, No. 1, 2013, pp. 35-43.
- (4) M. S. Kayastha, D. P. Sapkota, M. Takahashi, and K. Wakita, "Effect of electric field on exciton in high-purity GaAs epilayer measured at room temperature", 査読あり, Electron. Lett., (2012), Vol. 49, pp. 57-59.

〔学会発表〕(計 10 件)

- (1) M. Takahashi, S. Okido, M. Tahashi, K. Wakita, et al., "The preparation and characterization of metal chalcogenides thin film by the electrodeposition", ISPlasma 2015/IC-PLANTS 2015 年 3 月 27 日、Nagoya Univ. (Aichi, Nagoya).
- (2) D. P. Sapkota, M. S. Kayastha, and K. Wakita, "Excitonic refractive index change in high-purity GaAs modulator for optical fiber communication network", ICCNA 2015: International Conf. on Communication Networks and Applications, 2015 年 2 月 26 日、Dubai (UAE).
- (3) Yoshida, M. Noda, S. Yamaguchi, M. Umeno, K. Wakita, "Growth of graphene films by thermal CVD from adamantane", E-MRS/MRS-J, 2014 年 12 月 11 日、IDEC Yokohama (Kanagawa, Yokohama).
- (4) D. P. Sapkota, M. S. Kayastha, and K. Wakita, "Experimental and theoretical study of excitonic electro-absorption in high-purity GaAs at room temperature", IEEE Photonic Global Conf. (PGC-2012)(C12 a64B), p. 13., 2012 年 12 月 12 日, Singapore. (Malaysia).
- (5) M. S. Kayastha, D. P. Sapkota, and K. Wakita, "Room temperature electro-absorption effect for high speed and low-driving voltage spatial

light modulators", 2012 International Conf. on Solid State Devices Materials (SSDM), 2012 年 9 月 27 日, PS-7-12, Kyoto International Conference Hall (Kyoto, Kyoto).

〔図書〕(計 1 件)

Golap Kalita, Koichi Wakita, Masayoshi Umeno, and Mamaki Tanemura: "Synthesis of Graphene by Plasma Chemical Vapor Deposition", Comprehensive Guide for Nanocoatings Technology, Nova Science Publishers, Vol. 1, Chap., 13, pp. 311-331 (2015).

〔その他〕

中部大学研究者紹介[2015]

<http://www3.chubu.ac.jp/collaboration/>.

6. 研究組織

(1)研究代表者

脇田 紘一 (WAKITA, Koichi)
中部大学・生命健康科学部・特任教授
研究者番号：20301640

(2)研究分担者

高橋 誠 (TAKAHASHI, Makoto)
中部大学・工学部・教授
研究者番号：10236317